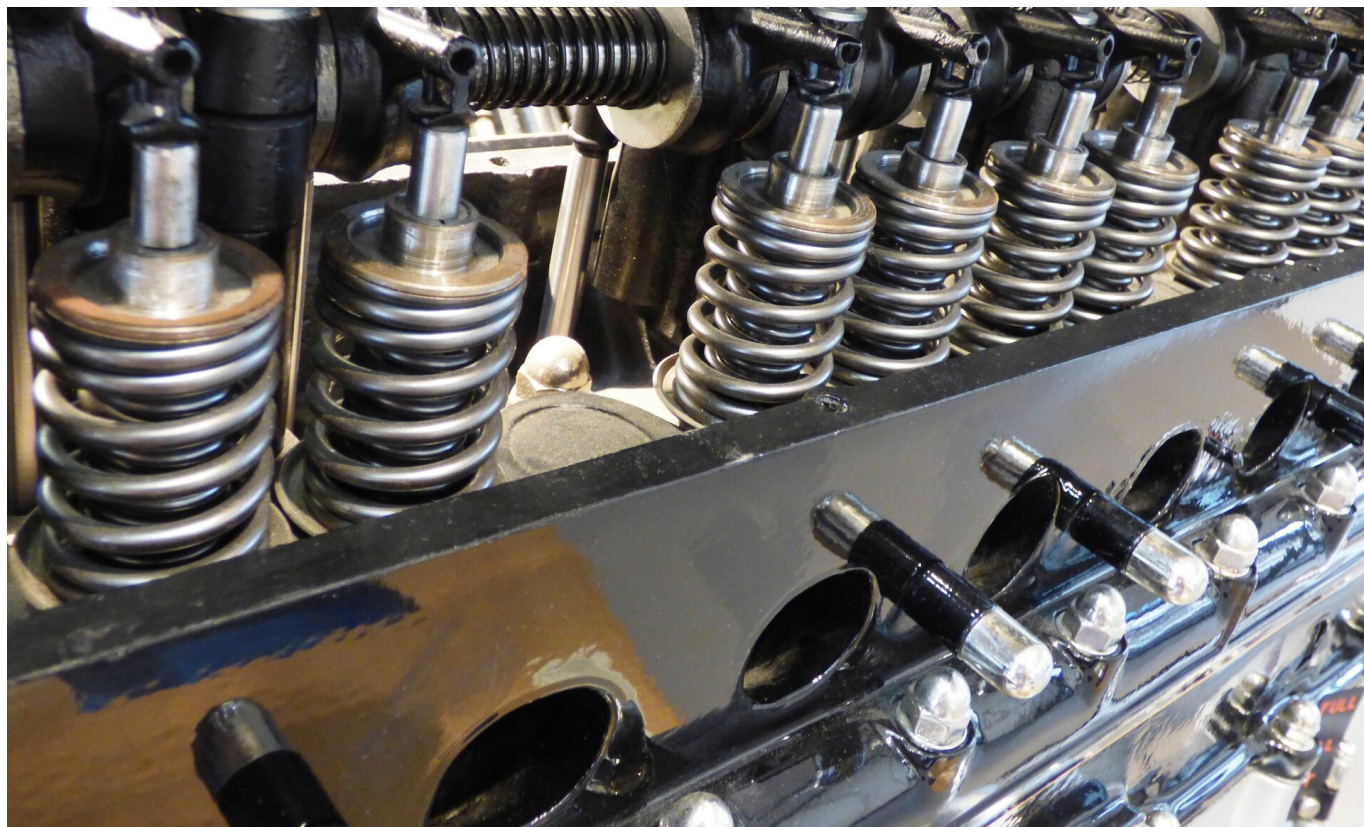




Cykl pracy czterosuwowego silnika spalinowego

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



Cykl pracy czterosuwowego silnika spalinowego

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/photos/silnik-motoryzacja-cylinder-1100580/> [dostęp 24.04.2022], domena publiczna.

Czy to nie ciekawe ?



Fot. a. W przyszłości samochody wyposażone w silniki spalinowe zostaną najprawdopodobniej zastąpione przez bardziej ekologiczne samochody elektryczne.

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/photos/korek-samochod%c3%b3w-samoch%c3%b3d-4522805/> [dostęp 12.06.2022], domena publiczna.

W minionym, dwudziestym wieku, spalinowe silniki czterosuwowe zyskały ogromną popularność. I chociaż coraz częściej na drogach można spotkać samochody elektryczne, to jednak te wyposażone w silniki spalinowe ciągle jeszcze stanowią większość. Silniki spalinowe stosuje się również w wielu innych urządzeniach, takich jak kosiarki, motocykle, łodzie motorowe itp. Jak działa silnik spalinowy? Dowiesz się z tego e-materiału.

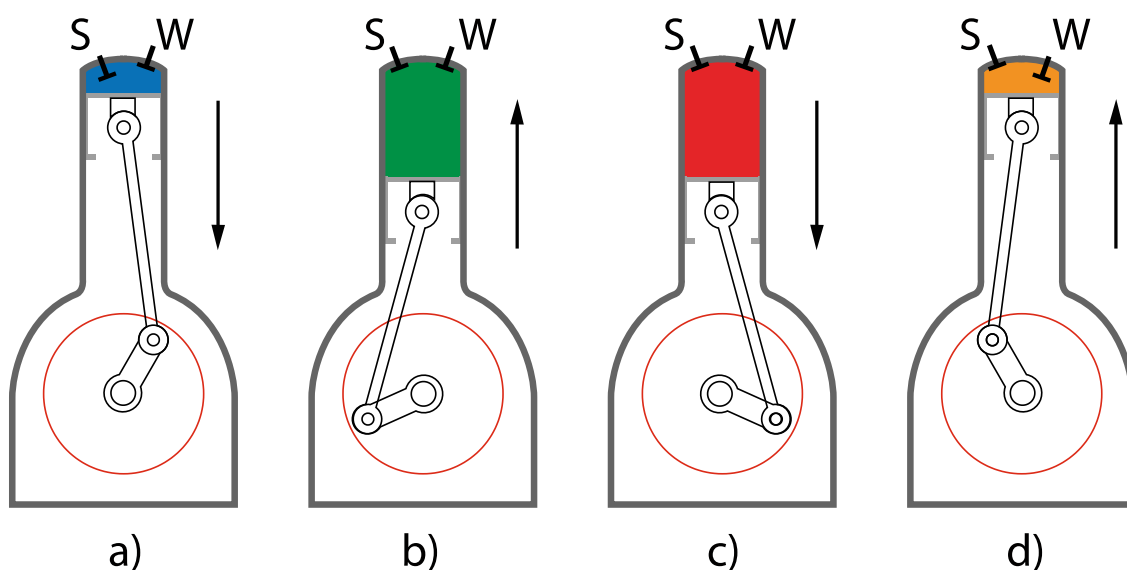
Twoje cele

- poznasz budowę czterosuwowego silnika spalinowego,
- wyjaśnisz rolę kolejnych suwów silnika: ssania, sprężania, pracy i wydechu,
- zrozumiesz, w jaki sposób posuwisty ruch tłoka przenoszony jest na ruch obrotowy koła zamachowego,
- przeanalizujesz cykl Otta, który odpowiada cyklowi pracy czterosuwowego silnika benzynowego.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Główną częścią silnika czterosuwowego jest cylinder z poruszającym się tłokiem (Rys. 1.). W czasie jednego cyklu tłok wykonuje cztery suwy, stąd nazwa silnika. W górnej części cylindra znajdują się dwa zawory. Przez zawór ssania (S) dostarczana jest mieszanka paliwowo-powietrzna, będąca mieszaniną par paliwa i powietrza, która podlega przemianom termodynamicznym w cylindrze silnika. Zawór wydechu (W) służy natomiast do usuwania gazów powstałych podczas spalania paliwa.



Rys. 1. Cykl pracy czterosuwowego silnika spalinowego: a) suw ssania, b) suw sprężania, c) suw pracy, d) suw wydechu.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Suw ssania. Pierwszy suw silnika to suw ssania (Rys. 1a.). Podczas tego suwu zawór ssania jest otwarty, zaś zawór wydechu zamknięty. Tłok porusza się w dół, zasysając do cylindra mieszankę paliwowo-powietrzną. Gdy tłok osiągnie najniższe położenie, zawór ssania zamyka się.

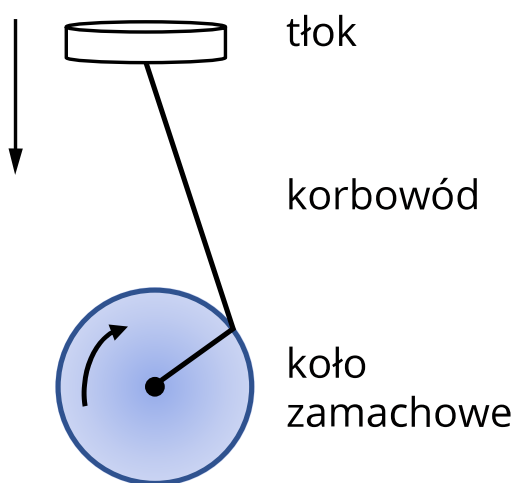
Suw sprężania. Teraz tłok porusza się do góry, sprężając mieszankę paliwowo-powietrzną przy zamkniętych obu zaworach (Rys. 1b.). Zwiększa się ciśnienie i temperatura mieszanki. Gdy tłok zbliża się do swego najwyższego położenia, następuje zapłon, czyli zapalenie się mieszanki paliwowo-powietrznej. Zapłon w silnikach benzynowych powodowany jest przez przeskok iskry elektrycznej w świecy.

Suw pracy. Gazy powstałe w wyniku spalania mieszanki paliwowej mają bardzo wysoką temperaturę i ciśnienie. Odpychają z ogromną siłą tłok, wykonując pracę mechaniczną

(Rys. 1c.). Siła wywierana na tłok może dorównywać naciskowi ciała o masie kilku ton.

Suw wydechu. Ostatnim suwem cyklu jest suw wydechu (Rys. 1d.). Zawór wydechu jest otwarty, tłok porusza się do góry, wypychając gazy powstałe w wyniku spalania mieszanki paliwowej. Gdy tłok osiągnie najwyższe położenie, zawór wydechu zamyka się, a otwiera zawór ssania. Zaczyna się nowy cykl pracy silnika.

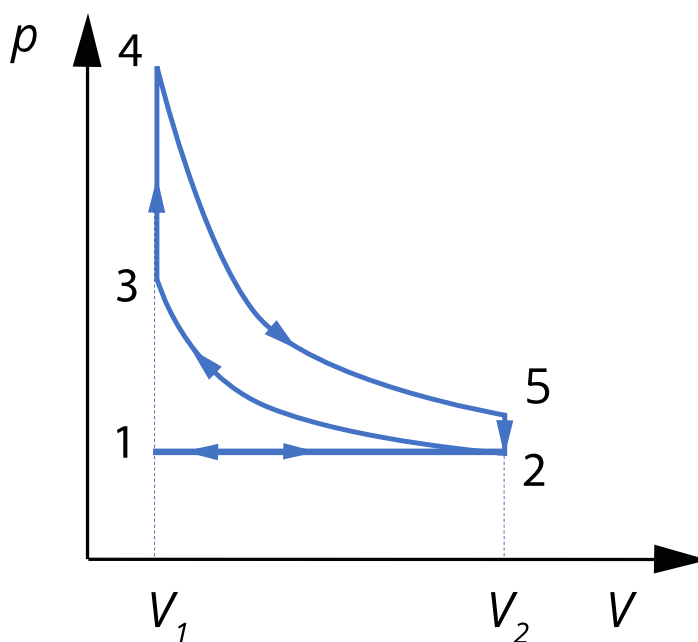
Z jednego suwu pracy silnik musi uzyskać wystarczającą energię, by zrealizować pozostałe trzy suwy. Posuwisty ruch tłoka przenoszony jest, za pomocą korbowału (Rys. 2.), na ruch obrotowy koła zamachowego. Energia kinetyczna koła zamachowego pozwala na wykonanie pozostałych suwów.



Rys. 2. Korbował przenosi ruch posuwisty tłoka na koło zamachowe.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Cykl pracy czterosuwowego silnika benzynowego odpowiada, w przybliżeniu, termodynamicznemu cyklowi Otta, który schematycznie przedstawiono na Rys. 3.



Cykl Otta składa się z następujących po sobie procesów termodynamicznych:

- 1 → 2: **Suw ssania**. Zawór ssania (tj. wlotowy) jest otwarty, więc ciśnienie w cylindrze jest stałe i równe ciśnieniu atmosferycznemu (jest to **przemiana izobaryczna**). Objętość wzrasta od minimalnej wartości V_1 do maksymalnej wartości V_2 .
- 2 → 3: **Suw sprężania**. Ruch tłoka jest tak szybki, że nie zdąży zajść wymiana ciepła z otoczeniem. Jest to więc sprężanie **adiabataczne**, podczas którego objętość zmniejsza się do wartości V_1 .
- 3 → 4: Wybuch mieszanki paliwowej, podczas którego następuje gwałtowny wzrost ciśnienia przy stałej objętości (proces ten odpowiada **przemianie izochorycznej**).
- 4 → 5: **Suw pracy**. Gazy spalinowe ulegają **adiabatycznemu** rozprężeniu, objętość wzrasta do wartości V_2 . Gaz wykonuje pracę.
- 5 → 2: Otwarcie zaworu wydechu (tj. wylotowego). Ciśnienie spada do wartości ciśnienia atmosferycznego.
- 2 → 1: **Suw wydechu**. Gazy spalinowe zostają usunięte z cylindra wskutek ruchu tłoka. Objętość zmniejsza się do wartości V_1 przy stałym ciśnieniu.

Słowniczek

Przemiana adiabaticzna

(*ang.: adiabatic process*) przemiana termodynamiczna, podczas której nie ma wymiany ciepła z otoczeniem, a zmiana energii wewnętrznej układu termodynamicznego (np. gazu) jest równa pracy wykonanej nad układem przez siły zewnętrzne.

Przemiana izobaryczna

(*ang.: isobaric process*) przemiana termodynamiczna, która przebiega w warunkach stałego ciśnienia. $\frac{V}{T} = \text{const}$

Przemiana izochoryczna

(*ang.: isochoric process*) przemiana termodynamiczna, podczas której objętość układu termodynamicznego (np. gazu) nie zmienia się. $\frac{p}{T} = \text{const}$

Przemiana izotermiczna

(*ang.: isothermal process*) przemiana termodynamiczna, która przebiega w stałej temperaturze. $pV = \text{const}$

Cykl pracy czterosuwowego silnika spalinowego

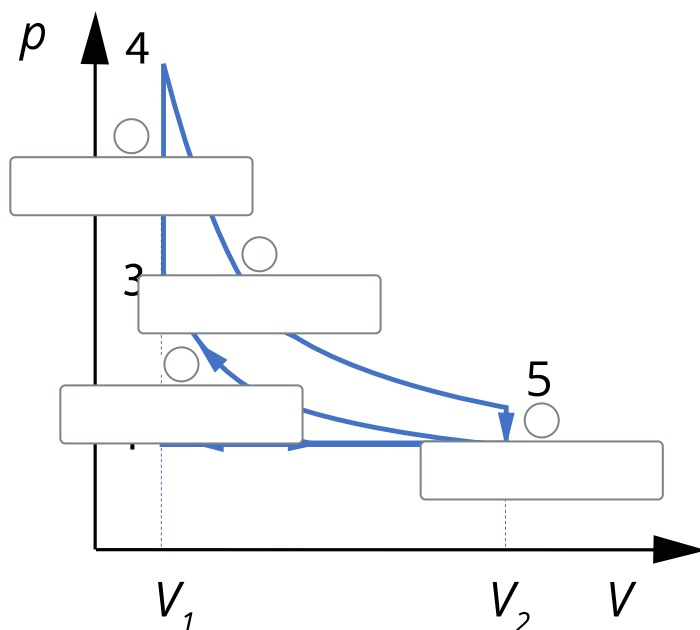
Obejrzyj animację przedstawiającą pracę silnika czterosuwowego, a następnie odpowiedz na umieszczone poniżej polecenia.

Polecenie 1

Cykl pracy czterosuwowego silnika benzynowego odpowiada, w przybliżeniu, termodynamicznemu cyklowi Otta, który przedstawiono na poniższym rysunku. Cykl ten składa się z naprzemiennie występujących przemian izobarycznych i adiabatycznych.

Na zamieszczonym rysunku, przy właściwych przemianach, umieść jeden z poniższych podpisów:

1. $Q > 0$ (do silnika jest dostarczane ciepło),
2. $Q < 0$ (silnik oddaje ciepło do otoczenia),
3. $W < 0$ (silnik wykonuje pracę),
4. $W > 0$ (siła zewnętrzna wykonuje pracę).



Polecenie 2

Każdy silnik termodynamiczny pobiera ciepło ($Q_{\text{pobrane}} > 0$), którego część zamienia na pracę ($W < 0$), a pozostałą część ($Q_{\text{oddane}} < 0$) oddaje do otoczenia (zob. Polecenie 1.). Przeanalizuj cykl pracy spalinowego silnika czterosuwowego i odpowiedz, w którym momencie cyklu silnik pobiera ciepło i skąd ono pochodzi, a także kiedy i dokąd ciepło jest oddawane.

Polecenie 3

W silniku o zapłonie samoczynnym (znanym jako **silnik wysokoprężny** lub **silnik Diesla**) do cylindra dostarczana jest nie mieszanka paliwowo-powietrzna, ale samo powietrze, które sprężane jest w trakcie suwu sprężania do bardzo wysokiego ciśnienia (stąd nazwa - silnik wysokoprężny). Temperatura panująca wówczas w cylindrze może osiągać nawet 2000°C . Kiedy tłok zbliża się do swojego najwyższego położenia następuje wtrysk rozpylonego paliwa, które zapala się samoczynnie po przekroczeniu w komorze spalania temperatury jego zapłonu.

Zastanów się, jakiego podstawowego elementu występującego w silniku benzynowym omówionym w animacji brakuje w silniku Diesla?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Uzupełnij zdanie:

W cyklu spalinowego silnika czterosuwowego zyskujemy energię podczas suwu

sprężania ☐ / pracy ☐.

Ćwiczenie 2



Uzupełnij zdanie:

W cylindrze spalinowego silnika czterosuwowego ciśnienie jest stałe podczas suwu:

ssania ☐ / sprężania ☐ / pracy ☐ / wydechu ☐, a zwiększa się podczas suwu:

ssania ☐ / sprężania ☐ / pracy ☐ / wydechu ☐.

Ćwiczenie 3



Wybierz prawdziwe stwierdzenie:

☐ W suwie sprężania gaz podlega przemianie izobarycznej.

☐ W suwie sprężania gaz podlega przemianie izotermicznej.

☐ W suwie sprężania gaz podlega przemianie adiabatycznej.

Ćwiczenie 4



Zaznacz, które z poniższych stwierdzeń nie są prawdziwe:

☐ W suwie wydechu ciśnienie w cylindrze rośnie.

☐ W suwie wydechu ciśnienie w cylindrze jest stałe.

☐ W suwie wydechu ciśnienie w cylindrze maleje.

Ćwiczenie 5



Dokończ zdanie:

Czterocylindrowy silnik to czterosuwowy silnik spalinowy, w którym pracują cztery jednakowe cylindry. Aby zapewnić płynność pracy silnika, ...

☐ cykle pracy kolejnych cylindrów powinny być opóźnione o $\frac{1}{4}$ czasu trwania cyklu.

☐ cykle pracy kolejnych cylindrów powinny być opóźnione o $\frac{1}{2}$ czasu trwania cyklu.

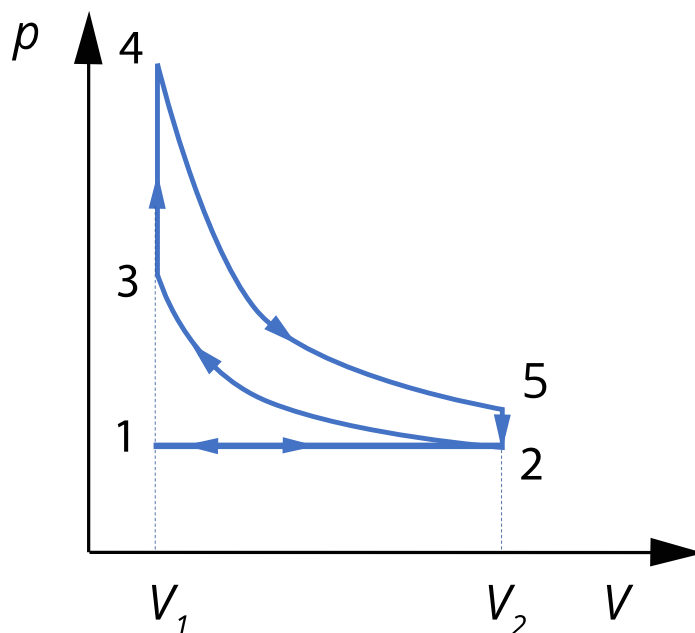
☐ cykl pracy każdego cylindra powinien rozpoczynać się w tym samym momencie.

Uzasadnij swoją odpowiedź.

Ćwiczenie 6



Poniższa ilustracja przedstawia cykl Otta, który odpowiada cyklowi pracy czterosuwowego silnika benzynowego. Odpowiedz, jak zmienia się temperatura w cylindrze w przemianie $3 \rightarrow 4$ i w przemianie $4 \rightarrow 5$. Jaka jest przyczyna tych zmian w silniku spalinowym?



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ćwiczenie 7



Sprawność silnika cieplnego równa jest stosunkowi pracy wykonanej w jednym cyklu do ciepła pobranego. Przeanalizuj termodynamiczny cykl Otta, odpowiadający cyklowi pracy czterosuwowego silnika benzynowego i odpowiedz, jakie zmiany w rozmiarach cylindra prowadzą do zwiększenia sprawności silnika.

Ćwiczenie 8



Pokaż, że sprawność cyklu Otta, w którym czynnikiem roboczym jest jednoatomowy gaz doskonały, jest opisana wzorem:

$$\eta = 1 - \left(\frac{V_k}{V_p} \right)^{\frac{2}{3}},$$

gdzie V_k i V_p , przy czym $V_k < V_p$, oznaczają charakterystyczne objętości gazu.

Wskazówki:

1. W przemianie izochorycznej, podczas której objętość gazu nie zmienia się, gaz może pobrać ciepło z otoczenia (wówczas rozpręża się) lub oddać ciepło do otoczenia (wtedy się spręża). Podczas przemiany izochorycznej praca jest równa zero.
2. W przemianie adiabatycznej gaz nie wymienia ciepła z otoczeniem, ale jego stan może się zmienić w wyniku pracy, którą gaz wykonuje nad otoczeniem, bądź otoczenie nad gazem.
3. Ciepło wymienione między układem i otoczeniem podczas przemiany izochorycznej wynosi: $Q = n \cdot c_p (T_k - T_p)$, gdzie n - liczba moli gazu, c_p - ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu, T_p i T_k temperatury: początkowa i końcowa gazu.
4. Równanie adiabaty gazu doskonałego ma postać: $TV^{\frac{2}{3}} = \text{const.}$

Dla nauczyciela

Konspekt (scenariusz) lekcji

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Cykl pracy czterosuwowego silnika spalinowego.
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach; VI. Termodynamika. Uczeń: 16) analizuje przedstawione cykle termodynamiczne, oblicza sprawność silników cieplnych;
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. wyjaśni budowę czterosuwowego silnika spalinowego, 2. wyjaśni rolę kolejnych suwów silnika: ssania, sprężania, pracy i wydechu oraz identyfikuje procesy termodynamiczne związane z każdym suwem, 3. wyjaśnia, jak posuwisty ruch tłoka przenoszony jest na ruch obrotowy koła zamachowego, 4. analizuje cykl Otta, który odpowiada cyklowi pracy czterosuwowego silnika benzynowego.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obszernacyjna (dostrzeganie i definiowanie problem6w)
Metody nauczania:	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w parach; praca indywidualna.
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia.
Materiały pomocnicze:	e-materiały „Co to jest silnik cieplny”, „Analizujemy przepływ energii w postaci ciepła i pracy mechanicznej w silnikach i pompach cieplnych”.
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
• Wprowadzenie zgodnie z treścią w części „Czy to nie ciekawe?”. • Odwołanie do wiedzy uczniów o silnikach cieplnych.	
Faza realizacyjna:	
Nauczyciel omawia budowę silnika i kolejne etapy jego pracy (tzw. suwy) posługując się wyświetlonym Rys. 1. z części „Warto przeczytać”. Wyjaśnia działanie mechanizmu korbowodu, przenoszącego ruch posuwisty tłoka na ruch obrotowy koła zamachowego. Następnie uczniowie w dyskusji, z pomocą nauczyciela, ustalają, jakie przemiany gazowe zachodzą w silniku i w wyniku tych rozważań powstaje wykres ilustrujący cykl Otta. Uczniowie oglądają 'Animację 3D' zamieszczoną w e-materiale w celu utrwalenia wiadomości przekazanych przez nauczyciela podczas wykładu informacyjnego.	
Faza podsumowująca:	
Uczniowie rozwiązują w parach zadania 1-4 z zestawu ćwiczeń.	
Praca domowa:	
Zadania z zestawu ćwiczeń: obowiązkowo 6 i 7, a dla chętnych 5 i 8.	

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:	Multimedium bazowe może być wykorzystane przez uczniów po lekcji do powtórzenia i utrwalenia materiału.
--	---