

Krzysztof Pytel, Jana Depešová

Wprowadzenie do projektowania elektrowni korzystającej z energii pływów

Wprowadzenie

Zgodnie z definicją (Glossary: Renewable_energy_sources/pl, 2014) za odnawialne źródła energii przyjmowane są te źródła energii, które odnawiają się w sposób naturalny. Obejmują takie zasoby, z których pozyskujemy energię w wyniku procesu spalania (np. biopaliwa, biomasa czy odpady) oraz bez korzystania z procesów spalania (przykładowo energia potencjalna i kinetyczna wody, energia z elektrowni szczytowo-pompowych, energia mechaniczna pływów i fal, energia termiczna i pochodząca z gradientu zasolenia oceanów, energia geotermalna, energia słoneczna czy wiatrowa).

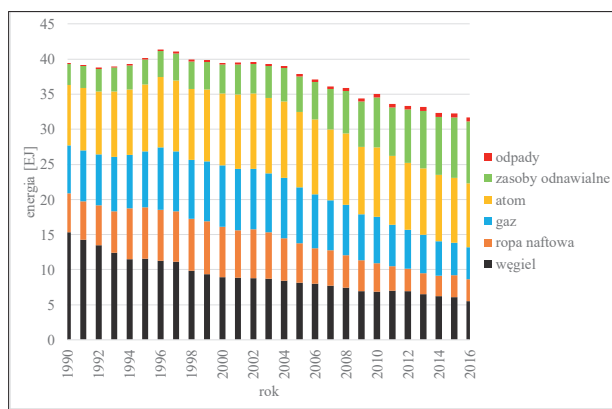
Wykorzystanie odnawialnych zasobów energetycznych ma szereg potencjalnych korzyści, spośród których na pierwszym miejscu można wymienić redukcję emisji gazów cieplarnianych i pyłów w atmosferze. Spośród pozostałych na uwagę zasługuje dywersyfikacja dostaw energii oraz potencjalne zmniejszenie wpływu paliw kopalnych na segment energetyki. Spośród wymienionych zasobów energii, na szczególne wyróżnienie zasługują zasoby energii wiatru oraz oceanów. Badania nad wykorzystaniem energii wiatru oraz oceanów prowadzone są od szeregu lat, przyczyniają się do rozwoju nowych zielonych technologii. Analizy skupiają się na identyfikacji możliwości odzyskania pokaźnych zasobów zmagazynowanej energii, których intensywna eksploatacja może szczególnie pozytywnie przyczynić się do zmniejszenia efektu cieplarnianego oraz obniżenia zanieczyszczeń powstałych w wyniku produkcji energii metodami konwencjonalnymi.

Pomimo wysokiej dynamiki wykorzystania tych zasobów energetycznych, rozwiązywanie szeregu zagadnień technologicznych i nietechnologicznych (np. związanych z przepływami finansowymi czy prawem do własności intelektualnej) staje się skomplikowanym wyzwaniem dla współczesnego świata.

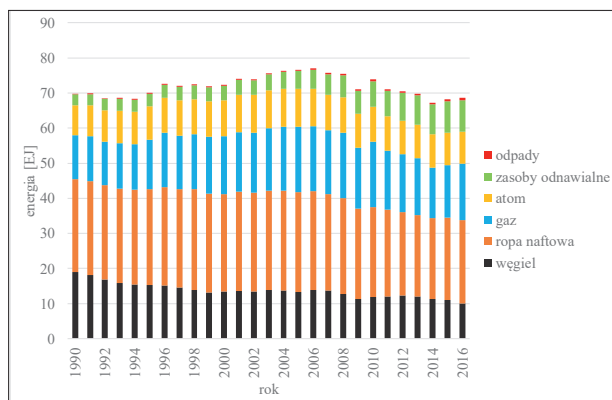
Produkcja i konsumpcja energii w Europie

Na początku XXI wieku wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej bazuje na ropie naftowej, gazie ziemnym, węglu oraz uranie 235. Udział produkcji energii odnawialnej w całkowitej produkcji energii w państwach Unii Europejskiej, pomimo że

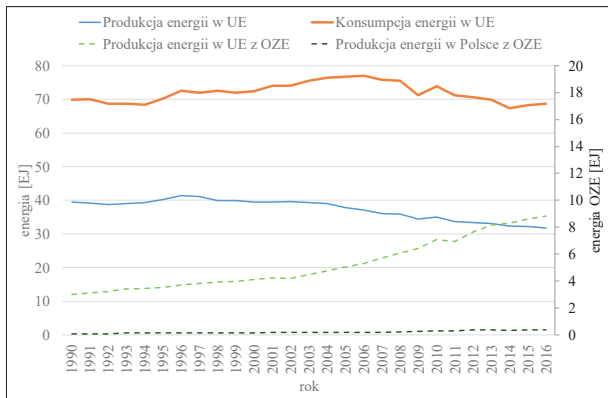
jest niewielki, to wzrósł na przestrzeni ostatniego ćwierćwiecza z około 4% w 1990 roku do około 17% w 2016 roku (rys. 1–2) (Simplified energy balances – annual data [nrg_100a], 2016). Dynamika wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych została wymuszona wymogami prawnymi, poprzez dobrowolne zobowiązania rządów państw oraz dyrektywy wprowadzające wymóg korzystania z odnawialnych zasobów energetycznych, wyrażający się koniecznością zwiększenia udziału energii odnawialnej w całkowitym zużyciu energii oraz w transporcie (rys. 3) (Energy trends – statistics explained, 2018). Powodem tych działań była konieczność ograniczenia emisji do atmosfery szkodliwych związków powstałych z paliw konwencjonalnych, podczas procesu spalania paliw w celu produkcji energii. Jako produkt spalania, prócz uzyskanej energii, uzyskuje się tlenki siarki, tlenki azotu oraz dwutlenek węgla, którego obecność w atmosferze ziemskiej jest niezbędna, ale w nadmiernej ilości może wpływać niekorzystnie na klimat ziemi (Climate change mitigation – European Environment Agency, 2018).



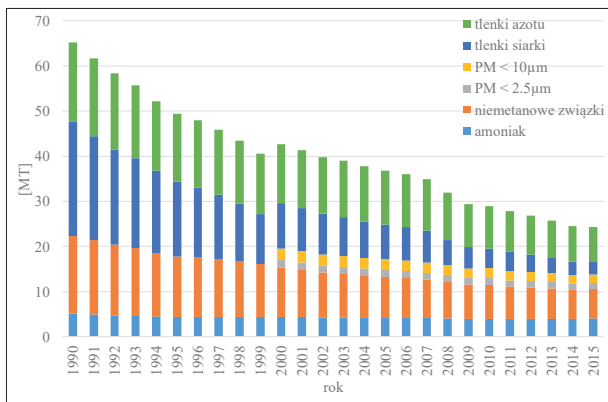
Rys. 1. Produkcja energii w Unii Europejskiej w latach 1990–2016 z podziałem na zasoby



Rys. 2. Konsumpcja energii w Unii Europejskiej w latach 1990–2016 z podziałem na zasoby



Rys. 3. Produkcja i konsumpcja całkowita energii w Unii Europejskiej oraz produkcja energii ze źródeł odnawialnych w UE i Polsce w latach 1990–2016



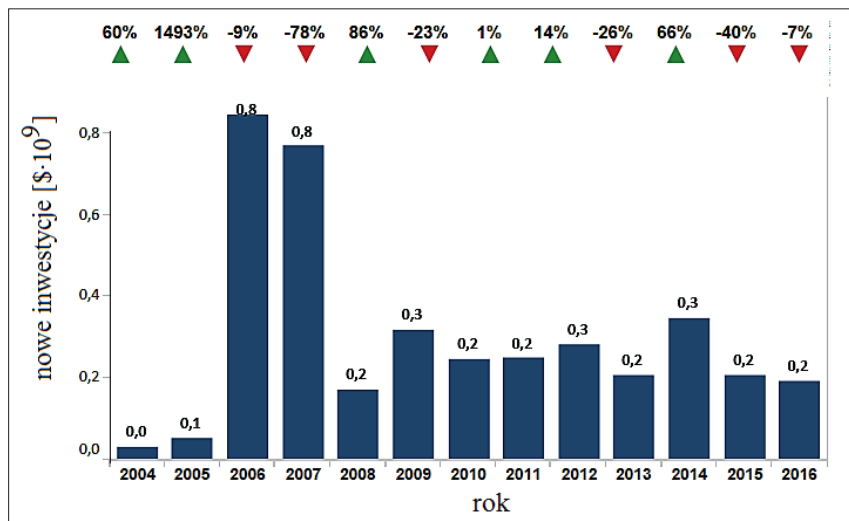
Rys. 4. Statystyki zanieczyszczeń powietrza w UE latach 1990–2016

Dzięki podjętym działaniom państw europejskich, na przestrzeni ćwierćwiecza odnotowano znaczne zmniejszenie emisji wszystkich zanieczyszczeń do atmosfery. Analizując zanieczyszczenia powietrza, można zauważyć spadek o blisko 90% emisji tlenków siarki, o ponad 60% spadek emisji niemetanowych lotnych związków organicznych, o ponad 55% spadek emisji tlenków azotu, o ponad 25% spadek emisji pyłu zawieszonego PM 2.5 i blisko 25% spadek emisji pyłu zawieszonego PM10, i o blisko 25% spadek emisji amoniaku (rys. 4) (Air pollution statistics – emission inventories – Statistics Explained, 2018).

Elektrownia korzystająca z energii pływów oceanu

Elektrownie czerpiące z energii oceanu działają dzięki energii fal, energii pływów, prądom oceanicznym, gradientowi zasolenia oraz różnicy temperatury pomiędzy wodą na różnych głębokościach. Niektóre elektrownie wodne korzystające z energii prądów oceanicznych kształtem wirnika przypominają elektrownię

wiatrową o poziomej osi obrotu. Pracują podobnie do turbin wiatrowych, czyli pobierają energię z przemieszczającej się masy płynu poruszającego się w obrycie wirnika. Strumień płynu wywołuje obrót wirnika wokół poziomej osi i w konsekwencji umożliwia generowanie mocy. Na przestrzeni ostatnich 15 lat na badania nad energią oceaniczną wydano na świecie blisko 4 miliardy dolarów (rys. 5), przy czym Unia Europejska wydała ponad 55 milionów euro od lat osiemdziesiątych XX wieku. Szacuje się, że od 2011 roku około 80% wszystkich inwestycji w badania i rozwój urządzeń do wytwarzania energii elektrycznej z prądów oceanicznych dotyczyło elektrowni o osi poziomej (Data and Statistics – IRENA Resource, 2018).



Rys. 5. Nowe inwestycje w morskie elektrownie w latach 2004–2016



Rys. 6. Podwodna osadzona na dnie elektrownia



Rys. 7. Turbina osadzona na monopolu



Rys. 8. Podwodna struktura pływająca (kitturbines)

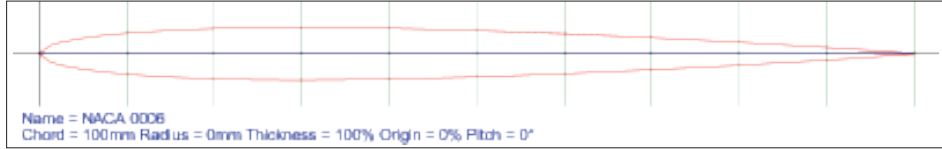
Elektrownie korzystające z prądów morskich o poziomej osi obrotu muszą być, podobnie jak morskie elektrownie wiatrowe, powiązane z gruntem – dnem oceanu (Japan Is Building Underwater Kites to Harness the Power of Ocean Currents – Motherboard, 2015). Oszacowano, że około:

- 56% elektrowni jest sztywnie osadzonych na dnie morskim – jest fizycznie przytworowana do dna lub unieruchomiona dzięki swojej masie – określane są jako seabed mounted oraz gravity base (rys. 6) (World’s first large-scale tidal energy farm launches in Scotland | UK news | The Guardian, 2018),
- 4% korzysta z monopoli – przez analogię do większości dużych elektrowni wiatrowych wieża jest wkopana w dno oceanu, co umożliwia awaryjne i w celu konserwacji podniesienie gondoli ponad poziom wody – określane jako pile mounted (rys. 7) (B.E. Harbour and Ocean Engineering – Maritime Olympiad, 2015),
- 36% korzysta z techniki cumowania pod trzema postaciami (rys. 8) (Tidal devices: EMEC: European Marine Energy Centre, 2018):
 - elastyczne – gondola elektrowni jest uwiązana za pomocą przewodu (czy łańcucha) do dna morskiego,
 - sztywne – gondola elektrowni jest uwiązana za pomocą stałego systemu cumowniczego,
 - pływająca – kilka elektrowni na jednej platformie wykonującej ruch zgodnie ze zmianami poziomu morza.

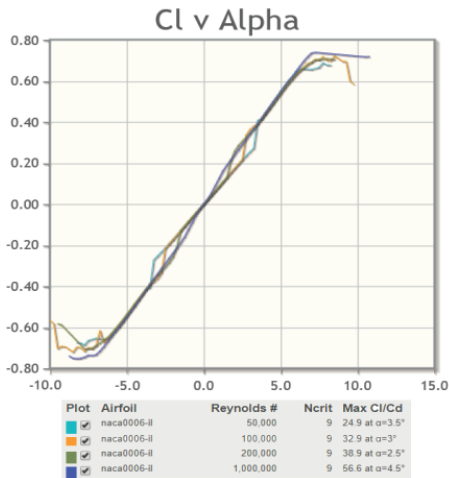
Projekt wirnika metodą elementu łopaty (Blade Element Momentum)

Na wstępie założono średnicę wirnika elektrowni 20 m. Powierzchniowy prąd oceaniczny charakteryzuje się prędkością około 2 m/s, i taką właśnie prędkość przepływu płynu przyjęto, prędkość załączenia elektrowni przyjęto 0,2 m/s (tabela 1) (Najszybszy głęboki prąd oceaniczny | KopalniaWiedzy.pl, 2010). Moc obliczeniową elektrownia osiągnie przy prędkości płynu $V_0 = 2$ m/s, natomiast moc maksymalną przy prędkości płynu $V_m = 5$ m/s. Przyjęto wyróżnik szybkobieżności $\lambda = 10$. Dobrano profil NACA 0006 (rys. 9) (NACA 0006 (naca0006-il), 2018). Znając

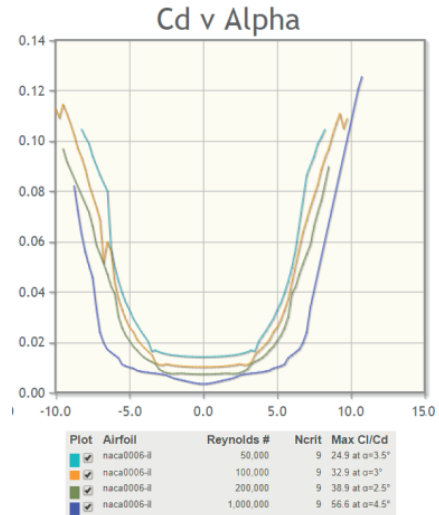
wyróżnik, średnicę oraz prędkość płynu, obliczono prędkość obrotową wirnika elektrowni oceanicznej. Wyznaczono współczynnik siły nośnej C_L w funkcji $C_L = f(\alpha)$ oraz współczynnik siły oporu C_D w funkcji $C_D = f(C_L)$ dla zadanych liczb Reynoldsa Re (rys. 10–12) (NACA 0006 (naca0006-il), 2018).



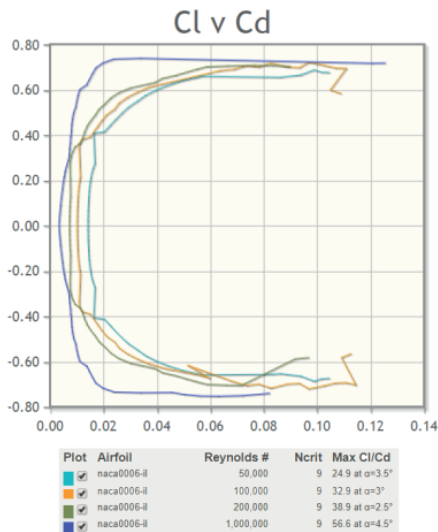
Rys. 9. Dobrany do analiz profil NACA 0006



Rys. 10. Współczynnik siły nośnej



Rys. 11. Współczynnik siły oporu

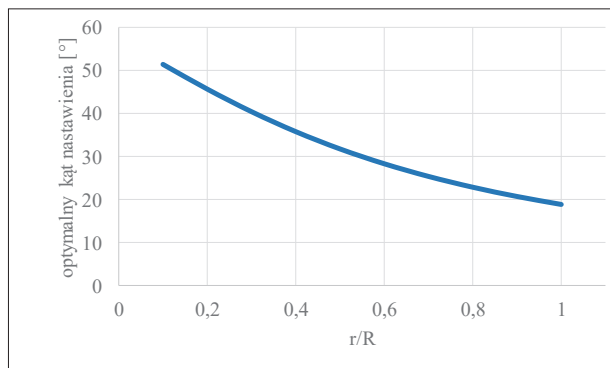
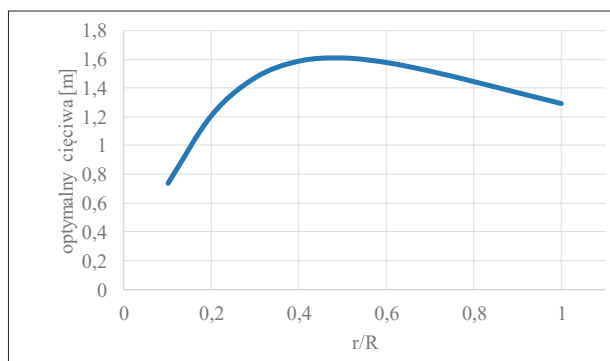


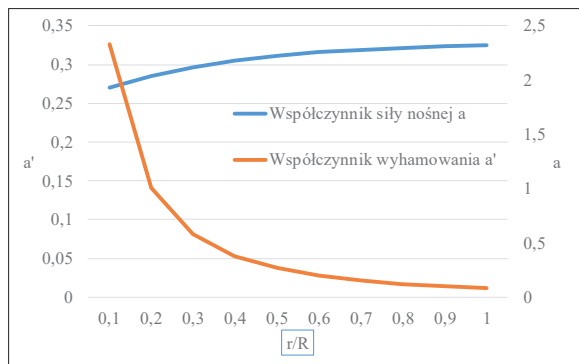
Rys. 12. Krzywa biegunowa

Tab. 1. Prędkość obrotowa wirnika dla założonych prędkości

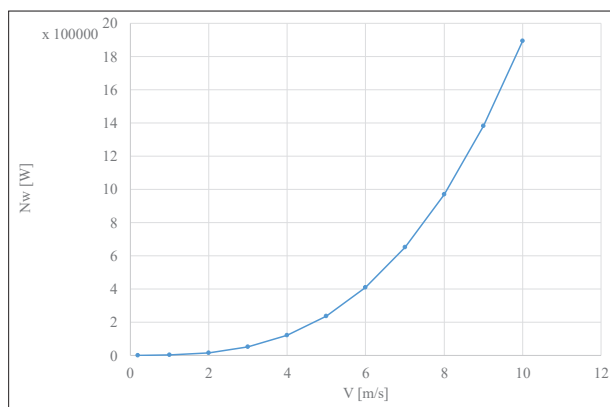
Prędkość wiatru [m/s]	ω [s^{-1}]	n [min^{-1}]
startowa: 0,2	0,032	0,005
obliczeniowa: 2	0,318	0,051
maksymalna: 5	0,796	0,127

Policzono kąt nastawienia, który największe wartości ma na początku łopaty ($51,5^\circ$), potem ze wzrostem odległości od osi wirnika kąt zmniejsza wartości, osiągając wartość $18,9^\circ$, co umożliwi osiągnięcie optymalnego współczynnika mocy C_p dla zadanej prędkości obliczeniowej (rys. 13). Policzono optymalny rozkład cięciwy (rys. 14), która u nasady łopaty ma 740 mm, potem osiąga wartość maksymalną 1610 mm przy około 50% długości łopaty, następnie cięciwa maleje do 1295 mm na końcu łopaty. Przeprowadzone obliczenia determinują geometrię łopaty i umożliwiają policzenie mocy wirnika zbudowanego z tych łopat (rys. 15).

**Rys. 13.** Optymalny rozkład kąta nastawienia wzdłuż długości łopaty**Rys. 14.** Optymalny rozkład cięciwy profilu



Rys. 15. Porównanie współczynników siły nośnej i wyhamowania



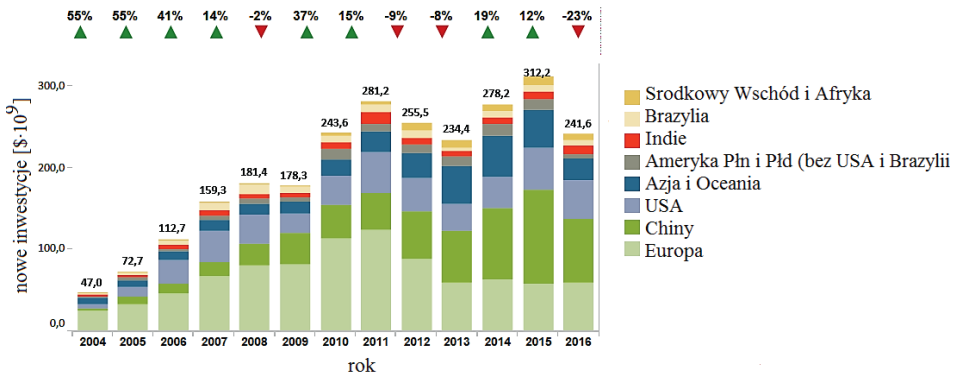
Rys. 16. Zależność mocy wirnika od prędkości płynu

Policzono moc wirnika zależną od prędkości przemieszczającego się płynu, którym jest woda oceaniczna (rys. 16). Wykonana analiza metodą elementu łopaty umożliwia uzyskanie informacji o rzeczywistej mocy projektowanego wirnika elektrowni oceanicznej o poziomej osi obrotu, a wykonany projekt jest dopasowany do warunków panujących w wybranej lokalizacji, a zatem poprawność danych wpływa na odpowiedni wybór kształtu łopat oraz wirnika elektrowni morskiej.

Podsumowanie

Energetyka odnawialnych źródeł to dział energetyki obecny powszechnie w gospodarce XXI wieku. Dotychczasowa zależność od paliw kopalnych jest systematycznie wspomagana przez alternatywne źródła energii. Obecna energetyka produkuje coraz większe ilości energii, pomimo systematycznie zwiększającej się efektywności energetycznej urządzeń, a nakłady na nowoczesne systemy energetyczne systematycznie wzrastają (rys. 17) (Data and Statistics – IRENA REsource, 2018). Wszystkie rozwijające się i wysoko rozwinięte kraje na świecie deklarują zwiększanie udziału energetyki odnawialnej, co jest systematycznie potwierdzane poprzez

międzynarodowe konwencje i oświadczenia. Wszystkie gałęzie przemysłu, włącznie z energetyką, ewoluują w kierunku poszanowania energii oraz przeciwdziałania zmianom klimatu. Zmiany te, spowodowane w dużej części przez bezkompromisową działalność przemysłową, skutkowały szeregiem katastrof ekologicznych (June: Energy and Air Pollution, 2016). Dynamika zrównoważonego rozwoju i zapobieganie niepożądanym zmianom klimatu stały się nieodzownymi elementami projektowania, badania i profilowania współczesnej strategii energetycznej.



Rys. 17. Nowe inwestycje w odnawialne źródła energii w poszczególnych regionach świata w latach 2004–2016

Energetyka odpowiada aż za dwie trzecie całkowitej emisji gazów cieplarnianych i aż 80% emisji dwutlenku węgla, stąd szereg działań nakierowanych na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń oraz na zminimalizowanie zmian klimatycznych jest realizowane przez sektor energetyczny. Działalność związana z korzystaniem z ekologicznych rozwiązań energetyki odnawialnej, korzystających z energii wód oceanicznych, doskonale wpisuje się w profil współczesnego społeczeństwa opartego na wiedzy (Climate change, 2018).

Bibliografia

- <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca0006-il#polars> [dostęp: 29.07.2018]
- <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca0006-il> [dostęp: 29.07.2018]
- <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/setupDownloads.do> – Simplified energy balances – annual data [nrg_100a] [dostęp: 29.07.2018]
- http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Air_pollution_statistics_-_emission_inventories [dostęp: 29.07.2018]
- http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_trends#Primary_energy_production [dostęp: 29.07.2018]
- http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Renewable_energy_sources/pl [dostęp: 29.07.2018]
- <http://kopalniawiedzy.pl/gleboki-prad-oceaniczny-klimat-monitorowac-wielki-pas-transmisyjny-cieplo-temperatura-cyrkulacja-termohalinowa-Steve-Rintoul,10225> [dostęp: 29.07.2018]

- <http://maritimeolympiad.com/b-e-harbour-and-ocean-engineering-2> [dostęp: 29.07.2018]
- <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=6&subTopic=11> [dostęp: 29.07.2018]
- <http://www.emec.org.uk/marine-energy/tidal-devices/> [dostęp: 29.07.2018]
- <http://www.iea.org/topics/climatechange/> [dostęp: 29.07.2018]
- https://motherboard.vice.com/en_us/article/ypwqnm/japan-is-building-underwater-kites-to-harness-the-ocean-current-for-power [dostęp: 29.07.2018]
- <https://www.eea.europa.eu/themes/climate> [dostęp: 29.07.2018]
- <https://www.iea.org/newsroom/news/2016/june/energy-and-air-pollution.html> [dostęp: 29.07.2018]
- <https://www.theguardian.com/uk-news/2016/sep/12/worlds-first-large-scale-tidal-energy-farm-launches-scotland> [dostęp: 29.07.2018]

Abstract

The publication was introduced in issues related to the design of the power plant that uses tidal energy. Technological issues affecting the amount of energy produced in a power plant with a horizontal axis using tidal energy were described. The local angle of adjustment and the optimal distribution of the chord and the power of the rotor built from the proposed blades were counted. During aerodynamic analyzes, the factors of lift and inhibition were counted. The analysis of the blade element method enabled obtaining information on the actual power of the designed rotor of an ocean power plant with a horizontal axis of rotation.

Key words: Flow (Dynamics), Blades, Rotors, Turbines, Wave power generation

Krzysztof Pytel
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków, Polska

Jana Depešová
Instytut Techniki
Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej
ul. Podchorążych 2
30-084 Kraków, Polska