



## Wektory genetyczne

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film samouczek
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



## Wektory genetyczne

W eksperymentach klonowania DNA z użyciem wektorów wykorzystuje się metodę przesiewową, polegającą na hodowli bakterii w obecności związku X-gal (5-bromo-4-chloro-3-indolilo-beta-D-galaktopiranozydu). Komórki zawierające rekombinowane DNA mają kolor biały, natomiast zawierające nierekombinowany plazmid – niebieski.

Źródło: Stefan Walkowski, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 4.0.

Rozwój inżynierii genetycznej umożliwił manipulacje w cząsteczkach kwasów nukleinowych. Stosowane obecnie metody wektorowe pozwalają na włączenie do organizmu docelowego przygotowanego poza nim materiału genetycznego. Scalony materiał genetyczny dwóch różnych komórek może być przekazywany komórkom potomnym.

### Twoje cele

- Wyjaśnisz istotę wykorzystania wektorów genetycznych.
- Omówisz rodzaje wektorów genetycznych.
- Wymienisz cechy wektorów genetycznych.
- Wskażesz wady i zalety wektorów genetycznych.
- Wyjaśnisz sposób przenoszenia transgenu.

# Przeczytaj

---

## Wektory genetyczne

[Wektory genetyczne](#) stanowią podstawowe narzędzie klonowania DNA. Najczęściej są one kolistymi cząsteczkami DNA mającymi zdolność do samodzielnej replikacji w cytoplazmie gospodarza.

Wektory genetyczne wykazują istotne cechy:

- zawierają miejsca rozpoznawane przez [endonukleazy restrykcyjne](#);
- zawierają [marker selekcyjny](#), pozwalający na selekcję komórek gospodarza zawierających wektor;
- można je łatwo izolować z komórek gospodarza.

### Ważne!

Wektory genetyczne, ze względów etycznych, nie powinny mieć genów, które mogą stanowić zagrożenie ekologiczne.

Klonowanie DNA można podzielić na dwa etapy:

1. otrzymanie zrekombinowanego DNA poprzez wyizolowanie określonego genu od genomu i przeniesienie go do wektora;
2. wprowadzenie wektora ze wstawionym genem do wybranej komórki i powielenie go na skutek replikacji.

Więcej informacji na temat klonowania DNA znajdziesz w e-materiale: [Klonowanie DNA](#).

# Rodzaje wektorów genetycznych

Obecnie jako wektory genetyczne wykorzystuje się **wektory plazmidowe**, [kosmidy](#), **wektory fagowe**, **sztuczny chromosom bakteryjny**, a także **poходne wirusów**, **wektory drożdżowe** oraz [plazmid Ti](#).

Wybór wektora zależy od długości klonowanego DNA oraz organizmu, do którego ma on zostać wprowadzony.

Rodzaje wektorów genetycznych.

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

## Zapamiętaj!

Proces wprowadzania obcego DNA do komórek bakterii nosi nazwę [transformacji](#), natomiast do komórek eukariotycznych – [transfekcji](#).

## Wektory prokariotyczne

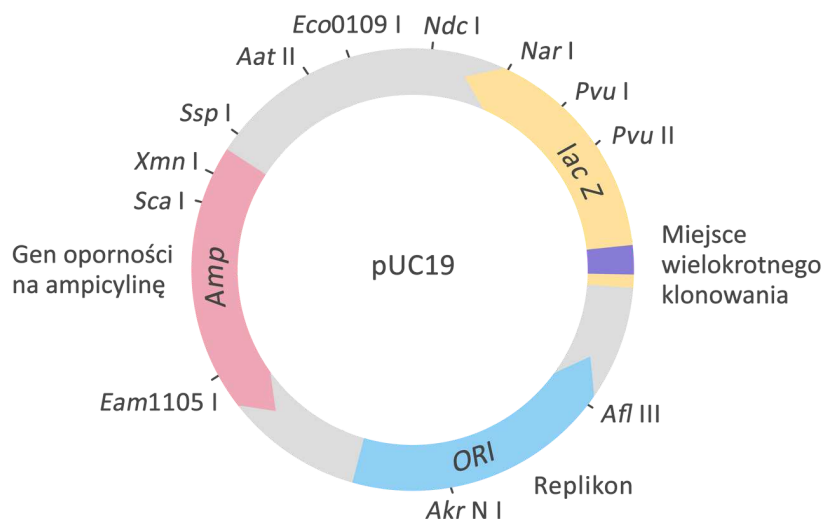
### Wektory plazmidowe

**Plazmidy** to kowalentnie zamknięte koliste cząsteczki DNA, które występują u bakterii. Wykorzystywane do klonowania plazmidy są konstruowane z fragmentów naturalnych plazmidów bakteryjnych.

Wektor plazmidowy musi zawierać:

- miejsce inicjacji replikacji DNA ([ori](#)), które pozwala na niezależną replikację plazmidu w komórkach; proces niezależnego namnażania wektora zachodzi tylko z udziałem polimerazy i innych niezbędnych do tego składników znajdujących się w komórce biorcy;
- marker selekcyjny, najczęściej gen oporności na antybiotyki, który pozwoli transformantom rozwijać się na pożywkę z antybiotykami;
- [polilinker](#), czyli miejsce wielokrotnego klonowania (MSC), którego sekwencje rozpoznawane są przez enzymy restrykcyjne; dzięki temu można wstawiać w taki wektor odcinki klonowanego DNA pozyskane przez trawienie odpowiednimi enzymami;
- sekwencję promotorową warunkującą ekspresję genów.

Do niektórych wektorów wprowadza się sekwencję, która pozwala na łatwą identyfikację zrekombinowanych bakterii. Zwykle jest to gen kodujący enzym rozkładający barwny substrat, np. gen beta-galaktozydazy (*lacZ*).



Przykładowy wektor plazmidowy pUC19, mający długość 2686 par zasad (pz). Zaznaczono miejsca restrykcyjne dla niektórych endonukleaz.

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

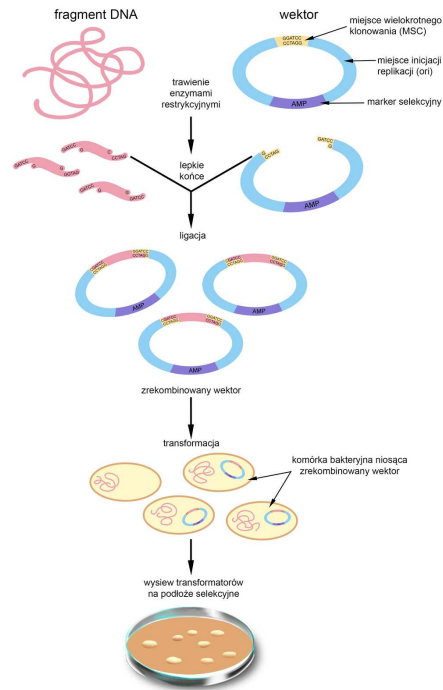
**Zapamiętaj!**

Jednym z pierwszych najlepiej poznanych i często wykorzystywanych wektorów bakteryjnych był plazmid **pBR322**, który został skonstruowany w 1976 r. przez Francisco Bolívar i Raymonda Rodrigueza (stąd oznaczenie „BR”). Zawiera on miejsce MCS, pozwalające na replikację w jedynym gospodarzu *E. coli*, oraz dwa geny oporności: na ampicylinę i tetracyklinę.

Plazmid pBR322 stał się prekursorem wielu nowszych, coraz doskonalszych wektorów. Udoskonalone zostały m.in. metody selekcji klonów zawierających zrekombinowany DNA, dodano nowe miejsca umożliwiające klonowanie (MCS), zwiększono liczbę kopii plazmidów w komórce oraz skonstruowano wektory wielofunkcyjne, służące do szczegółowej analizy genów.

Klonowanie DNA z wykorzystaniem wektora plazmidowego dzieli się na następujące etapy:

1. Konstrukcja zrekombinowanej cząsteczki DNA. Proces wprowadzania DNA do wektora rozpoczyna się od wycięcia odpowiedniego fragmentu DNA od innego organizmu lub zsyntetyzowania cząsteczki DNA metodami laboratoryjnymi. W celu fragmentacji DNA wykorzystuje się enzymy restrykcyjne. Przecinają one cząsteczki DNA w określonych miejscach, pozostawiając tzw. lepkie końce. Wektor plazmidowy przecina się takimi samymi enzymami restrykcyjnymi. Następnie wytworzone poza organizmem DNA wprowadza się do przeciętego plazmidu (wektora). Przyłączanie fragmentów DNA z wektorami katalizowane jest przez [ligazę](#) DNA, która umożliwia tworzenie się wiązań fosfodiesterowych pomiędzy końcowymi nukleotydami.
2. Przeniesienie zrekombinowanego plazmidu do komórki bakteryjnej, namnożenie cząsteczek plazmidowego DNA w wyniku podziału komórki i powstania wielu kolonii bakteryjnych ze zrekombinowanym DNA, selekcja zrekombinowanych klonów, amplifikacja oraz oczyszczenie zrekombinowanego plazmidowego DNA.



Klonowanie DNA z użyciem plazmidu.

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

## Kosmidy

Zmodyfikowane plazmidy, będące połączeniem cech plazmidów i faga (bakteriofaga) lambda ( $\lambda$ ), nazywane są **kosmidami**. Umożliwiają one klonowanie dłuższych (10–40 [kbp](#)) cząsteczek DNA osłoniętych białkową otoczką.

Typowe kosmidy zawierają [sekwencje \*cos\*](#) z faga lambda, miejsce inicjacji replikacji plazmidu i gen oporności na antybiotyk. Sekwencja *cos* umożliwia pakowanie DNA faga do otoczki białkowej i transformację bakterii. Plazmidowe miejsce inicjacji replikacji i gen markerowy umożliwiają namnażanie wektora.

Połączenie cech plazmidu i faga lambda pozwoliło na uzyskanie dużej pojemności i wydajnej transformacji.

## Wektory fagowe

Wektory fagowe wykorzystują naturalne właściwości wirusów do wbudowywania własnego materiału genetycznego w genom zainfekowanej komórki. Przed zastosowaniem tego wektora należy go najpierw pozbawić infekcyjności. Cechuje się on małą pojemnością, natomiast wprowadzony z jego pomocą gen może ulegać ekspresji przez dłuższy czas.

Spośród wektorów fagowych najszersze zastosowanie ma **fag lambda**.

## Sztuczny chromosom bakteryjny (BAC)

W celu klonowania długich fragmentów DNA (100–300 kbp) w komórkach prokariotycznych stworzono **sztuczny chromosom bakteryjny** – [BAC](#).

BAC to typowy wektor molekularny, który zawiera jedynie fragmenty bakteryjnego chromosomu – kolistą cząsteczkę pozbawioną sekwencji telomerowych, centromerowych oraz sekwencji replikujących się autonomicznie. Zawiera DNA bakteryjnego czynnika F, warunkującego replikację całego konstruktów w komórkach pałeczki okrężnicy (*Escherichia coli*).

BAC jest stosowany przy mapowaniu i sekwencjonowaniu genów eukariotycznych. Z jego pomocą skompletowano m.in. mapy fizyczne chromosomów *Drosophila melanogaster*. W formie liniowej może on również służyć jako nośnik do integracyjnej transformacji genetycznej zwierząt.

## Wektory eukariotyczne

Pochodne niektórych wirusów stosuje się jako wektory do wprowadzania DNA do komórek zwierzęcych i roślinnych.

W przypadku komórek zwierzęcych są to pochodne wirusów:

- [SV40](#);
- [Papilloma](#);
- [krowianki](#);
- [bakulowirusów](#);
- [adenowirusów](#);
- [retrowirusów](#).

Pierwszym stosowanym wektorem dla komórek zwierzęcych był wirus SV40, którego zaletą jest wysoka wydajność uzyskiwania zrekombinowanego genu, a wadą – ograniczona długość wbudowanego DNA.

Aktualnie coraz częściej jako wektory wirusowe wykorzystywane są retrowirusy, których materiałem genetycznym jest RNA. Informacja genetyczna zapisana w ich genomie przepisywana jest za pomocą enzymu odwrotnej transkryptazy na DNA, a następnie wbudowywana do genomu gospodarza. Retrowirusy zakażają komórki ulegające podziałom, jednak niektóre z nich – lentiwirusy – mogą włączać swój materiał genetyczny również w komórkach dzielących się.

### Ważne!

Pozyskiwanie cząsteczek DNA można przeprowadzić za pomocą syntezy enzymatycznej, czyli przy użyciu matrycy RNA i enzymu odwrotnej transkryptazy lub techniki [PCR](#).

## Wektory drożdżowe

Typowy wektor drożdżowy skonstruowany jest z dwóch części:

- części prokariotycznej, która zawiera miejsce ori i marker selekcyjny;
- części eukariotycznej, która zawiera miejsce ori rozpoznawane przez polimerazę eukariotycznego gospodarza, marker selekcyjny oraz sekwencje umożliwiające ekspresję genu.

Konstrukcja ta pozwala na klonowanie genów w *Escherichia coli* i badanie ich ekspresji w drożdżach.

Do wektorów drożdżowych należy **sztuczny chromosom drożdżowy** – [YAC](#), który umożliwił klonowanie bardzo długich (do 5 mln [pz](#)) fragmentów DNA w komórkach eukariotycznych (drożdży).

## Sztuczny chromosom ludzki

Powodzenie w skonstruowaniu YAC przyczyniło się do podjęcia prac nad stworzeniem **sztucznego chromosomu ludzkiego** – [HAC](#). Przewiduje się jego wykorzystanie w terapiach genowych. Wszystkie sztuczne chromosomy podczas podziałów mitotycznych zachowują się jak zwyczajne chromosomy.

## Plazmid Ti

Szczególnym przykładem plazmidu wykorzystywanego w inżynierii genetycznej jest plazmid Ti pochodzący z bakterii *Agrobacterium tumefaciens*. Ma on zdolność do

skutecznego włączania przenieszonego fragmentu DNA do genomu gospodarza, dlatego wykorzystywany jest do modyfikacji genetycznych roślin.

## Zastosowanie wektorów genetycznych

**Wektory genetyczne** znalazły szerokie zastosowanie w przemyśle biotechnologicznym, medycynie genetycznej, biologii molekularnej, biologii komórkowej i biochemii. Przede wszystkim wykorzystywane są do **klonowania DNA**, z kolei sklonowane fragmenty DNA mogą być używane do izolacji i analizy genów, odczytywania ich sekwencji nukleotydowej oraz wyszukania mutacji odpowiadających za dane choroby. Pozwalają też na tworzenie bibliotek genowych różnych organizmów.

Ponadto wektory genetyczne wykorzystywane są do **przenoszenia genów pomiędzy organizmami**. Te, które umożliwiają przenoszenie DNA pomiędzy różnymi gatunkami, nazywane są **wektorami wahadłowymi**. Taki system pozwala na dostarczanie do komórek eukariotycznych DNA lub białka, które indukują komórkową odpowiedź immunologiczną organizmu.

Wektory genetyczne mogą być również stosowane w **produkcji białek**. Pierwszym białkiem ssaczym stworzonym przy użyciu technik rekombinacji DNA była ludzka **insulina** – lek, który uratował życie milionom osób chorych na cukrzycę.

Wektory genetyczne wykorzystuje się także do produkcji **szczepionek nowej generacji**. Są one wysoce efektywne i bezpieczne dla pacjenta. Więcej informacji na ich temat znajdziesz w e-materiale pt. [Szczepionki nowej generacji](#).

### Słownik

#### adenowirusy

rodzina kulistych wielościennej wirusów o genomie zbudowanym z dwuniciowego DNA; występują w drogach oddechowych i układzie

pokarmowym większości ludzi; adenowirusy są chorobotwórcze dla człowieka, niektórych ssaków oraz ptaków

## **BAC**

(ang. *bacterial artificial chromosome*) sztuczny chromosom bakteryjny

## **bakulowirusy**

rodzina wirusów DNA chorobotwórczych dla stawonogów, głównie owadów; mają genom w postaci kolistego dwuniciowego DNA; otoczone osłonką wiriony mają kształt prętów i zawierają jeden lub więcej nukleokapsydów; dzielą się na trzy grupy w zależności od wyglądu ciał białkowych, które mogą być krystaliczne, wielościennie lub pałeczkowate; wykorzystywane są do walki z owadami szkodliwymi oraz jako wektory w biotechnologii

## **enzymy restrykcyjne**

restryktazy, endonukleazy restrykcyjne; enzymy przecinające nić DNA w wyznaczonym miejscu przez specyficzną sekwencję DNA

## **HAC**

(ang. *human artificial chromosome*) sztuczny chromosom ludzki

## **kosmidy**

plazmidy zawierające sekwencję *cos* – sekwencję odpowiedzialną za „pakowanie” DNA w kapsyd wirusa – co umożliwia zapakowanie rekombinacyjnych kosmidów w układzie *in vitro* w kapsydy bakteriofaga lambda

## **kpz (kilo par zasad)**

odcinek DNA złożony z tysiąca par zasad (pz)

## **ligaza**

enzym katalizujący powstawanie wiązań chemicznych pomiędzy dwoma fragmentami DNA

### **marker selekcyjny**

gen, którego obecność można łatwo zidentyfikować

### **ori**

(od ang. *origin* – początek) charakterystyczna sekwencja nukleotydów w DNA lub RNA będąca miejscem inicjacji replikacji

### **papillomawirusy**

rodzina wirusów, których materiałem genetycznym jest kolista cząsteczka DNA; wirusy te nie mają otoczki lipidowej; np. wirus brodawczaka ludzkiego (HPV)

### **plazmid Ti**

(ang. *tumor-inducing plasmid*) plazmid bakterii *Agrobacterium tumefaciens*; często wykorzystywany jako wektor w inżynierii genetycznej roślin

### **polilinker, miejsce wielokrotnego klonowania, MSC**

(ang. *multiple cloning site*) odcinek DNA wektora genetycznego, w którym znajdują się liczne sekwencje nukleotydowe rozpoznawane przez enzymy restrykcyjne

### **pz**

para zasad; połączone wiązaniami wodorowymi dwie komplementarne zasady azotowe nukleotydów dwóch różnych nici DNA

### **sekwencje *cos***

występują na końcach genomu faga lambda; stanowią tzw. końce kohezyjne, które umożliwiają powstawanie formy kolistej DNA

## **retrowirusy**

rodzina wirusów wykorzystujących w procesie replikacji DNA enzym RNA-zależną polimerazę DNA (odwrotną transkryptazę); swą nazwę zawdzięczają specyficznemu sposobowi syntezy kwasu nukleinowego, rozpoczynającej się od przepisania informacji z RNA na DNA; retrowirusy są szeroko rozpowszechnionymi czynnikami zakaźnymi kręgowców, wywołującymi choroby nowotworowe tkanek pochodzenia mezodermalnego (białaczki, chłoniaki, mięsaki) i nabłonkowego (np. rak sutki, nerek, wątroby), niedobory immunologiczne, choroby autoagresyjne

## **reakcja łańcuchowa polimerazy, PCR**

(ang. *polymerase chain reaction*) technika laboratoryjna biologii molekularnej pozwalająca na powielanie wybranego odcinka DNA *in vitro*

## **SV40**

(ang. *Simian virus 40*) wirus należący do rodziny poliomawirusów; jest odporny na działanie formaliny, która była używana do produkcji szczepionek przeciwko polio

## **transfekcja**

wprowadzenie do komórek eukariotycznych obcego DNA przez wytworzenie porów w błonie komórkowej za pomocą prądu elektrycznego, bombardowanie komórek kulkami ze złota lub wolframu opłaszczonymi DNA bądź wstrzykiwanie obcego DNA za pomocą cienkich kapilar

## **transformacja**

zmiana cech dziedzicznych danego szczepu bakterii pod wpływem pobranego z otoczenia DNA

## **wektor genetyczny**

cząsteczki lub organizmy zdolne do przeniesienia informacji genetycznej do organizmu biorecy

## wirus krowianki

wirus wywołujący zakaźną chorobę bydła domowego i świń; może być patogenny dla człowieka

## YAC

(ang. *yeast artificial chromosomes*) sztuczny chromosom drożdżowy

# Film samouczek

---

Trwa wczytywanie danych..

## Wektory genetyczne

Film dostępny pod adresem </preview/resource/R1Dp0J5TGDX4B>

Wektory genetyczne.

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

Nagranie filmowe pod tytułem *Wektory genetyczne*.




---

Polecenie 1

Polecenie 2

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



## Ćwiczenie 7



W laboratorium przeprowadzono eksperyment klonowania DNA za pomocą wektora II – beta-galaktozydazy.

„Marker II pozwala odróżnić bakterie, które pobrały plazmid bez wstawki, od takich, które otrzymały plazmid zrekombinowany, czyli zawierający wstawkę. Cięcie enzymem restrykcyjnym musi być wykonane w obrębie markera II. Takim markerem jest gen kodujący beta-galaktozydazę. Na wektorze znajduje się N-końcowy fragment genu *lacZ* kodującego ten enzym (nazywany fragmentem Z' lub alfa) wraz z sekwencją promotorową, a w genomie szczepu biorcy znajduje się część C-końcowa wraz z sekwencjami niezbędnymi dla jej ekspresji. Po wprowadzeniu plazmidu do komórki biorcy produkty białkowe obydwu fragmentów genu *lacZ* łączą się, tworząc funkcjonalny enzym. Jest to tzw. alfa-komplementacja. Jeśli w obrębie fragmentu Z' wstawiony zostanie odcinek DNA, w komórce nie będzie powstawał aktywny enzym. Obecność beta-galaktozydazy wykrywa się w komórkach *E. coli* poprzez dodanie do podłoża X-gal, który po przecięciu beta-galaktozydazą przybiera niebieskie zabarwienie”.

Źródło: Materiały do bloku „inżynieria genetyczna”, Instytut Genetyki i Biotechnologii Wydziału Biologii Uniwersytetu Warszawskiego.

Na zdjęciu przedstawiono hodowlę bakterii na podłożu zawierającym X-gal.



Wektor genetyczny.

Źródło: Stefan Walkowski, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 4.0.

## Ćwiczenie 8



„Istnieją dwa sposoby walki z koronawirusem. Po pierwsze, leki mogą atakować białka wirusa, uniemożliwiając im wykonywanie zadań, takich jak wchodzenie do komórki gospodarza i kopiowanie wirusowego materiału genetycznego, gdy znajdują się w środku pneumocytu. Tak działa np. remdesivir - będący obecnie w fazie badań klinicznych COVID-19. Problem z tym podejściem polega na tym, że wirusy mutują i zmieniają się w czasie. W przyszłości koronawirus może ewoluować w taki sposób, że lek ten będzie bezużyteczny. Ten wyścig zbrojeń między lekami a wirusami jest powodem, dla którego każdego roku pojawia się potrzeba nowej szczepionki przeciw grypie. Alternatywnie lek może działać, blokując dostęp białka wirusowego służącego interakcji z białkiem ludzkim, którego potrzebuje dla efektywnego namnożenia się. To podejście blokady «zatków» gospodarza - zasadniczo chroniące maszynę gospodarza - ma dużą zaletę nad pierwszym podejściem opisanym powyżej, tj. wyłączeniem samego wirusa poprzez atakowanie jego białek, ponieważ ludzka komórka nie zmienia się tak szybko. Gdy znajdzie się zatem dobry lek, powinien on dalej działać. Co więcej, może także działać przeciwko innym wirusom”.

Źródło: Magdalena Gabig-Cimińska, *Lek coraz bliżej. Setki naukowców próbują zrozumieć koronawirusa*, 2020.

# Dla nauczyciela

---

**Autor:** Anna Juwan

**Przedmiot:** Biologia

**Temat:** Wektory genetyczne

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

**Podstawa programowa:**

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XV. Biotechnologia. Podstawy inżynierii genetycznej. Uczeń:

3) przedstawia narzędzia wykorzystywane w biotechnologii molekularnej (enzymy: polimerazy, ligazy i enzymy restrykcyjne) i określa ich zastosowania;

**Kształtowane kompetencje kluczowe:**

- kompetencje obywatelskie;
- 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):**

- Wyjaśnisz istotę wykorzystania wektorów genetycznych.

- Omówisz rodzaje wektorów genetycznych.
- Wymienisz cechy wektorów genetycznych.
- Wskażesz wady i zalety wektorów genetycznych.
- Wyjaśnisz sposób przenoszenia transgenu.

### **Strategie nauczania:**

- konstruktywizm;
- konektywizm.

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

- odwrócona klasa;
- z użyciem komputera;
- rozmowa kierowana;
- praca z filmem samouczkiem;
- ćwiczenia interaktywne;
- analiza tekstu źródłowego.

### **Formy pracy:**

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

### **Środki dydaktyczne:**

- komputery z głośnikami, słuchawkami i dostępem do internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;

- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda.

### **Przed lekcją:**

1. Uczniowie zapoznają się z treścią w sekcji „Przeczytaj”.

### **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 pyta uczniów, czym są wektory genetyczne. Zapisuje ich odpowiedzi na tablicy. Następnie uczniowie z pomocą nauczyciela dokonują selekcji odpowiedzi i ustalają definicję wektora genetycznego.

#### **Faza realizacyjna:**

1. **Praca z multimedium („Film samouczek”).** Uczniowie zapoznają się z filmem samouczkiem. Następnie nauczyciel czyta polecenie nr 1 („Dokonaj analizy budowy wektora plazmidowego i wyjaśnij, jaka jest rola poszczególnych elementów jego budowy – miejsca inicjacji replikacji oraz genu reporterowego – w procesie transformacji genetycznej”) oraz polecenie nr 2 („Scharakteryzuj wirusy oraz sztuczne chromosomy jako przykład wektorów genetycznych”) i prosi uczniów, aby wykonali je w parach. Wybrana osoba prezentuje propozycję odpowiedzi, a pozostali uczniowie ustosunkowują się do nich. Nauczyciel w razie potrzeby uzupełnia je.
2. **Gra dydaktyczna.** Uczniowie dzielą się na zespoły i na podstawie przeczytanego tekstu oraz informacji zawartych w medium w sekcji „Film samouczek” układają pytania quizowe dla innych grup. Nauczyciel wraz z uczniami określa zasady rywalizacji i punktowania dobrych odpowiedzi (np. gra na czas lub na liczbę poprawnych odpowiedzi). Przeprowadzenie gry w klasie. Nauczyciel lub wybrany

uczeń dba o prawidłowy przebieg quizu zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami. Nauczyciel ogłasza zwycięską drużynę.

- 3. Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie samodzielnie wykonują ćwiczenie nr 7 (w którym mają za zadanie – na podstawie tekstu źródłowego dotyczącego eksperymentu klonowania DNA za pomocą beta-galaktozydazy – wyjaśnić pojawienie się kolonii bakterii o różnych barwach) 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.

### **Faza podsumowująca:**

- Uczniowie rozwiązują ćwiczenie nr 5 (typu „prawda/fałsz”) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie przygotowują podobne zadanie dla osoby z pary: tworzą trzy prawdziwe lub fałszywe zdania dotyczące tematu lekcji. Uczniowie wykonują ćwiczenie otrzymane od kolegi lub koleżanki.
- Nauczyciel wyświetla treści zawarte w sekcji „Wprowadzenie” i na ich podstawie dokonuje podsumowania najważniejszych informacji przedstawionych na lekcji. Wyjaśnia także wątpliwości uczniów.

### **Praca domowa:**

- Wykonaj ćwiczenia od 1 do 4 oraz 6 z sekcji „Sprawdź się”.
- Dla chętnych: Wykonaj ćwiczenie nr 8 z sekcji „Sprawdź się”.

### **Materiały pomocnicze:**

- Jane B. Reece i in., „Biologia Campbella”, tłum. K. Stobrawa i in., Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2021.

### **Dodatkowe wskazówki metodyczne:**

- Uczniowie mogą przed lekcją zapoznać się z multimediami zamieszczonymi w sekcji „Film samouczek”, aby przygotować się do późniejszej pracy na zajęciach.