

W umiarkowanych szerokościach geograficznych należy rozwijać energetykę wiatrową

Pakiet edukacyjny



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



Wprowadzenie

Poniższy pakiet edukacyjny składa się z dwóch części. W pierwszej zamieszczono podstawowe informacje dotyczące tematu debaty.

W drugiej części otrzymasz wskazówki, w jaki sposób bezpośrednio przygotować się do dyskusji, w szczególności jak przygotować argumenty popierające bądź zaprzeczające poniższej tezie:

W umiarkowanych szerokościach geograficznych
należy rozwijać energetykę wiatrową.

WSTĘP

Wiatr, a więc uporządkowany ruch cząsteczek w atmosferze, spowodowany jest różnicą ciśnień w dwóch graniczących ze sobą obszarach. Taką różnicę nazywamy gradientem ciśnienia, a jego źródłem są przede wszystkim różnice w nagrzewaniu się powierzchni mórz i lądów pod wpływem promieniowania słonecznego. Tak więc to właśnie Słońce jest źródłem energii, która napędza ruch ziemskiej atmosfery. Naukowcy szacują, że jedynie 1-2% całkowitej energii ze Słońca, która dociera do powierzchni ziemi, zamienia się w energię wiatru. Nawet ta niewielka część to, w skali całej Planety, moc rzędu 3 PW (petawatów – milionów gigawatów). Stały strumień mocy dostarczanej do atmosfery oznacza, że energia wiatru nigdy się nie wyczerpie – mówimy, że jest odnawialna.

Niestety większość energii wiatru znajduje się w miejscach zbyt niedostępnych lub zbyt wysoko, byśmy mogli ją wykorzystać. Wiatry wiejące w miejscach, które umożliwiają zainstalowanie siłowni wiatrowych, zarówno nad powierzchnią lądów jak i w obszarach przybrzeżnych, mają potencjał energetyczny rzędu 60 TW (terawatów – tysięcy gigawatów). Dla porównania średnie światowe zużycie energii w 2019 roku nie przekraczało 3 TW.

Zastanów się i odpowiedz na poniższe pytania:

1. Ilorotnie więcej energii możemy odzyskać z wiatru w stosunku to światowego zużycia w 2019 roku?
2. Powiedzieliśmy, że energia ze słońca jest cały czas dostarczana do atmosfery ziemi. Prędkość wiatru nie rośnie jednak w nieskończoność – średnia prędkość wiatru dla całej planety jest w przybliżeniu stała. W co przekształca się energia kinetyczna ruchu powietrza?
3. TRUDNE! - Zakładając 3% roczny wzrost zapotrzebowania na energię za ile lat całkowite zapotrzebowanie naszej cywilizacji zrówna się z całkowitą energią dostępną z wiatru.



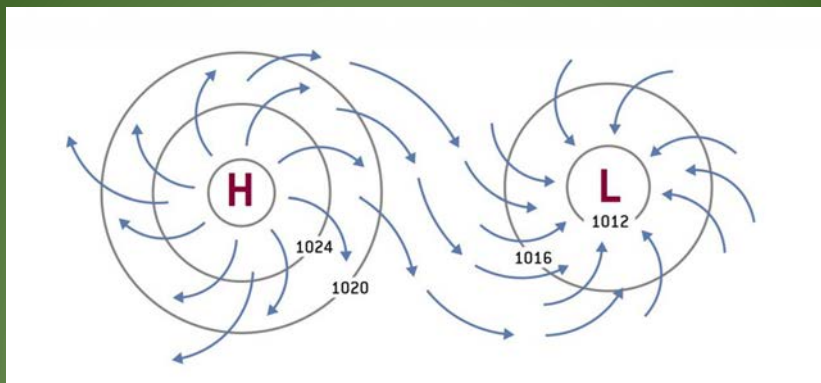


WYŻE I NIŻE

Gradient ciśnienia jest źródłem siły, która napędza ruch powietrza w atmosferze. Nie oznacza to jednak, że ruchem tym nie rządzą również inne efekty.

Ziemia jest, w przybliżeniu, obracającą się kulą. Jeżeli zwiążemy z nią nasz układ odniesienia (co zazwyczaj robimy) będziemy mogli zaobserwować dodatkowe – pozorne siły wpływające na ruch ciał.

Efekt Coriolisa to pozorna siła, która powoduje odchylenie od prostego toru ruchu. Kierunek odchylenia zależy od półkuli, na której się znajdujemy. Na północ od równika tor ruchu poruszających się obiektów zakrzywia się w prawą stronę. Powietrze poruszające się od wyżu do niżu porusza się ruchem spiralnym, a nie, jak mogłoby się wydawać po linii prostej. Sprawia to, że droga, którą musi pokonać masa powietrza znacznie się wydłuża, podobnie jak czas życia układów niskiego i wysokiego ciśnienia. W okolicach równika, gdzie efekt Coriolisa jest zaniedbywalny, nie obserwuje się wyżów i niżów, a co za tym idzie cykliów pogodowych, które znamy ze średnich szerokości geograficznych.



Zakrzywienie torów ruchu powietrza na półkuli północnej. H – wyż, L - niż

Zastanów się i odpowiedz na poniższe pytania:

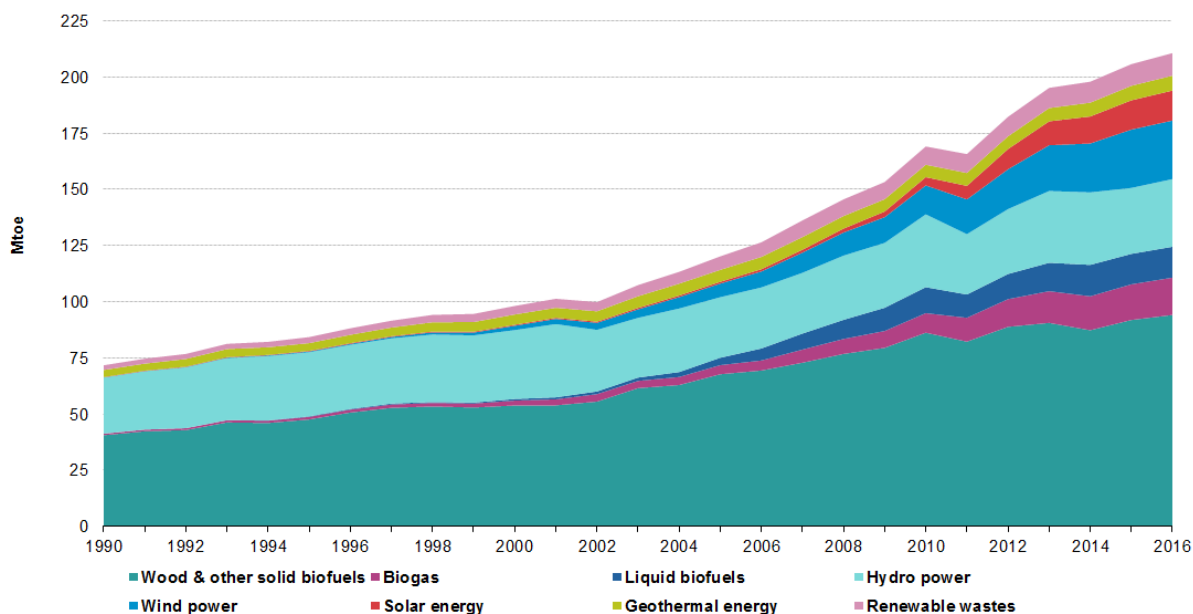


1. W którą stronę obracają się huragany (układy niżowe) na półkuli południowej?
2. TRUDNE! – czy trąby powietrzne kręcą się zawsze w tę samą stronę (na danej półkuli)?

ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII

Odnawialne źródła energii, to takie źródła energii, których zasoby odnawiają się we względnie krótkim czasie – maksymalnie rzędu dekad. Takimi źródłami są między innymi wiatr, promieniowanie słoneczne, opady, pływy morskie, fale morskie, uprawy energetyczne oraz energia geotermalna. Dla porównania za źródła nieodnawialne uznajemy te, których zasoby odtwarzają się bardzo powoli bądź wcale: ropa naftowa, węgiel, gaz ziemny i uran pozyskiwany z kopalni.

W związku ze zwiększeniem globalnej świadomości dotyczącej problemu globalnego ocieplenia rządy wielu krajów wprowadziły systemy dopłat i zachęt do inwestycji w odnawialne źródła energii. Inwestycje te są przedmiotem toczącej się debaty. Zwolennicy odnawialnych źródeł energii wskazują na problemy związane ze spalaniem paliw kopalnych, stanowiących źródło około 80% energii dla ludzkości: zanieczyszczenie środowiska, globalne ocieplenie i wyczerpywanie się zasobów. Ich przeciwnicy wskazują na wysokie koszty, niestabilność produkowanej energii, dodatkowe koszty ekologiczne i wątpliwy wpływ na zużycie paliw kopalnych.



Rys 1: konsumpcja energii ze źródeł odnawialnych, EU-28, 1990-2016. Źródło: Eurostat



Karta informacji 1

Szanowanie kosztów inwestycji w odnawialne źródła energii

Planując inwestycję w źródła odnawialne należy wziąć pod uwagę jej realne koszty.

Są one często nieoczywiste i trudne do oszacowania. Możemy tu wyróżnić:

- **Wytworzenie instalacji**
koszty budowy, wykupu gruntów oraz uzyskania koniecznych pozwoleń
- **Obsługa i utrzymanie**
koszty utrzymania instalacji w stanie pełnej sprawności, płace pracowników, szkolenia, zapewnienie bezpieczeństwa, koszty ubezpieczeń
- **Wpływ na środowisko**
koszty projektowe, ewentualne odszkodowania dla ludności i/lub władz lokalnych (np. rekompensaty za uciążliwy hałas, zaburzenie migracji zwierząt)
- **Koszty społeczne**
wpływ instalacji na lokalną turystykę oraz trudne do oszacowania społeczne koszty przesiedleń ludności
- **Trwałość**
koszty związane z amortyzacją wartości instalacji oraz koniecznymi wymianami zużytych elementów
- **Recycling**
koszty rozbiórki instalacji oraz przywrócenia terenu do stanu pierwotnego



Energia wiatrowa

Elektrownie wiatrowe mają strukturę rozproszoną. Zbudowane są z pojedynczych turbin wiatrowych, z których każda może pracować niezależnie od innych i stanowi sama w sobie elektrownię wiatrową. Częścią wspólną jest jedynie rozdzielnia mocy. Poszczególne turbiny są zbudowane ze stosunkowo tanich i dostępnych materiałów takich jak stal, aluminium, włókno szklane, beton czy miedź. Rozproszona struktura elektrowni wymusza wytworzenie dużej liczby turbin, co może wygenerować wysoki koszt w przeliczeniu na megawat. Z drugiej strony umożliwia to niemal taśmową produkcję podzespołów, co zmniejsza koszty oraz ułatwia logistykę transportu podzespołów.



Rys 2: Elektrownia wiatrowa, Kopenhaga

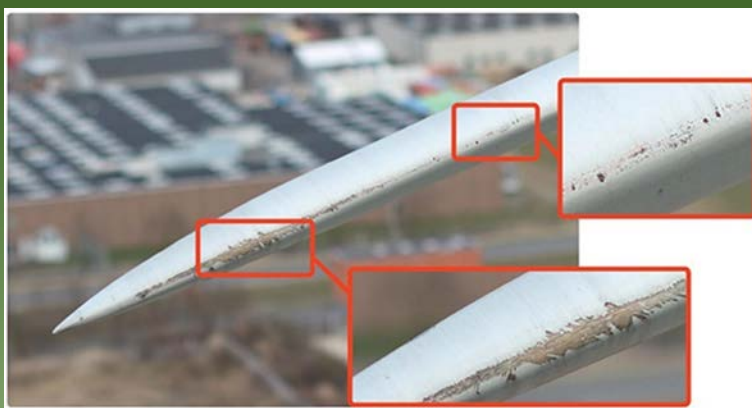
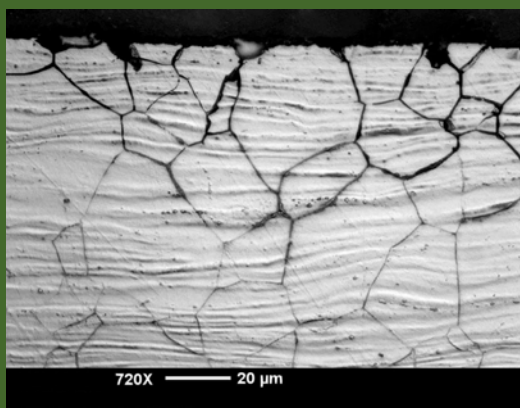
Znaczna liczba turbin w ramach elektrowni wiatrowej oznacza niestety, że ich konserwacja i naprawy są drogie i czasochłonne. Specyfika konstrukcji turbin (zlokalizowanie większości infrastruktury na szczycie masztu) wymusza pracę konserwatorów na dużych wysokościach. W przeliczeniu na wytworzoną megawatogodzinę elektrownie wiatrowe są odpowiedzialne za najwyższą liczbę wypadków śmiertelnych wśród pracowników elektrowni.



Elektrownie wiatrowe cechują się stosunkowo niską trwałością. Pracująca turbina generuje silne wibracje, które wpływają na skrócenie żywotności takich elementów jak łożyska. Ponadto turbiny wystawione są na bezpośrednie działanie czynników atmosferycznych oraz często pracują w środowisku o wysokim zasoleniu (instalacje morskie i nadbrzeżne).

TRWAŁOŚĆ TURBIN WIATROWYCH

Pracująca turbina wiatrowa narażona jest na szereg czynników skracających jej żywotność. Firmy projektujące elektrownie wiatrowe stworzyły swoje produkty tak aby jak najdłużej mogły pracować bez potrzeby wymiany elementów. Praktyka pokazała jednak, że wpływ niektórych czynników był w projektach czasem niedoszacowany.



Po lewej: Zasolone środowisko pracy oraz znaczne zmiany temperatury prowadzą do powstawania kolozji międzykrystalicznej w aluminium, z którego wykonane są niektóre elementy nośne konstrukcji turbiny. Po prawej: Końcówki łopat pracującej turbiny mogą rozpędzać się do prędkości powyżej 300km/h. Zderzenia łopat z okruskami lodu oraz mikrokryształkami soli prowadzą do erozji powierzchni natarcia łopaty. Zwiększa to znacznie opór aerodynamiczny a co za tym idzie zmniejsza ogólną sprawność turbiny.

Kolejnym następstwem rozproszonej struktury elektrowni wiatrowych jest ich duże zapotrzebowanie na przestrzeń. Oznacza to wysokie ceny wykupu/dzierżawy gruntów oraz znaczny wpływ na otaczający krajobraz. W przypadku Polski projekty stworzenia elektrowni wiatrowych na Bałtyku, wzdłuż wybrzeża spotkały się z silnymi protestami ze strony społeczności trudniącej się turystyką. Mieszkańcy nadmorskich miejscowości obawiali się, że widok wiatraków z nadmorskich plaż zmniejszy ich atrakcyjność i ograniczy liczbę odwiedzających turystów. Badania prowadzone w Europie zachodniej pokazały jednak, że powyższa korelacja nie zachodzi w stopniu istotnym statystycznie.

Materiały, z których wykonane są turbiny wiatrowe można poddać w prosty sposób przetworzeniu lub utylizacji. Rozproszona struktura ułatwia jednocześnie proces recyklingu turbin. Ponadto po usunięciu turbin teren zostaje w znacznym stopniu przywrócony do stanu sprzed budowy instalacji.

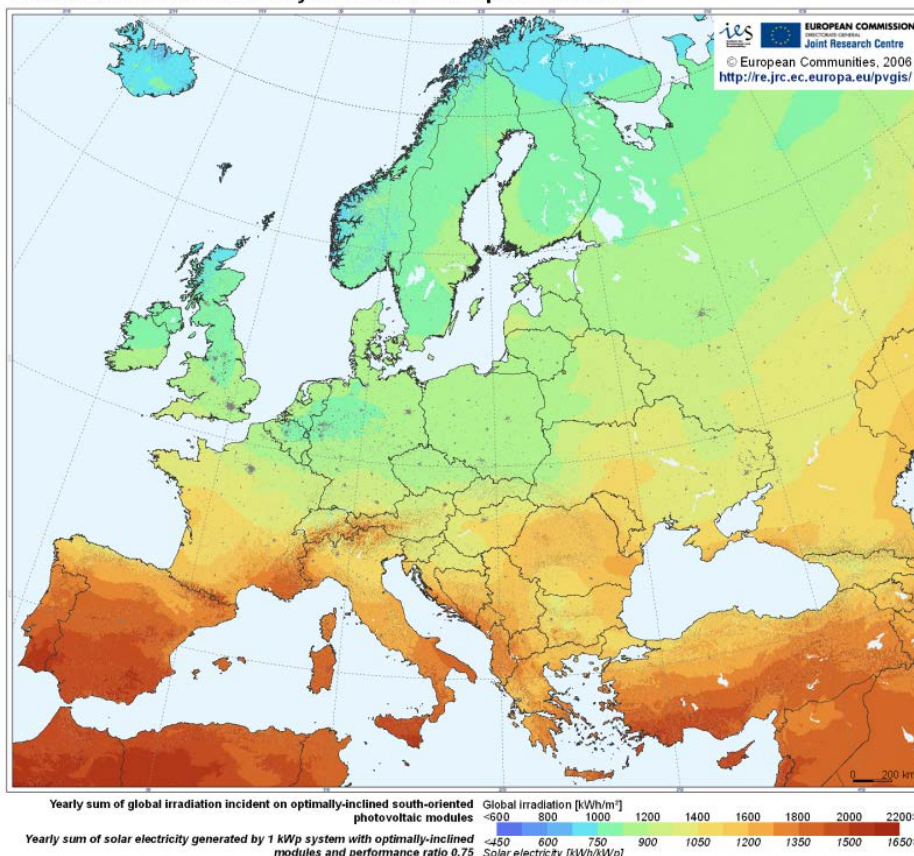


Energia słoneczna

Wykorzystanie energii pochodzącej bezpośrednio ze słońca bazuje przede wszystkim na technologii fotowoltaicznej. Bazuje ona na strukturach półprzewodnikowych (krystaliczny krzem) domieszkowanych metalami ziem rzadkich. Oznacza to wysokie koszty wytworzenia fotoogniw oraz konieczność pozyskania drogich i trudnodostępnych materiałów. Dodatkowym czynnikiem ryzyka jest efektywny monopol Chińskiej Republiki Ludowej na produkcję metali ziem rzadkich, która odpowiada za blisko 95% światowej produkcji.

Obsługa i utrzymanie elektrowni słonecznej polega przede wszystkim na oczyszczaniu ogniw z kurzu, pyłu oraz śniegu w zimniejszych klimatach. Koszty są tu silnie zależne od lokalizacji. Częste opady deszczu zmniejszają koszty ale jednocześnie wpływają negatywnie na wydajność elektrowni. W klimatach suchych o dużej liczbie dni słonecznych w roku spotyka się często tereny pustynne lub półpustynne. Farmy fotowoltaiczne zlokalizowane na takich obszarach mają wysoką sprawność roczną ale jednocześnie koszty oczyszczania ogniw z piasku i pyłu mogą bardzo negatywnie wpłynąć na opłacalność całej instalacji.

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Rys 3: Potencjał elektrowni fotowoltaicznych w Europie

Elektrownie słoneczne wymagają dość dużo przestrzeni lecz znacznie mniej niż instalacje wiatrowe (w przeliczeniu na megawat). Powierzchnia zajmowana przez elektrownię jest jednak wystarczająca aby wyraźnie wpływać na lokalny współczynnik albedo (stosunek mocy promieniowania odbitego do docierającego do powierzchni).

Recycling fotoogniw jest procesem trudnym i kosztownym ale umożliwia odzyskanie, a następnie ponowne użycie cennych metali ziem rzadkich (krzem jest jednym z głównych składników skorupy ziemskiej, a co za tym idzie jego odzyskiwanie nie ma uzasadnienia ekonomicznego).

Alternatywą dla ogniw fotowoltaicznych są kolektory słoneczne bazujące na systemie luster kierujących promieniowanie słoneczne do centralnego zbiornika wypełnionego cieczą (zazwyczaj lejem) magazynującą energię. Konwersja energii cieplnej na prąd elektryczny odbywa się tu przy pomocy turbin parowych, podobnie jak w elektrowniach konwencjonalnych.



Rys 4: Elektrownia słoneczna - kolektory, Kalifornia

Elektrownie takie wymagają do działania nierozproszonego światła słonecznego, a ich sprawność drastycznie spada nawet przy bardzo cienkiej pokrywie chmurowej. Z tego powodu nie stosuje się tego rozwiązania w klimatach umiarkowanych, w których liczba całkowicie bezchmurnych dni w roku jest niewielka.

Energia wodna

Elektrownie wodne wytwarzają prąd elektryczny zamieniając energię potencjalną wody na energię kinetyczną (napędzającą turbiny) poprzez przemieszczenie wody w pionie. Ilość dostępnej energii jest proporcjonalna do ilości przepływającej wody oraz zmiany wysokości. Różnicę wysokości lustra wody uzyskuje się budując zapory, które umożliwiają spiętrzenie wody płynącej. Elektrownie wodne są najintensywniej wykorzystywanym źródłem odnawialnej energii i odpowiadają za około 16% całkowitej produkcji energii elektrycznej na świecie. Największe elektrownie wodne generują moc przekraczającą 20 GW.



Rys 5: Tama Trzech Przełomów, Chiny - moc: 22.5 GW

Budowa elektrowni wodnej wymaga użycia dużych ilości materiałów, w szczególności betonu oraz żelaza. Technologia wylewania betonu przy budowie tamy znacznie różni się od tej używanej w konstrukcjach nośnych budynków. Reakcja wiązania betonu jest silnie egzotermiczna (wydziela ciepło) i w przypadku dużych objętości wymaga użycia dodatkowej instalacji chłodzącej. Oznacza to, że pomimo użycia tanich i łatwo dostępnych materiałów proces budowy tamy jest powolny i kosztowny.

Uzyskanie znacznego spiętrzenia wody oznacza często konieczność zalania rozległych terenów powyżej zapory. Wiąże się to z wysokimi kosztami: finansowymi, społecznymi oraz środowiskowymi. Z drugiej strony gotowa instalacja jest bardzo trwała i wymaga stosunkowo małych nakładów na jej utrzymanie w stosunku do ilości generowanej energii elektrycznej. Ponadto zaporą pełni równocześnie funkcję regulacyjną na swojej macierzystej rzece i może, m.in. zostać użyta do zatrzymania lub zmniejszenia wysokości fali powodziowej.

Jednym z argumentów przemawiających przeciwko budowie elektrowni wodnych jest niebezpieczeństwo przerwania tamy lub przelania się wody przez jej koronę, np. w następstwie osunięcia zbocza lub silnych wstrząsów sejsmicznych.

ZAPORA NA RZECIE VAJONT

Największa w historii katastrofa zapory wodnej wydarzyła się 9 października 1963 roku we Włoszech. W następstwie osunięcia się zbocza góry do zbiornika powyżej zapory powstała fala przekraczająca 70 m wysokości, która przelała się przez koronę zapory, a następnie zalała miasteczko Longarone znajdujące się poniżej zabijając 1917 osób. Co ciekawe sama zaporą nie uległa większemu zniszczeniu.





ENERGIA WIATROWA – ZA I PRZECIW

Największym wyzwaniem stojącym przed energetyką wiatrową jest rozwiązanie problemu magazynowania energii. Prędkość wiatru jest parametrem szybkozmiennym, a co za tym idzie moc generowana przez elektrownię wiatrową również może szybko i znacznie zmieniać się w czasie. Prowadzi to do problemów z włączeniem instalacji wiatrowych do krajowych sieci energetycznych.

ENERGIA KINETYCZNA, A PRĘDKOŚĆ WIATRU

Ilość energii kinetycznej niesionej przez wiatr, którą możemy odebrać w jednostce czasu (czyli dostępna moc) silnie zależy od prędkości wiatru.

Dostępna moc P , to ilość energii kinetycznej niesionej przez powietrze opływające łopaty turbiny:

$$P = \frac{E_k}{t} = \frac{m(v) v^2}{2t}.$$

Zauważmy, że przepływająca masa m zależy również od prędkości:

$$m(v) = \rho V = \rho S v t,$$

gdzie S to efektywne pole przekroju turbiny, a ρ to gęstość powietrza.

Po podstawieniu otrzymujemy:

$$P = \frac{\rho S v^3}{2},$$

A więc dostępna moc wiatru zależy aż od trzeciej potęgi prędkości, czyli np. 3-krotny spadek prędkości wiatru oznacza 27-krotny spadek mocy!

Co zrobić, gdy w godzinach dużego zapotrzebowania na energię elektryczną, wiatr nagle osłabnie?

Jednym z rozwiązań, szczególnie popularnym w Niemczech, jest parowanie elektrowni wiatrowych z turbinami gazowymi. Cechą elektrowni napędzanych gazem ziemnym jest możliwość ich bardzo szybkiego włączania i wyłączania. Pozwala to na szybkie uzupełnienie niedoborów energii ze źródeł konwencjonalnych. Trzeba jednak pamiętać, że spalanie gazu ziemnego emituje do atmosfery znaczne ilości dwutlenku węgla, co stoi w sprzeczności z ideą odnawialnych źródeł energii.

Możliwe jest również użycie akumulatorów chemicznych lub kondensatorów. Niestety dostępne obecnie technologie cechują się bardzo niekorzystnym stosunkiem ceny, do ilości zmagazynowanej energii.

Najlepszym rozwiązaniem problemu magazynowania energii z wiatru wydają się budowa instalacji szczytowo-pompowych. Są to instalacje przypominające klasyczne elektrownie wodne lecz pozwalające na zamianę energii elektrycznej na energię potencjalną wody poprzez wpompowanie wody ze zbiornika dolnego do górnego w okresie nadwyżki produkcji nad zapotrzebowaniem na energię elektryczną. Połączenie takiej instalacji z elektrownią wiatrową (a w optymalnym wypadku również z elektrownią słoneczną) pozwala na zmagazynowanie chwilowych nadwyżek energii jednocześnie zapewniając ciągłość dostaw energii elektrycznej do sieci krajowej. Pomimo wysokich kosztów wytworzenia takich hybrydowych instalacji wydają się one obecnie być przyszłością energetyki odnawialnej, a kolejne kraje Europy zachodniej ogłaszają podobne projekty.



Rys 6: Elektrownia szczytowo-pompowa w Żarnowcu

Czy w skali kraju średnia ilość wiatru znacznie się zmienia?

Prędkość wiatru zależy nie tylko od siły gradientu ciśnienia wymuszającej ruch powietrza ale również od tarcia o powierzchnię ziemi. Przeszkody terenowe, takie jak góry, doliny, drzewa, budynki stanowią przeszkody, które spowalniają wiatr. Cząsteczki powietrza zderzając się z przeszkodami (a nawet, w mniejszym stopniu, oddziałując z płaską powierzchnią gruntu) tracą część swojej energii. Z tego powodu obserwuje się spadek prędkości wiatru tuż przy powierzchni ziemi. Często już na 100 m nad poziomem gruntu wiatr wieje dwa razy szybciej niż przy powierzchni. To dlatego opłaca się budować wysokie turbiny wiatrowe, mogące odbierać energię od szybciej poruszających się cząsteczek na większej wysokości. Ponadto

brak przeszkód terenowych nad morzami i oceanami oznacza, że obserwowane prędkości wiatru w ich rejonach są znacznie większe niż nad lądami. W przypadku Polski najbardziej korzystne warunki wiatrowe występują na wybrzeżu oraz na płaskich i słabo zalesionych obszarach w centrum kraju.



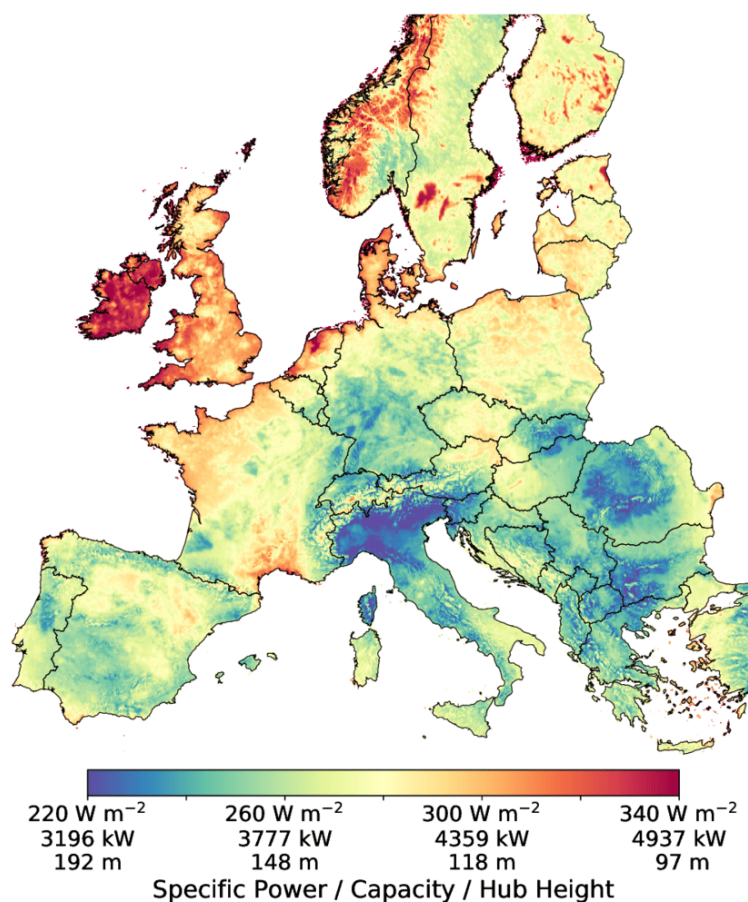
Rys 7: Warunki wiatrowe dla energetyki wiatrowej w Polsce

Jak pracująca turbina wiatrowa wpływa na swoje bezpośrednie otoczenie?

W optymalnych warunkach turbina wiatrowa może odebrać połowę energii kinetycznej od przepływającego przez nią powietrza. Oznacza to znaczny spadek prędkości wiatru za turbiną nazywany efektem cienia wiatrowego. Przy projektowaniu elektrowni wiatrowej efekt ten jest brany pod uwagę, a poszczególne turbiny są ustawiane na tyle daleko od siebie aby zminimalizować negatywne efekty ich wzajemnego oddziaływania. Niestety w przypadku największych farm wiatrowych problem jest trudny do rozwiązania, a cień wiatrowy może rozciągać się na wiele kilometrów po zawiętrznej stronie elektrowni.

Drugim bezpośrednim efektem pracy elektrowni jest wprowadzanie drgań (turbulencji) do atmosfery. Nagły wzrost ilości turbulencji może, w sprzyjających okolicznościach, doprowadzić do powstania chmur, a nawet do wywołania opadów atmosferycznych.

Obserwuje się zjawisko wzmożonej ilości opadów w bezpośrednim otoczeniu elektrowni wiatrowej oraz powstawania cieni opadowych na jej zawietrznej.



Rys 8: Warunki wiatrowe dla energetyki wiatrowej w Europie



Rys 8: Turbulencyjna generacja chmur

Bezpośrednie przygotowanie do debaty

Po zapoznaniu się z przedstawionymi materiałami możesz przystąpić do bezpośredniego przygotowania argumentów do debaty. Poniżej zamieszczono szereg pytań. Odpowiedzi na nie mogą być dobrymi argumentami do dyskusji. Jedne z nich zdecydowanie popierają postawioną tezę, inne pomogą w jej obaleniu. Część argumentów jest dyskusyjna i może być użyta zarówno przez jedną, jak i drugą stronę.

Zadanie.

Odpowiedz na poniższe pytania. Odpowiedzi, które będą jednocześnie argumentami do dyskusji zapisz w odpowiednim miejscu w tabeli (Karta pracy nr 1).

Karta pytań 1	Karta pytań 2
<i>Jakie są realne koszty klimatyczne wytworzenia elektrowni wiatrowej?</i>	<i>Czy w atmosferze Ziemi znajduje się dość energii kinetycznej by sprostać potrzebom ludzkości?</i>
Karta pytań 3	Karta pytań 4
<i>Czy względy estetyczne, związane ze znaczną zmianą krajobrazu, powinny być brane pod uwagę przy projektowaniu elektrowni wiatrowych?</i>	<i>Czy umieszczenie wiatraków na morzach jest lepszym rozwiązaniem niż lokalizowanie ich na lądzie?</i>
Karta pytań 5	Karta pytań 6
<i>Czy jest zasadne wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych w zastępstwie łatwo dostępnych paliw kopalnych?</i>	<i>Jakie są możliwości magazynowania energii z elektrowni wiatrowych? Czy mają one sens ekonomiczny?</i>





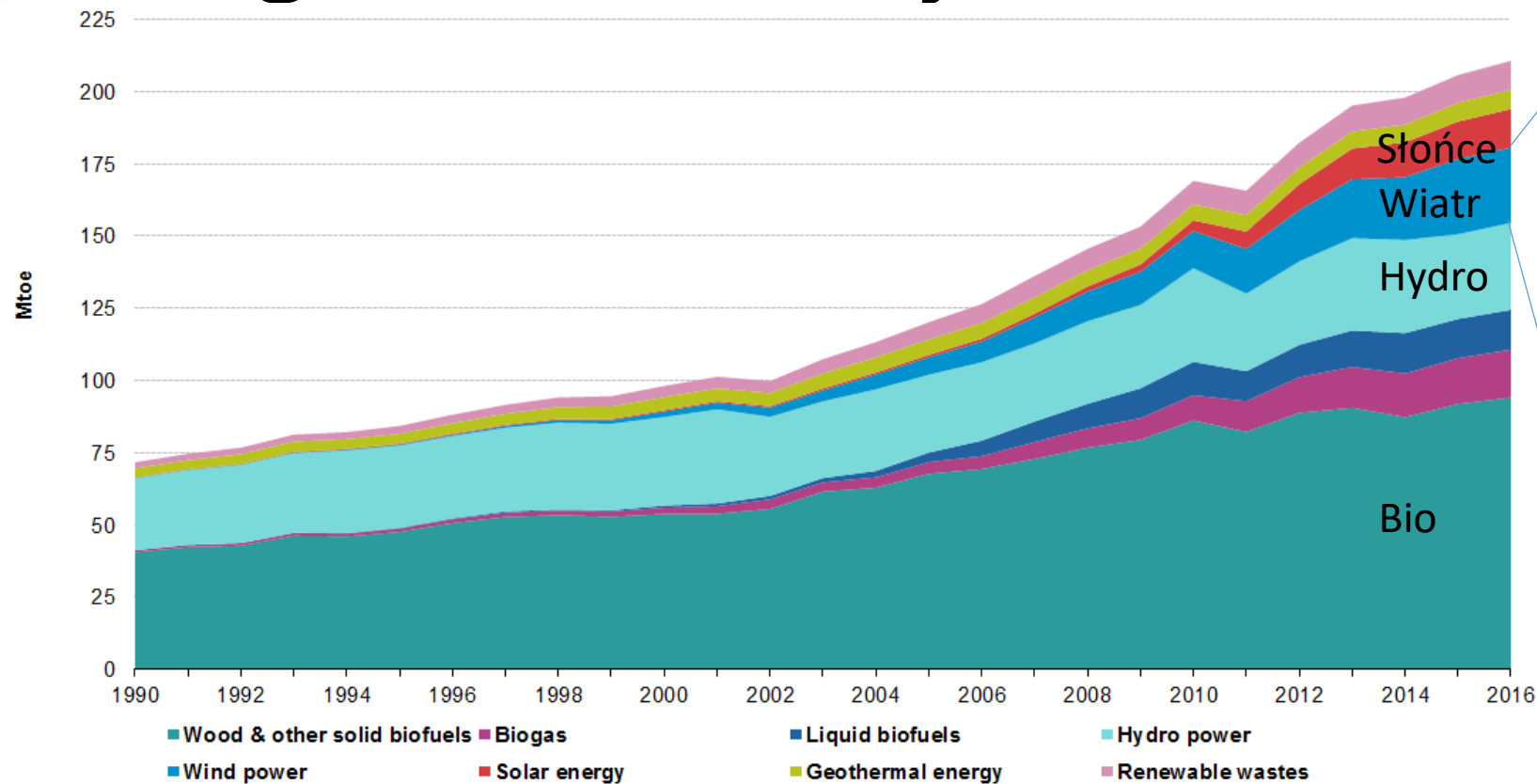
Karta pytań 7	Karta pytań 8
<i>Czy w ramach odnawialnych źródeł energii wykorzystanie energii wiatrowej jest konkurencyjne pod względem kosztów? Jakie mogą być lepsze alternatywy?</i>	<i>Czy wprowadzona turbulencja może wpłynąć na lokalne zachmurzenie, a co za tym idzie na lokalny współczynnik albedo?</i>
Karta pytań 9	Karta pytań 10
<i>Czy energia z wiatru może stanowić podstawowe źródło energii w sieci energetycznej w skali kraju?</i>	<i>Czy dźwięk produkowany przez elektrownie wiatrowe ma istotny wpływ na środowisko oraz jakość życia okolicznej ludności?</i>
Karta pytań 11	Karta pytań 12
<i>Czy energia wiatrowa jest efektywna pod kątem wykorzystania przestrzeni?</i>	<i>Jaki jest możliwy wpływ wiatraków na lokalne wzorce opadów?</i>

Podział na drużyny „za” oraz „przeciw”

Zadanie.

Masz już przygotowane argumenty, które wykorzystasz podczas dyskusji. Na tym etapie przygotujesz się bezpośrednio do sformułowania argumentu zgodnie z przydzieloną rolą oraz do ich uzasadnienia i obrony. Spróbuj przewidzieć, jakich kontrargumentów użyją przeciwnicy i przygotuj swoją odpowiedź. W tym celu wykorzystaj kartę pracy nr 2.

Energia wiatrowa – czy inwestować więcej?



Rys 1: konsumpcja energii ze źródeł odnawialnych, EU-28, 1990-2016. Źródło: Eurostat

Źródła odnawialne - realne koszty

- **Wytworzenie instalacji**
- **Obsługa i utrzymanie**
- **Wpływ na środowisko**
- **Koszty społeczne**
- **Trwałość**
- **Recycling**

Źródła odnawialne - realne koszty

- **Energia wiatrowa**

- **tanie i dostępne materiały – stal, aluminium, włókno szklane, miedź**
- **droga, czasochłonna i niebezpieczna obsługa**
- **niska trwałość**
- **duże zapotrzebowanie na przestrzeń w przeliczeniu na 1MW**
- **stosunkowo łatwy recycling**



Rys 2: Elektrownia wiatrowa, Kopenhaga

Źródła odnawialne - realne koszty

- **Energia słoneczna**
 - **Fotowoltaika**
 - drogie i trudnodostępne materiały – metale ziem rzadkich
 - stosunkowo droga obsługa
 - umiarkowane zapotrzebowanie na przestrzeń
 - wpływ na lokalne albedo
 - drogi recycling
 - **A może kolektory słoneczne?**
 - bardzo niska sprawność w obecności rozproszonego promieniowania



Rys 3: Elektrownia słoneczna - kolektory, Kalifornia

Źródła odnawialne - realne koszty

- **Energia wodna**
 - duże instalacje – tanie materiały
 - znaczny wpływ na środowisko i społeczeństwo
 - stosunkowo tania obsługa i utrzymanie
 - bardzo wysoka trwałość
 - wysokie i trudne do oszacowania koszty recyklingu/rozbiórki



Rys 4: Tama Trzech Przełomów, Chiny

Energia wiatrowa – za i przeciw

- **Ile energii kinetycznej znajduje się w atmosferze?**

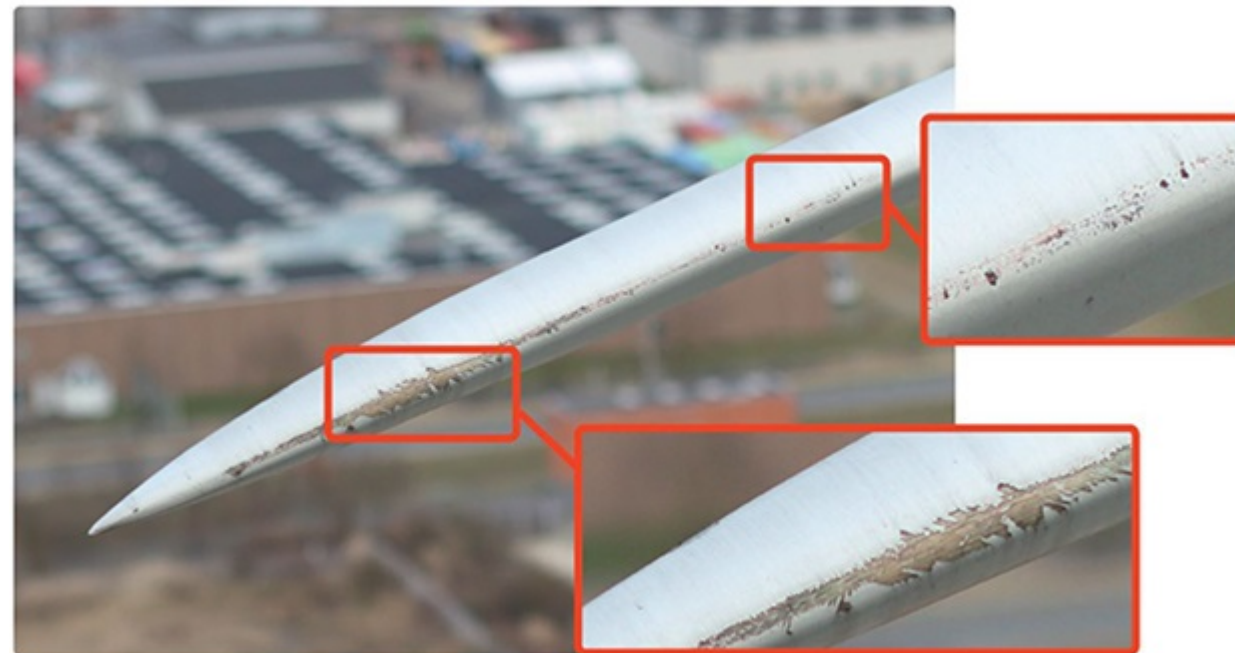
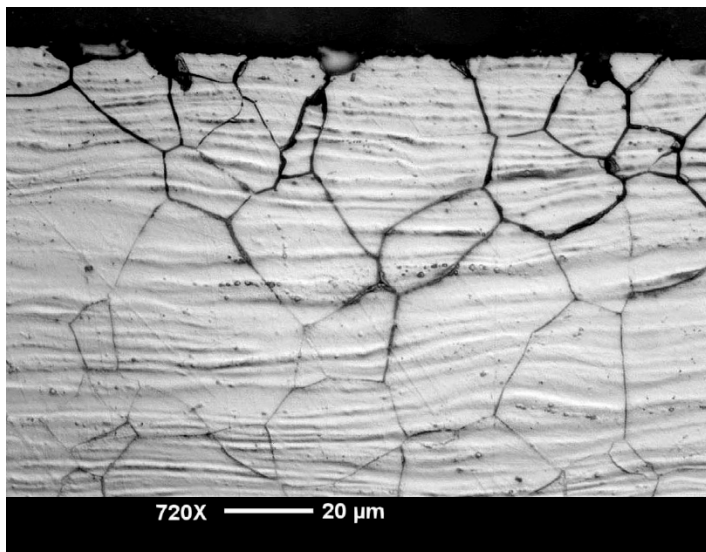
$$\bullet \quad P = \frac{E_k}{t} = \frac{m(t) v^2}{2t} \quad m(t) = \rho V = \rho S v t \quad P = \frac{\rho S v^3}{2}$$

- **Ilość dostępnej i komercyjnie opłacalnej energii wiatrowej przekracza zapotrzebowanie ludzkości nawet dwudziestokrotnie**

Energia wiatrowa – za i przeciw

- **Trwałość**

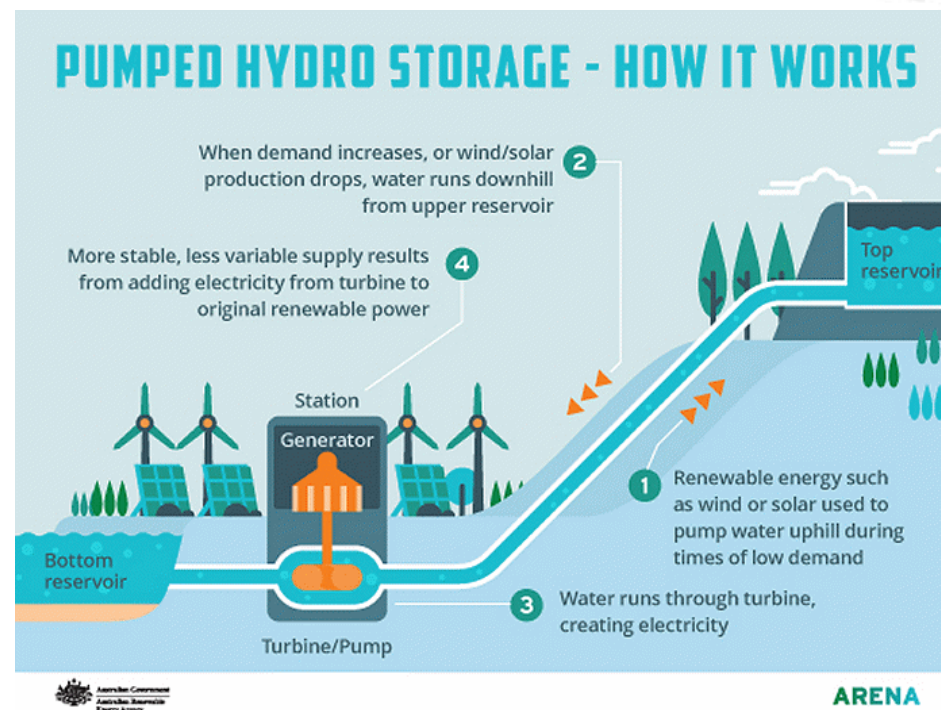
- erozja łopat
- zasolone środowisko pracy - korozja międzykrystaliczna aluminium



Rys 5: Erozja łopat w elektrowni wiatrowej – na górze korozja międzykrystaliczna aluminium – po lewej

Energia wiatrowa – za i przeciw

- **Magazynowanie energii**
 - trudności w krótkoterminowym prognozowaniu siły wiatru
 - akumulatory chemiczne
 - superkondensatory
 - instalacje szczytowo-pompowe



Rys 6: Instalacja szczytowo-pompowa

Energia wiatrowa – za i przeciw

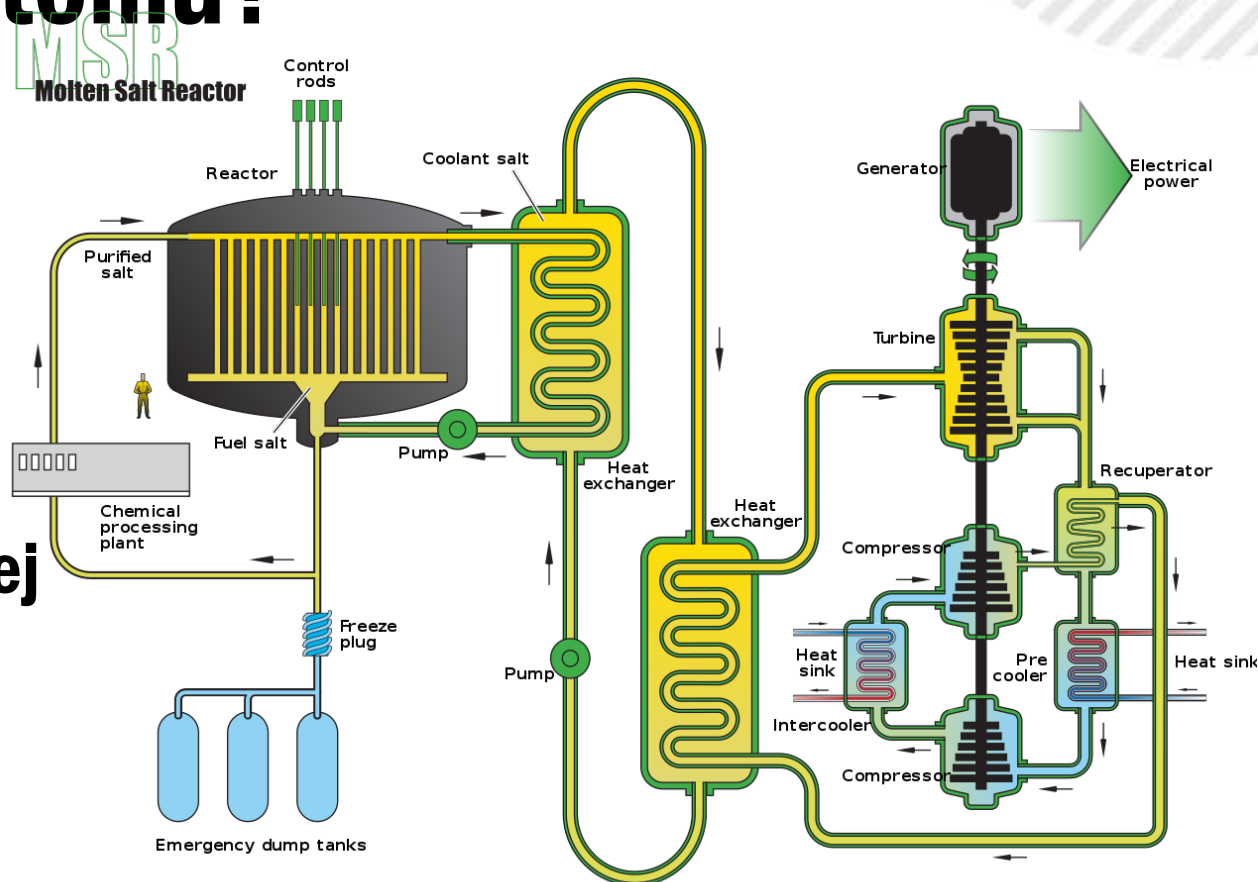
- **Wpływ na lokalne wzorce opadów**
 - **pracujący wiatrak – turbulencja**
 - **powstawanie chmur – 100% wilgotności względnej to za mało**
 - **cień opadowy**
 - **planetarny współczynnik albedo**



Rys 7: Turbulencyjna generacja chmur

A może energia z atomu?

- Bezpieczeństwo
- Realne koszty
- Odpady
- Proliferacja broni nuklearnej
- Nowe technologie



Rys 7: Schemat instalacji nuklearnej typu MSR napędzanej paliwem radioizotopowym w stanie ciekłym

„Energetyka wiatrowa”

Materiały dla nauczyciela
zawierające wskazówki metodyczne, scenariusz lekcji
oraz klucz odpowiedzi do kart pracy



This work is licensed under a
[Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Pakiet „Energetyka wiatrowa”

Pakiet „Energetyka wiatrowa” powstał w ramach projektu „Debaty oxfordzkie dla edukacji młodzieży w zakresie przedmiotów matematyczno-przyrodniczych”. Umożliwia on realizację podstawowych celów projektu, jakimi są m.in. zwiększenie umiejętności w zakresie rozumowania w naukach przyrodniczych, zwiększenie zainteresowania uczniów tymi naukami, co w przyszłości może zaowocować podjęciem przez nich kariery naukowej.

Przygotowując uczniów do debaty należy także pamiętać o rozwoju takich umiejętności jak: umiejętność komunikowania się w języku ojczystym, argumentacji i wystąpień publicznych. Uczniowie powinni doskonalić umiejętności skutecznego przekonywania, poprawnej argumentacji, poprawnego rozumowania i mówienia, kompozycji tekstów, używania środków retorycznych w wypowiedziach ustnych, mówienia zgodnego z regułami kultury języka, interpretacji tekstów, publicznego wygłaszania i prezentacji tekstów, dyskusji i negocjacji.

Aby osiągnąć powyższe cele, realizację pakietów tematycznych powinny poprzedzić zajęcia przygotowujące uczniów do debat. Można je zrealizować w porozumieniu z nauczycielami innych przedmiotów oraz z wychowawcą klasy. Kształcenie podstawowych umiejętności komunikacyjnych można wpisać do planu pracy wychowawcy klasy, a przygotowane scenariusze lekcji wykorzystać na godzinach wychowawczych. Materiały do pracy z uczniami znajdują się w następujących dokumentach:

1. **Praktyczne ćwiczenia „na rozgrzewkę”** – Załącznik nr 2 do [Krajowych ram metodycznych wdrażania projektu ODYSSEY w praktyce szkolnej – poradnik dla nauczyciela](#), str. 36-37;

W dokumencie tym znajdują się ćwiczenia: aktywnego słuchania, wystąpień publicznych oraz umiejętności debatowania.

2. **Plany lekcji poświęcone ogólnemu rozwijaniu umiejętności debatowania** – Załącznik nr 2 do [Krajowych ram metodycznych wdrażania projektu ODYSSEY w praktyce szkolnej – poradnik dla nauczyciela](#), str. 37-53.

Materiał ten składa się z 7 scenariuszy lekcji przygotowanych przez dr Foteini Englezou, prezes Greckiego Instytutu Badań Retorycznych i Komunikacyjnych. Scenariusze są wskazówką do pracy. Nie ma konieczności realizowania wszystkich lekcji. Nauczyciel może sam zdecydować które scenariusze (lub ich wybrane fragmenty) są najbardziej przydatne do pracy z konkretną grupą uczniów. W dokumencie zaprezentowano następujące scenariusze:

1. Umiejętności komunikacyjne
 2. Mów o faktach naukowych, nie o własnych opiniach
 3. Stwórz przekonujący i merytoryczny argument
 4. Poszukiwanie dowodów
 5. Rozwijanie umiejętności językowych uczniów
 6. Kontrargumentacja i zbijanie
 7. Błędy logiczne
3. [Poradnik metodyczny dla nauczycieli: „Debaty ODYSSEY w nauczaniu przedmiotów ścisłych”](#).
Ostatnim etapem przygotowania do prowadzenia debat w oparciu o konkretne pakiety jest zapoznanie uczniów z zasadami debatowania, szczegółowo opisanymi w powyższym dokumencie.

Energetyka wiatrowa

Pakiet „Energetyka wiatrowa” składa się z następujących elementów:

- Prezentacja multimedialna;
- Film – nagranie na podstawie prezentacji;
- Pakiet edukacyjny „Energetyka wiatrowa” – materiały dla ucznia;
- Karty pracy (jednakowe dla wszystkich pakietów);
- „Energetyka wiatrowa” – materiały dla nauczyciela (zawierające klucz odpowiedzi).

Zaleca się realizację pakietu na minimum trzech jednostkach lekcyjnych.

Pakiet „Energetyka wiatrowa” przeznaczony jest do realizacji na zajęciach dodatkowych z zakresu przedmiotów przyrodniczych oraz na lekcjach geografii zarówno w szkole podstawowej, jak i w liceum ogólnokształcącym i technikum. Przygotowanie i przeprowadzenie debaty umożliwi realizację poniższych punktów podstawy programowej nauczania geografii¹:

Szkoły ponadpodstawowe – zakres podstawowy

III.7. przedstawia piękno, potęgę oraz dynamikę zmian zachodzących w atmosferze, wyjaśnia przyczyny tych zmian, ukazuje ich zagrożenia i skutki w formie prezentacji fotograficzno-opisowej.

XI.4. charakteryzuje zmiany w strukturze zużycia energii, z uwzględnieniem podziału na źródła odnawialne i nieodnawialne oraz porównuje strukturę produkcji energii w Polsce ze strukturą w innych krajach w kontekście bezpieczeństwa energetycznego;

XI.5. ocenia stan i zmiany bilansu energetycznego świata i Polski, przedstawia skutki rosnącego zapotrzebowania na energię, jego wpływ na środowisko geograficzne oraz uzasadnia konieczność podejmowania działań na rzecz ograniczania tempa wzrostu zużycia energii;

XI.6. dyskutuje na temat pozytywnych i negatywnych skutków stosowania odnawialnych i nieodnawialnych źródeł energii;

XIII.8. identyfikuje konflikty interesów w relacjach człowiek – środowisko i rozumie potrzebę ich rozwiązywania zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju oraz podaje własne propozycje sposobów rozwiązywania takich konfliktów;

XIII.10. przyjmuje postawę współodpowiedzialności za stan środowiska przyrodniczego Ziemi.

Szkoły ponadpodstawowe – zakres rozszerzony

I.7. rozumie istotę identyfikowania zależności przyczynowo-skutkowych, funkcjonalnych i czasowych między elementami przestrzeni geograficznej, argumentowania, wnioskowania i formułowania twierdzeń o prawdziwościach.

Lekcja 1. Poznajemy miejsce energetyki wiatrowej wśród innych źródeł energii.

Pierwsza lekcja ma na celu wprowadzenie uczniów w tematykę odnawialnych i nieodnawialnych źródeł energii. Najlepiej, gdyby uczniowie znali już podstawowe informacje dotyczące pozyskiwania energii oraz produkcji energii elektrycznej, a także potrafili wymienić wady i zalety wykorzystania różnych źródeł energii. Jeśli nie można bazować na wiedzy z poprzednich lekcji, warto wcześniej polecić uczniom zapoznanie się z tą tematyką.

Podczas lekcji nauczyciel może skorzystać z prezentacji multimedialnej lub filmu (prezentacja multimedialna omówiona przez jej autora) oraz z pakietu edukacyjnego, w którym uczniowie znajdą informacje oraz inspiracje, które pozwolą w przyszłości sformułować argumenty do debaty. Pakiet jest przygotowany w taki sposób, aby można było w prosty sposób przygotować zarówno argumenty za, jak i przeciw postawionej tezie.

¹ obowiązuje w 2020 r.

Lekcja 2. „W umiarkowanych szerokościach geograficznych należy rozwijać energetykę wiatrową” – formułujemy argumenty za i przeciw postawionej tezie.

Celem drugiej lekcji jest sformułowanie jak największej liczby argumentów (zarówno za, jak i przeciw tezie), które zostaną wykorzystane przez uczniów podczas debaty, która będzie zwieńczeniem pracy z pakietem.

Scenariusz lekcji

1. Czynności organizacyjne, sprawdzenie listy obecności, zapoznanie z tematem i celami lekcji [5 minut].
2. Przygotowanie argumentów [25 minut]

Nauczyciel dzieli klasę na zespoły dwuosobowe. Każdy zespół otrzymuje 12 kart pytań dostępnych w pakiecie edukacyjnym (materiały dla ucznia, str. 16-17) oraz 2 egzemplarze karty pracy nr 1 (po jednym dla każdego ucznia). Uczniowie na podstawie pytań formułują argumenty za przedstawioną tezą, przeciw tezie oraz takie, które są dyskusyjne i mogą być użyte w dyskusji przez obie strony. Uczniowie pracują wspólnie, ale każdy uczeń indywidualnie wypełnia swoją kartę pracy. Przykładowe argumenty do karty pracy nr 1 znajdują się w kluczu odpowiedzi.

3. Podział uczniów na drużyny „za” i „przeciw” [10 minut].

Podział na drużyny może się odbywać na kilka sposobów. Każdy z nich ma swoje zalety i wady.

- Uczniowie deklarują się, które argumenty są bliższe ich przekonaniom. Nauczyciel dzieli klasę na zespoły (o zbliżonej liczbie uczniów każdy) w sposób najbardziej zgodny z przekonaniem uczniów.
- Drugi sposób zakłada podział podobny jak wyżej, z tą różnicą, że ostatecznie drużyna składająca się ze zwolenników danej tezy staje się drużyną „przeciw”, zaś przeciwnicy tezy stają się grupą, która będzie przygotowywała argumenty „za”. Zwolennicy takiego podziału zakładają, że w większym stopniu uczy on uczestników debaty posługiwania się argumentami popartymi faktami, a w mniejszym stopniu bazuje na emocjach.
- Podział na drużyny można również zrobić w sposób losowy.
- Podziału może również dokonać nauczyciel w sposób subiektywny, dbając o to, aby w każdej drużynie znaleźli się zarówno liderzy, jak i uczniowie wymagający większej pomocy, tak aby obie drużyny miały zbliżony potencjał. W celu zaoszczędzenia czasu na podział, nauczyciel może go dokonać już na początku lekcji, np. rozdając uczniom karty pracy nr 1 wydrukowane na kartkach różnego koloru, lub oznaczonych w jakiś inny sposób.

Nauczyciel rozdaje uczniom karty pracy nr 2 (po jednej karcie dla każdego ucznia) i wyjaśnia, na czym polega zadanie, które uczniowie wykonają w domu. Przykładowe rozwiązanie karty dla jednego argumentu znajduje się w kluczu odpowiedzi.

Uczniowie w każdej drużynie czytają przygotowane argumenty zgodne z przydziałem do danej grupy. Następnie dzielą się między sobą, w taki sposób, aby każdy uczeń otrzymał 1 argument, który opracuje (jako pracę domową) zgodnie z wytycznymi w karcie pracy nr 2.

Każda drużyna wyznacza też spośród siebie 3 osoby, które będą prezentowały argumenty przygotowane przez całą grupę. Uczniowie ustalają kolejność wystąpień. Podczas debaty pozostali członkowie drużyn, którzy nie są zaangażowani w bezpośrednie prowadzenie debaty, wypełniają kartę pracy nr 3.

4. Podsumowanie lekcji, ocena pracy uczniów [5 minut].

Lekcja 3. Debata

Podczas ostatniej lekcji drużyny prowadzą debatę według wytycznych zawartych w „Poradniku metodycznym...” Długość trwania debaty to 45 minut. W trakcie trwania debaty nauczyciel nie komentuje argumentów ani nie wskazuje na bieżąco błędów popełnianych przez uczniów.

Debata w formie ćwiczeniowej powinna mieć następującą strukturę:

1. Rozpoczęcie debaty przez moderatora albo przewodniczącego debaty [3 minuty].
2. Wstępne głosowanie przez publiczność [2 minuty].
3. Pierwszy/a debatan(t)ka drużyny badawczej A: mowa argumentacyjna [4 minuty].
4. Pierwszy/a debatan(t)ka drużyny badawczej B: mowa argumentacyjna [4 minuty].
5. Otwarta runda pytań pomiędzy pierwszymi debatantami obu drużyn [3 minuty].
6. Drugi/a debatan(t)ka drużyny A: mowa kontrargumentacyjna [4 minuty].
7. Drugi/a debatan(t)ka drużyny B: mowa kontrargumentacyjna [4 minuty].
8. Otwarta runda pytań pomiędzy drugimi debatantami obu drużyn [3 minuty].
9. Czas przygotowawczy do Podsumowania Kontrargumentacji (P.K.) oraz Końcowa Otwarta Runda Pytań (K.O.R.P.) [2 minuty].
10. Trzeci/a debatan(t)ka drużyny A: Podsumowanie Kontrargumentacji [2 minuty].
11. Trzeci/a debatan(t)ka drużyny B: Podsumowanie Kontrargumentacji [2 minuty].
12. Końcowa Otwarta Runda Pytań (K.O.R.P.) [3 minuty].
13. Trzeci/a debatan(t)ka drużyny A: Kontrargumentacyjny wniosek końcowy [2 minuty].
14. Trzeci/a debatan(t)ka drużyny B: Kontrargumentacyjny wniosek końcowy [2 minuty].
15. Ostateczne głosowanie przez publiczność/ zwięzła ocena pisemna [3 minuty].
16. Ogłoszenie wyników przez moderatora/ moderatorkę [2 minuty].

Jeżeli debata będzie prowadzona podczas zajęć pozalekcyjnych, wówczas zaleca się przeznaczenie na tę część np. 90 minut. Pozwoli to na przygotowanie sali do debaty, przypomnienie zasad, przeprowadzenie debaty oraz omówienie jej przebiegu i ocenę pracy uczniów.

W warunkach zajęć lekcyjnych idealnie byłoby przeznaczyć na debatę dwie połączone jednostki lekcyjne. Biorąc pod uwagę warunki szkolne, trudności organizacyjne i brak możliwości przeznaczenia zbyt wielu lekcji na treści rozszerzające podstawę programową, debatę można przeprowadzić na jednej lekcji, przy zachowaniu dużej dyscypliny czasowej. W tym wypadku zaleca się, aby podczas kolejnej lekcji z klasą poświęcić jeszcze dodatkowe 10 minut na omówienie debaty, wskazanie mocnych stron oraz błędów popełnianych przez uczestników debaty.

Zgodnie z założeniami w debacie uczestniczy w sposób aktywny 6 uczniów (po 3 z każdej drużyny). Nauczyciel może także wyznaczyć spośród uczniów moderatora oraz osobę, która będzie przestrzegała dyscypliny czasu. Pozostali uczniowie otrzymają kartę pracy nr 3. Ich zadaniem będzie uważne słuchanie debaty oraz odnotowanie, mocnych stron drużyny przeciwnej oraz obszarów wymagających poprawy, a także uzasadnienie wyboru. Wypełniona karta pracy nr 3 może być podstawą wystawienia oceny za aktywność na lekcji uczniów, którzy nie brali bezpośredniego udziału w debacie, ale uczestniczyli w jej przygotowaniu i byli aktywnymi obserwatorami jej przebiegu.

Karta pracy nr 1 – klucz odpowiedzi

Poniższa tabela zawiera przykładowe odpowiedzi do pytań z karty pracy nr 1. Odpowiedzi są jednocześnie argumentami w dyskusji nad przedstawioną tezą. Poniżej zamieszczono też zestaw kart pytań, które można wyciąć, porozcinać i rozdać uczniom.

ZA	DYSKUSYJNE	PRZECIW
KARTA PYTAŃ 1. <i>Jakie są realne koszty klimatyczne wytworzenia elektrowni wiatrowej?</i> Argumentem, który jest często podnoszony przez ludzi nastawionych sceptycznie do odnawialnych źródeł energii jest możliwy wysoki koszt energetyczny lub klimatyczny (emisja zanieczyszczeń) wytworzenia instalacji do pozyskiwania energii. Energia wiatrowa jest pod tym względem najlepszym ze źródeł odnawialnych. Wiatraki budowane są z ogólnie dostępnych materiałów (przede wszystkim ze stali, aluminium oraz miedzi). Ich wytworzenie nie wiąże się ze znaczną emisją zanieczyszczeń do atmosfery, a sama instalacja może relatywnie łatwo zostać poddana recyklingowi. KARTA PYTAŃ 2. <i>Czy w atmosferze Ziemi znajduje się dość energii kinetycznej by sprostać potrzebom ludzkości?</i> Choć może się wydawać, że wiatr jest zjawiskiem wszechobecnym na naszej planecie, to ilość energii kinetycznej związanej z ruchem powietrza oraz	KARTA PYTAŃ 5. <i>Czy jest zasadne wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych w zastępstwie łatwo dostępnych paliw kopalnych?</i> Paliwa kopalne, takie jak ropa naftowa, gaz ziemny oraz węgiel kopalny stanowią łatwo dostępne i relatywnie tanie źródło energii. Spalanie tych paliw wiąże się jednak z emisją znacznych ilości dwutlenku węgla do atmosfery, który jest jednym z głównych gazów cieplarnianych. Niekontrolowane emisje CO₂ mogą doprowadzić do podniesienia się globalnej temperatury naszej planety, co niesie za sobą trudno przewidywalne i groźne konsekwencje, takie jak podniesienie się poziomu mórz oraz zmiana/przesunięcie stref klimatycznych. Najnowsze badania sugerują, że możliwe jest odzyskanie wodoru z paliw kopalnych, przy jednoczesnym pozostawieniu cząstek zabierających węgiel pod powierzchnią. Produktem spalania wodoru jest czysta para wodna.	KARTA PYTAŃ 9. <i>Czy energia z wiatru może stanowić podstawowe źródło energii w sieci energetycznej w skali kraju?</i> Energia wiatrowa, obok energii słonecznej, jest najłatwiej dostępna spośród źródeł odnawialnych. Niestety wiatr jest jednym z najszybciej zmiennych parametrów atmosfery, a jego prognozowanie w krótkich okresach jest bardzo trudne. Sprawia to, że nawet pokrycie znacznej części kraju wiatrakami nie mogłoby zagwarantować ciągłych dostaw energii dla ludności i przemysłu. Możliwe jest magazynowanie energii pozyskanej z elektrowni wiatrowej ale niesie to za sobą dodatkowe koszty. KARTA PYTAŃ 10. <i>Czy dźwięk wytwarzany przez elektrownie wiatrowe ma istotny wpływ na środowisko oraz jakość życia okolicznej ludności?</i> Praca wiatraków wiąże się z wprowadzaniem znacznych wibracji do bezpośredniego otoczenia. Częstotliwość tych wibracji zależy od wielkości wiatraków oraz od ich prędkości obrotowej. W

tempo jej odnawiania jest ograniczone. Badania wskazują, że aktualnie ilość dostępnej i komercyjnie opłacalnej energii wiatrowej (licząc średnio w skali roku) przekracza zapotrzebowanie ludzkości nawet dwudziestokrotnie. Trzeba jednak pamiętać, że zapotrzebowanie na energię szybko rośnie wraz szybką industrializacją krajów słabiej rozwiniętych oraz automatyzacją w krajach o lepiej rozwiniętych gospodarkach. Co za tym idzie energia wiatrowa jest dobrą propozycją w skali krótko oraz średnioterminowej, a więc w okresie kluczowym dla zapobiegnięcia nieodwracalnym zmianom klimatycznym.

KARTA PYTAŃ 3.

Czy względy estetyczne, związane ze znaczną zmianą krajobrazu, powinny być brane pod uwagę przy projektowaniu elektrowni wiatrowych?

Elektrownie wiatrowe w znacznym stopniu wpływają na otaczający krajobraz. Dzisiejsze konstrukcje często znacznie przekraczają 100m wysokości, a co za tym idzie są widoczne z odległości wielu kilometrów. Często spotyka się opinie, że wiatraki mają negatywny wpływ na obszary o walorach turystycznych, a co za tym idzie negatywnie wpływają na lokalną gospodarkę. Przeprowadzone badania socjologiczne wykazały jednak brak statystycznie znaczącego spadku ilości turystów odwiedzających obszary, na których zlokalizowano elektrownie wiatrowe. Co więcej badacze postulują, że obecność wiatraków w krajobrazie wpływa na wytworzenie

KARTA PYTAŃ 6.

Jakie są możliwości magazynowania energii z elektrowni wiatrowych? Czy mają one sens ekonomiczny?

Jednym z możliwych rozwiązań problemu znacznej zmienności i nieprzewidywalności prędkości wiatru jest magazynowanie energii do późniejszego wykorzystania. Magazynowanie dużych ilości energii jest jednak trudne technicznie i niesie za sobą znaczne koszty. Dwie podstawowe metody, to wykorzystanie ogniw chemicznych (akumulatorów) lub wykorzystanie energii potencjalnej wody w polu grawitacyjnym (elektrownie szczytowo-pompowe). Ogniwa chemiczne są bardzo kosztowne w stosunku do ilości zmagazynowanej energii, jak również wymagają trudno dostępnych jak również często toksycznych substancji do ich wytworzenia. Wiąże się to również ze stosunkowo trudnym recyklingiem zużytych ogniw. Na szczęście postęp technologiczny w dziedzinie akumulatorów chemicznych jest bardzo szybki w ostatnich latach, a co za tym idzie wykorzystanie dużych akumulatorów do magazynowania energii z wiatru może stać się bardziej opłacalne w najbliższych latach/dekadach. Wykorzystanie energii potencjalnej wody jest w tej chwili lepszym rozwiązaniem. Wymaga jednak budowy/wykorzystania co najmniej dwóch zbiorników wodnych o różnych wysokościach lustra. Chwilowy nadmiar energii jest wykorzystywany do pompowania wody do wyższego zbiornika. Ta z kolei jest wykorzystywana do napędzania turbin w czasie

większości przypadków drgania, a co za tym idzie dźwięki produkowane przez elektrownię wiatrową pozostają w obszarze infradźwięków, a więc częstotliwości poniżej granicy słyszalności dla ludzkiego ucha. Jednakże niektóre zwierzęta, np. ryby, są zdolne do rejestrowania dźwięków o niskich częstotliwościach. Udowodniono, że elektrownie wiatrowe na akwenach morskich mogą odstraszać ławice ryb, jak również wpływać na tarło. Nowsze badania sugerują, że początkowy efekt słabnie wraz adaptacją ryb do nowej sytuacji. Aby określić długotrwały wpływ wiatraków na otaczającą faunę potrzebne są dalsze badania, które są w chwili obecnej prowadzone.

KARTA PYTAŃ 11.

Czy energia wiatrowa jest efektywna pod kątem wykorzystania przestrzeni?

Elektrownia wiatrowa o znacznej mocy wymaga wykorzystania dużej, często przekraczającej sto sztuk, liczby wiatraków. Wiatraki nie mogą znajdować się zbyt blisko siebie ze względu na ich wzajemne interakcje (przede wszystkim efekt cienia wiatrowego za wiatrakiem). Ilość przestrzeni potrzebnej na elektrownie wiatrową jest największa spośród wszystkich źródeł odnawialnych (w przeliczeniu na kWh). Koszt zakupu gruntów może stanowić znaczną część budowy elektrowni. Efektywne wykorzystanie przestrzeni pomiędzy wiatrakami jest trudne ze względu na normy bezpieczeństwa. Wydaje się, że elektrownie wiatrowe mogą być dobrym

pozytywnego wrażenia „przyjazności ekologicznej” otoczenia u turystów.

KARTA PYTAŃ 4.

Czy umieszczenie wiatraków na morzach jest lepszym rozwiązaniem niż lokalizowanie ich na lądzie?

Elektrownie wiatrowe wymagają wykorzystania znacznej ilości przestrzeni jak również są bezpośrednio zależne od lokalnego rozkładu kierunków i prędkości wiatrów. Oba te czynniki sprawiają, że umieszczanie wiatraków na dużych akwenach wodnych może być bardziej korzystne niż lokalizowanie ich na lądzie. Morza szelfowe wydają się być szczególnie dobrym wyborem za względu na znaczną ilość dostępnej przestrzeni przy jednoczesnej możliwości budowania wiatraków bezpośrednio na dnie morskim (głębokość mórz szelfowych rzadko przekracza kilkadziesiąt metrów). Otwarte akweny wodne cechują się bardziej stabilnymi, a co za tym idzie przewidywalnymi rozkładami kierunków i prędkości wiatru. Jest to następstwem braku obiektów zakłócających ruch powietrza, takich jak wniesienie, drzewa czy budynki. Ponadto, z tej samej przyczyny, średnie prędkości wiatru nad morzami/oceanami są znacznie większe niż nad lądami.

niedoboru wiatru.

KARTA PYTAŃ 7.

Czy w ramach odnawialnych źródeł energii wykorzystanie energii wiatrowej jest konkurencyjne pod względem kosztów? Jakie mogą być lepsze alternatywy?

Koszt wytworzenia pojedynczego wiatraka jest relatywnie niski, a potrzebne materiały są tanie i ogólnodostępne. Elektrownia składa się jednak ze znacznej ilości wiatraków, które zajmują znaczną powierzchnię (koszty gruntów). Ze względu na swój rozproszony charakter elektrownie wiatrowe generują dość duże koszty utrzymania, a ich konserwacja jest zadaniem niebezpiecznym. Ilość wypadków związanych z obsługą instalacji jest najwyższa dla elektrowni wiatrowych spośród wszystkich typowych źródeł energii (w przeliczeniu na kWh). Ponieważ budowa wiatraków jest prosta z technicznego punktu widzenia i nie wymaga wykorzystania zaawansowanych technologii oraz trudno dostępnych materiałów czyni to z nich dobrą, bezemisyjną alternatywę dla spalania paliw kopalnych w krajach rozwijających się z niskim poziomem industrializacji. Jednakże w krajach z dostępem do dużej ilości wolno płynącej wody lepszym rozwiązaniem może być budowa hydroelektrowni, które również nie wymagają zastosowania zaawansowanych technologii, a cechują się większą mocą oraz przewidywalnością w porównaniu z instalacją wiatrową w podobnej cenie.

rozwiązaniem dla krajów ze znacznymi obszarami niezamieszkałymi (np. pustynie, duże akweny wodne). W przypadku krajów o dużej gęstości zaludnienia i braku dostępu do dużych akwenów inne źródła odnawialne, takie jak elektrownie wodne lub fotowoltaiczne, mogą być znacznie lepszym wyborem ze względów ekonomicznych.

KARTA PYTAŃ 12.

Jaki jest możliwy wpływ wiatraków na lokalne wzorce opadów?

Turbulencja generowana przez skrzydła obracających się wiatraków może, w warunkach wysokiej wilgotności, prowadzić do powstawania chmur w cieniu wiatrowym elektrowni. W sprzyjających warunkach może dojść do powstania opadu atmosferycznego (przede wszystkim deszczu) bezpośrednio za elektrownią. Zwiększa to ilość lokalnych opadów (bezpośrednio wokół elektrowni) ale jednocześnie zmniejsza ilość pary wodnej dostępnej w atmosferze. Na obszarach, na których występuje pojedynczy, dominujący kierunek wiatru prowadzi to do powstania cienia opadowego po zawiętrznej stronie elektrowni, w którym obserwuje się znacznie zmniejszone sumy opadów. Może to generować negatywne skutki dla lokalnej przyrody oraz rolnictwa.

KARTA PYTAŃ 8.

Czy wprowadzona turbulencja może wpłynąć na lokalne zachmurzenie, a co za tym idzie na lokalny współczynnik albedo?

Elektrownie wiatrowe generują znaczne ilości wibracji podczas pracy, co wpływa na powstawanie silnych turbulencji w masach powietrza, które poruszały się w bezpośrednim pobliżu wiatraków. W warunkach wysokiej wilgotności wprowadzenie turbulencji może być czynnikiem wystarczającym do powstania kropel chmurowych. Obserwuje się powstawanie dużych obszarów pokrytych niskimi i cienkimi chmurami w cieniu wiatrowym elektrowni. Może to wpływać na lokalne wzorce pogodowe jak również na bilans transferu energii radiacyjnej (światło widzialne, podczerwień) w atmosferze. Warto zauważyć, że chmury tego typu mają silnie ujemny wkład do wyżej wspomnianego bilansu, a co za tym idzie przyczyniają się do wychładzania radiacyjnego atmosfery przeciwdziałając tym samym ociepleniu klimatu.

Karta pracy nr 2 – klucz odpowiedzi

Argument wraz z uzasadnieniem	Przewidywane kontrargumenty grupy przeciwnej	Odpowiedzi na kontrargumenty
<i>Teza:</i> Zasadne jest inwestowanie w energetykę wiatrową, pomimo że nie gwarantuje ona ciągłości dostaw energii. <i>Argument:</i> Możliwe jest magazynowanie energii z elektrowni wiatrowych w celu późniejszego wykorzystania. <i>Dowód:</i> Jednym z możliwych rozwiązań problemu znacznej zmienności i nieprzewidywalności prędkości wiatru jest magazynowanie energii do późniejszego wykorzystania. Dwie podstawowe metody, to wykorzystanie ogniw chemicznych (akumulatorów) lub wykorzystanie elektrowni szczytowo-pompowych, gdzie chwilowy nadmiar energii jest wykorzystywany do pompowania wody do wyniesionego zbiornika.	Ogniwa chemiczne są bardzo kosztowne w stosunku do ilości zmagazynowanej energii, jak również wymagają trudno dostępnych jak również często toksycznych substancji do ich wytworzenia. Wiąże się to również ze stosunkowo trudnym recyklingiem zużytych ogniw.	Postęp technologiczny w dziedzinie akumulatorów chemicznych jest bardzo szybki, a co za tym idzie wykorzystanie dużych akumulatorów do magazynowania energii z wiatru powinno stawać się coraz bardziej opłacalne już w najbliższych latach.
		W związku z szybkim rozwojem motoryzacji opartej na napędach elektrycznych ilość ogniw chemicznych poddawanych recyklingowi stale się zwiększa. Efekt skali pozwala na znaczne obniżenie jednostkowych kosztów oraz pobudza szybki rozwój nowych, wydajniejszych technik recyklingu.
	Technologia elektrowni szczytowo-pompowych wymaga budowy/wykorzystania co najmniej dwóch zbiorników wodnych o różnych wysokościach lustra. Wiąże się to z wysokimi kosztami oraz znacznym zapotrzebowaniem na miejsce.	Instalacje szczytowo-pompowe są bardzo trwałe, co pozwala na amortyzację początkowych kosztów budowy w okresie wielu dekad jej funkcjonowania. Możliwe jest wykorzystanie już istniejących zapór na rzekach. W takim wypadku konieczne jest ustabilizowanie poziomu lustra wody poniżej zapory. Jedną z możliwości jest budowa niewielkiej i niedrożej zapory pomocniczej (lub jazu) poniżej zapory głównej. Przykładem takiej instalacji jest Zespół Elektrowni Wodnych Solina-Myczkowce.

Argument wraz z uzasadnieniem	Przewidywane kontrargumenty grupy przeciwnej	Odpowiedzi na kontrargumenty
<i>Teza:</i> Energetyka wiatrowa jest nieefektywna z punktu widzenia wykorzystania przestrzeni <i>Argument:</i> Inne źródła energii odnawialnej pozwalają na wytworzenie większej mocy w przeliczeniu na jednostkę powierzchni zajmowanej przez instalację. <i>Dowód:</i> Elektrownia wiatrowa o znacznej mocy wymaga wykorzystania dużej, często przekraczającej sto sztuk, liczby wiatraków. Wiatraki nie mogą znajdować się zbyt blisko siebie ze względu na ich wzajemne interakcje (przede wszystkim efekt cienia wiatrowego za wiatrakiem). Ilość przestrzeni potrzebnej na elektrownię wiatrową jest największa spośród wszystkich źródeł odnawialnych (w przeliczeniu na kWh). Koszt zakupu gruntów może stanowić znaczną część budowy elektrowni. Efektywne wykorzystanie przestrzeni pomiędzy wiatrakami jest trudne ze względu na normy bezpieczeństwa.	Wiele krajów dysponuje znacznymi obszarami niezamieszkałymi (np. lasy, stepy, pustynie, duże akweny wodne, morza szelfowe). Elektrownie wiatrowe budowane na takich obszarach nie wymagają dużych inwestycji w zakup gruntów i mają niewielki wpływ na jakość życia populacji ludzkiej.	Obszary niezamieszkane są często ostojami dzikiej przyrody. Budowa elektrowni wiatrowych, i związana z nią praca ciężkich maszyn budowlanych, może tutaj wyrządzić znacznie większe szkody ekologiczne niż miałyby to miejsce w pobliżu siedzib ludzkich.
	Możliwe jest wykorzystanie przestrzeni pomiędzy poszczególnymi wiatrakami. Ze względu na normy bezpieczeństwa ludzie mają ograniczony dostęp do terenu elektrowni. Stwarza to możliwość stworzenia ostoi dzikiej przyrody na terenie elektrowni.	Tereny położone z dala od siedzib ludzkich często charakteryzują się niesprzyjającymi warunkami naturalnymi dla budowy elektrowni wiatrowych. Np. pył pustylny może drastycznie skracać trwałość łożysk, a sól morska doprowadzać do powstawania korozji międzykrystalicznej w aluminiowych elementach konstrukcji wiatraków.
		Dźwięki produkowane przez elektrownię wiatrową pozostają głównie w obszarze infradźwięków, a więc częstotliwości poniżej granicy słyszalności dla ludzkiego ucha. Jednakże niektóre zwierzęta, np. ryby, są zdolne do rejestrowania dźwięków o niskich częstotliwościach. Udowodniono, że elektrownie wiatrowe na akwenach morskich mogą odstraszać ławice ryb, jak również wpływać negatywnie na tarło. Obracający się wiatrak stanowi olbrzymie zagrożenie dla dzikich ptaków. Końcówki łopat mogą obracać się z prędkością przekraczającą 300km/h. Daje to lecącym ptakom mało czasu na uniknięcie zderzenia, które w większości przypadków kończy się dla nich tragicznie.

Karta pracy nr 1

Udostępniony przez nauczyciela pakiet edukacyjny zawiera zestaw pytań, które mają pomóc w przygotowaniu argumentów do dyskusji nad przedstawioną tezą. Na ich podstawie przygotuj zestaw argumentów i pogrupuj je na te które są ewidentnie za dyskutowaną tezą, przeciw tezie oraz te argumenty, które mogą być wykorzystane zarówno przez jedną, jak i drugą stronę. Wpisz je w odpowiednie miejsca w tabeli.

ZA	DYSKUSYJNE	PRZECIW

The project has been funded with the support of European Commission within ERASMUS+ program



--	--	--

Karta pracy nr 2

Na podstawie udostępnionych przez nauczyciela materiałów przygotuj argumenty do dyskusji. Jedna grupa uczniów przygotowuje argumenty popierające tezę, druga natomiast argumenty przeciwstawne. Skorzystaj z zaproponowanego schematu.

Argument wraz z uzasadnieniem	Przewidywane kontrargumenty grupy przeciwnej	Odpowiedzi na kontrargumenty

Karta pracy nr 3

Imię i nazwisko Klasa Drużyna (za/przeciw)

Podczas debaty obserwuj uważnie wystąpienia debatanów z drużyny przeciwnej. Następnie oceń, które wystąpienie najbardziej Cię przekonało oraz jakie obszary wystąpienia przeciwników powinny zostać poprawione.

1. Pod względem **merytorycznym** (np. jakość przedstawionych argumentów, wiarygodność danych i dowodów naukowych) w drużynie przeciwnej najbardziej przekonał mnie debatan nr

Uzasadnienie:

.....

.....

.....

.....

2. Pod względem **stylu prezentacji i komunikacji z widownią** (np. pewna, przekonująca, autentyczna i dynamiczna postawa, umiarkowane gesty, różnorodność głosu, dobry kontakt wzrokowy z publicznością, użycie umiarkowanego humoru, przyjazne i profesjonalne podejście do wszystkich uczestników, skuteczne użycie języka ciała) w drużynie przeciwnej najbardziej przekonał mnie debatan nr

Uzasadnienie:

.....

.....

.....

.....

Wskaż element wystąpienia drużyny przeciwnej, który wymaga dopracowania. Uzasadnij swoją odpowiedź.

.....

.....

Uzasadnienie:

.....

.....

.....

.....

.....