

Draško KOVAČ<sup>1</sup>, Martin ČALASAN<sup>2</sup>

## PREGLED I KARAKTERISTIKE PLIMNIH TURBINA

**Sažetak:** Okeani, kao jedan energetska resurs, mogu da pruže veliki doprinos za naša buduća energetska potraživanja. Glavni izvori energije okeana su morske struje (posljedica plime i osjeke), talasi i termalna energija okeana. U ovom radu dat je pregled plimnih turbine – njihove konfiguracije i karakteristike. Isto tako, navedeni su načini generisanja električne enrgije iz energije plime i osjeke. Na kraju rada, date su karakteristike najvećih plimnih elektrana na svijetu.

**Ključne riječi:** *plimne turbine, plimne elektrane, električna energija*

### 1. UVOD

Poznata je činjenica da živimo u svijetu gdje se skoro 80% energetskih potraživanja zadovoljava iz izvora kao što su prirodni gas, ugalj, ili nafta, koji se brzo troše a pritom zagađuju životnu sredinu. Jedan od koraka koji se preduzima trenutno u svijetu jeste podsticanje razvoja novih tehnologija obnovljivih izvora energije.

Okeani predstavljaju jedan ogroman energetska resurs. Glavni potencijalni izvori energije okeana su talasi, morske struje, teramalna energija okeana i energija okeanskih vjetrova. Energija morskih struja je ta koja prednjači u odnosu na ostale izvore energije okeana. Vrijednosti energije morskih struja u velikoj mjeri zavisi od položaja mjeseca u odnosu na Zemlju, ali i od godišnjih doba, pa je samim tim manje izložena klimatskim promjenama za razliku od ostalih izvora energije okeana [1–2].

U ovom radu prikazane su metode generisanja električne energije iz energije plime i osjeke. Kao poseban način generisanja električne energije, objašnjen je i princip tzv. dinamičke brane. Posebna pažnja je posvećena konfiguraciji plimnih

---

<sup>1</sup> Mr Draško Kovač, Fakultet za Pomorstvo Kotor, Dobrota 36, draskokovac@t-com.me

<sup>2</sup> Mr Martin Čalasan Elektrotehnički fakultet Podgorica, Džordža Vašingtona bb, martinc@t-com.me

turbine, kao i njihovoj regulaciji. Na kraju rada dat je pregled najvećih plimnih elektrana u svijetu.

## 2. METODE GENERISANJA ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ ENERGIJE PLIME I OSJEKE

Postoje tri metoda za generisanje električne energije iz energije plime i osjeke [3–5]. To su:

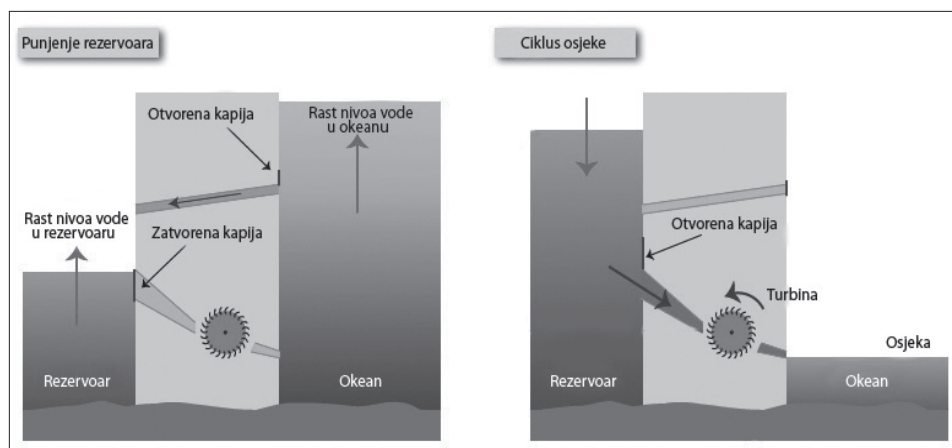
- Metoda plimne brane,
- Generatori plimnog toka (plimni generatori) i
- Dinamička snaga plime i osjeke.

### 2. 1. KLASIČNE PLIMNE BRANE

Klasične plimne brane predstavljaju strukturu koje služe da bi se iskoristila energija vodenih masa koje ulaze i izlaze u zalive i rijeke tokom plime i osjeke. Umjesto standardnih brana koje skladište vodu samo sa jedne njihove strane, plimne brane dozvoljavaju vodi da tokom plime ulaze u zaliv ili rijeku, da bi se ona tokom osjeke vratila nazad u more. Turbine su smještene unutar brane da bi mogli da generišu snagu iz vode koje ulazi i izlazi tokom plimnog ciklusa.

Postoje više načina kojima se može generisati energija iz plime i osjeke koristeći plimne brane. Najpoznatije među njima su:

– **Generisanje energije osjekom** – Tokom plime bazen se preko otvora puni vodom. Kad se bazen napuni otvori na brani se zatvaraju. Oni ostaju zatvoreni sve dok se nivo vode na strani mora ne spusti dovoljno kako bi se stvorila visinska ra-



Slika 2.1 Metod generisanja energije osjekom

zlika u nivoima vode na strani mora i na strani bazena, tj. sve dok ne nastupi osjeka. Kapije odvoda u kojima se nalaze turbine se otvaraju, voda prolazi kroz turbine i na taj način se generiše električna energija (Slika 2.1).

– **Generisanja energije plimom** – U ovom slučaju u toku plime bazen se puni preko otvora u kojima se nalaze turbine generišući na taj način električnu energiju. Međutim, ovaj metod je manje efikasan od metoda generisanja energije osjekom, zato što je razlika u nivoima vode između bazena i morske strane brane u metodu generisanja energije osjekom veća nego razlika u nivoima vode između bazena i morske strane brane u ovom metodu generisanja.

– **Šema dva bazena** – Još jedan način generisanja energije koristeći plimske brane jeste pomoću dva bazena. Jedan bazen se puni u toku plime a drugi se prazni u toku osjeka. Turbine su smještene između dva bazena. Prednosti ovog načina generisanja energije u odnosu na druge leži u samom podešavanju vremena generisanja energije i to sa velikom fleksibilnošću i skoro ju je moguće u kontinuitetu generisati. Međutim, ovakav način generisanja je zbog konstrukcije, gdje se treba napraviti veća dužina brane, skuplji.

– **Lagune** – Ovakav način podrazumjeva nezavisne bazene ograđene branama koji su izgrađeni na ušćima gdje u toku plime nivo vode dostiže visoku vrijednost. Ovakvi bazeni se u toku plime pune i zadržavaju vodu sve dok ne nastupi osjeka, kada počinju da puštaju vodu kako bi se generisala energija.

## 2. 2. PLIMNI GENERATORI

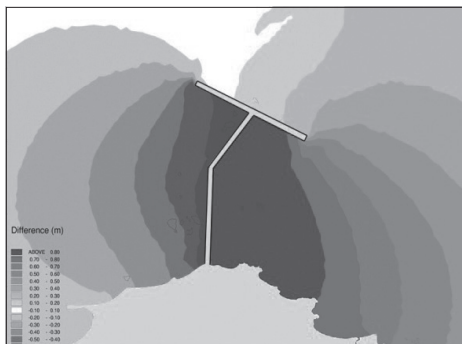
Plimni generator je mašina koja koristi kinetičku energiju vode za okretanje turbine, na sličan način kao što vjetrogeneratori koriste snagu vjetra za okretanje turbine. Ovaj metod korišćenja energije plime i osjeka dobija na popularnosti jer je mnogo jeftiniji i bolje ekološko rešenje u odnosu na klasične plimne brane (Slika 2.2).



Slika 2.2. Jedan od prvih plimnih generatora u komercijalnoj upotrebi

## 2. 3. DINAMIČKA PLIMNA BRANA

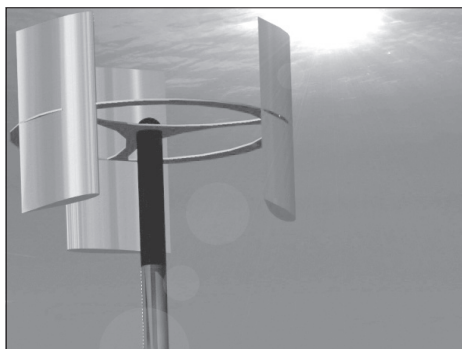
Dinamička plimna brana predstavlja novi metod plimnog generisanja energije. Ona zahtijeva izgradnju brane u obliku slova ‘T’ koja se prostire od obale ka moru, dugačku nekoliko desetina kilometara, ali koja ne zatvara proctor (Slika 2.3). Ova ‘T’ brana presjeka plimne talase, koji osciluju paralelno sa obalom, sadržeći



Slika 2. 3. Ptičija perspektiva ‘T’ brane. Plava boja predstavlja osjeku, dok tamno crvena predstavlja plimu



Slika 3. 1. Turbina sa horizontalnom osom



Slika 3. 2. Turbina sa vertikalnom osom

u sebi struje visokog inteziteta. U mnogim obalnim područjima plimna kretanja se kreću paralelno sa obalom: čitava masa vode ubrzava u jednom smjeru, da bi se kasnije toga dana vratila u drugom. Brana je dovoljno dugačka da vrši uticaj na horizontalno plimno kretanje, koja generiše razliku u nivoima vode i sa jedne i sa druge strane brane. Ta razlika se slično kao i kod metoda plimnih brana konverzuje u snagu pomoću mnogobrojnih turbina postavljenih u brani.

### 3. KONFIGURACIJA PLIMNIH TURBINA [6–8]

Plimne turbine zavise od hidrodinamičkih sila stvorenih od strane fluidnog toka na hidrodinamičke oblikovana sječiva kako bi generisala električnost. Dije se na plimne turbine sa horizontalnom i plimne turbine sa vertikalnom osom. Obje turbine imaju određeni broj sječiva montiranih na glavčinu (čineći zajedno rotor), reduktor i generator. Ne postoji optimalni oblik ili forma plimnih turbina, ali konstruktori ipak preferiraju turbine sa horizontalnom osom [7–8].

– **Turbine sa horizontalnom osom** (slika 3.1) – Ove turbine rotiraju oko horizontalne ose koja je paralelna sa protokom morske struje. Ova vrsta turbina se kategoriše u zavisnosti od broja sječiva koja sadrže. Turbine sa više sječiva su pogodnije jer generišu veći obrtni momenat i smanjuju problem balansiranja koji se javljaju sa turbi-

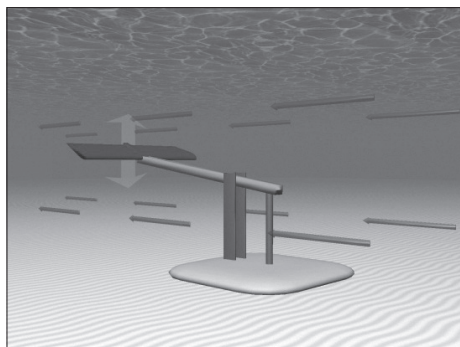
nom koja ima jedno sječivo. U zavisnosti od dizajna, sječiva turbine mogu da imaju fiksni i promjenjivi ugao nagibanja kako bi turbina mogla da funkcioniše kada voda protiče u oba smjera.

– **Turbine sa vertikalnom osom** (slika 3.2) – Ove turbine rotiraju oko vertikalne ose koja je normalna na pravac protoka morske struje. Ova turbina je dizajnirana od strane Francuskog inženjera *Georges Jean Marie Darrieus* pa se zbog toga drugačije i naziva *Darrieus-eva* turbina. Glavni problem vezan za ovakav tip turbine jeste visoka fluktacija momenta prilikom svakog obrtaja i nemogućnost da se turbina pokrene sama od sebe. Ovi problemi se mogu umanjiti spiralnom konfiguracijom sječiva kao što je to urađeno na tzv. *Gorlov-ovoj turbini* (Slika 3.3). Međutim, spiralna konfiguracija sječiva ima manju efikasnost nego turbine sa sječivima pod pravim uglom.

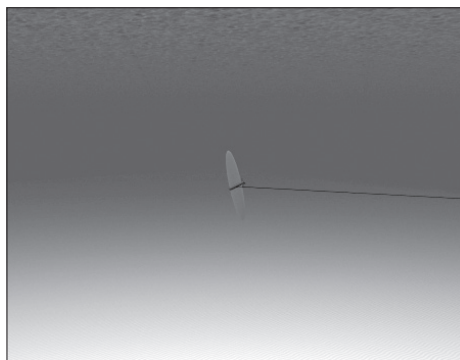
Osim turbina postoje i drugi uređaji dizajnirani za pretvaranje kinetičke energije vode u mehaničku. Jedan od takvih uređaja jeste i Oscilirajuće hidrodinamičko krilo (Slika 3.4). Ovaj koncept se zasniva na hidrodinamičkom krilu koje je pričvršćeno na oscilirajućoj ruci. Morska struja, koja prolazi na obje strane krila, prouzrokuje oscilovanje ruke koja tjera hidraulične cilindre da se šire i skupljaju. Na taj način stvara se visoki pritisak ulja koji pokreće generator. Osim ovog uređaja tu su i: Plimni kite (Slika 3.5), uređaj zasnovan na Venturijevom efektu (Slika 3.16) i Arhimedov šraf (Slika 3.7).



Slika 3. 3. Gorlov-a turbina

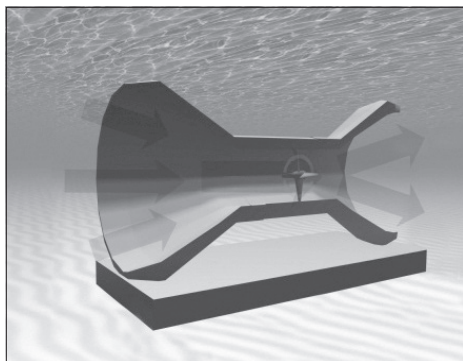


Slika 3. 4. Oscilirajuće hidrodinamičko krilo

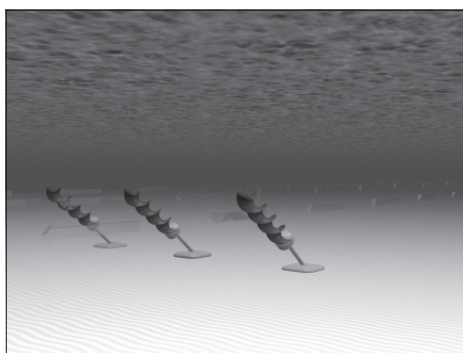


Slika 3. 5. Plimni kite





Slika 3. 6. Venturijeva cijev



Slika 3. 7. Arhimedov šraf



Slika 4. 1. Plimna elektrana Rance u Francuskoj

**Regulacija snage** plimnih turbina se prvenstveno postiže pozicioniranjem sječiva turbine. Ona se koristi da bi se: ograničavala maksimalna izlazna snaga, povećavala izlaznu snagu i da bi se omogućavao rad turbine u oba smjera protoka morske struje. Snaga plimnih turbina može da se reguliše na dva načina i to: fiksiranom regulacijom i nagibnom regulacijom.

– **Fiksirana regulacija** – se sastoji u tome da se sječiva na turbine fiksiraju pod određenim uglom napada (ne mogu da mjenjaju ugao). Sječiva su hidrodinamički dizajnirana tako da kada morska struja dosegne svoj maksimum u brzini, krila, koja su nagibljena pod fiksiranim uglom, uzrokuju smanjivanje obrtnog momenta, stoga i izlazne snage turbine.

– **Nagibna regulacija** – zahtjeva da se sječiva nagibe pod određenim uglom kako bi izlazna snaga bila konstantna kada se dostigne određeni nivo. Ovaj metod aktivno reguliše obrtni moment stvaran od strane turbine. Ovaj sistem regulacije se zasniva na hidrauličnom sistemu ili na elektronski kontrolisanom električnom motoru, koji nagibljuje sječiva pod određenim uglom.

#### 4. PLIMNE ELEKTRANE U SVIJETU

S obzirom na to da je tehnologija plimnih generatora u fazi razvijanja, još se nije pojavila tehnologija koja bi postavila standrad u samoj izgradnji plimnih elektrana. Međutim, postoji veliki broj eksperimentalnih dizajna plimnih generatora, a neki su veoma blizu da budu u široj uoptrebi. U nastavku teksta su predstavljene najpoznatije plimne elektrane koje koriste različite metode generisanje električne energije iz plime i osjeke [9].

**Rance** (Slika 4.1) – predstavlja prvu elektranu u svijetu izgrađenu da funkcioniše na principu plime i osjeke. Elektrana se nalazi na ušću rijeke Rance, u Brittany, Francuskoj. Otvorena je 26. novembra 1966. i predstavlja drugu najveću plimnu elektranu na svijetu. Elektrana generiše energiju metodom plimne brane koja je duga 700m i u kojoj se nalaze 24 turbine. Instalirana snaga elektrane je 240MW i ona snabdjeva 0.012% energetskog potraživanja Francuske

**Sihwa Lake** (Slika 4.2) – Otvorena 4. avgusta 2011. u Južnoj Koreji. *Sihwa Lake* predstavlja najveću plimnu elektranu na svijetu sa instalisanom snagom od 254 MW i time je posle 45 godina prekinula dominaciju plimne elektrane *Rance* koja je do tada bila elektrana sa najvećom instalisanom snagom. Metod generisanja električne energije je takođe ne principu plimne brane koja u sebi sadrži 10 turbina.

Osim ovih postoje i elektrane manjih snaga kao što je **Jiangxia** plimna elektrana koja se nalazi u Kini sa ukupnom instalisanom snagom od 3.2MW, **Annapolis Royal** plimna elektrana u Kanadi, otvorena 1984. godine sa instalisanom snagom od 20MW, kao i **Uldolmok** plimna elektranu smještenu na Jindo ostrvo u Južnoj Koreji ukupne instalisane snage od 1,5MW. Sve tri plimne elektrane generišu električnu energiju na principu plimne brane.

Jedan od prvih komercijalnih plimnih generatora u svijetu je **SeaGen** (Slika 4.3). Smješten u Strangford Lough u Sjevernoj Irskoj predstavlja plimni generator koji je četiri puta veći od svih ostalih plimnih generatora na svijetu. Postavljen u aprilu 2008 godine, a povezan na energetska mrežu jula 2008. Snaga ovoga generatora je 1.2MW.

## ZAKLJUČAK

Svjetska potražnja za energijom se svakodnevno povećava, a proizvodnja energije, posebno električne energije, predstavlja uslov ekonomskog rasta svakog



Slika 4. 2. Plimna elektrana Sihwa Lake



Slika 4. 3. SeaGen plimni generator

društva. Iskorišćavanje obnovljivih izvora daje jedinu mogućnost da se taj tempo ekonomskog rasta nastavi.

Budući da okeani imaju veliki energetski potencijal, opravdano je tražiti načine kako tu energiju pretvoriti u neki koristan oblik poput električne energije. Iz tog razloga razvijene su brojne tehnologije korištenja energije okeana.

Izazov za budućnost je razvoj novih i poboljšanje postojećih tehnologija za korišćenje energije okeana. Smanjenjem cijene izgradnje postrojenja i povećanjem korisnosti, energija okeana će postati konkurentna i moći će zauzeti ravnopravno mjesto među obnovljivim izvorima energije.

U ovom radu napravljen je pregled plimnih turbina koje se trenutno koriste u svijetu. Ukazano je na njihove karakteristike, prednosti i mane. Isto tako, navedene su i najveće plimne elektrane u svijetu.

## LITERATURA

- [1] P. L. Fraenkel: „*Power from marine currents*”, Proc. Int. Mech. Eng., Vol. 216, Part A: J. Power and Energy, 2001.
- [2] P. L. Fraenkel: „Tidal Current Energy Technologies”, *Ibis*, Vol. 148, Issue Supplement 1, March 2006., pp. 145–151
- [3] S. E. Ben Elghali, ME. H. Benbouzid, J. F. Charpentier: „*Marine Tidal Current Electric Power generation Technology: State of the Art and current Status*”, IEEE International Electric Machines & Drives Conference, 2007. IEMDC '07. pp. 1407–1412
- [4] F. O'Rourke, F. Boyle, A. Reynolds: „*Marine current energy devices: Current status and possible future applications in Ireland*”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, Issue 3, 2010., pp. 1026–1036.
- [5] Shaikh Md. Rubaiyat Tousif, Shaiyek Md. Buland Taslim: „*Tidal Power: An Effective Method of Generating Power*”, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 2, Issue 5, May 2011.
- [6] P. L. Fraenkel: „*Marine current turbines: pioneering the development of marine kinetic energy converters*”, Proc. ImechE., Vol. 221, Part A: J. Power and Energy, DOI: 10.1243/09576509JPE307, 2006.
- [7] D. P. Coiro, S. Figliolia, U. Maisto, S. Melone, F. Grasso : „*Horizontal Axis Tidal Current Turbine: Numerical and Experimental Investigations*”, Offshore wind and other marine renewable energies in mediterranean and european seas – OWEMES, Civitavecchia, Italy, 20–22. April 2006.
- [8] Nasir Mehmood, Zhang Liang, Jawad Khan: „Diffuser Augmented Horizontal Axis Tidal Current Turbines”, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology , Vol. 4, Issue 18, 2012., pp. 3522–3532
- [9] [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_tidal\\_power\\_stations](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_tidal_power_stations)



## REVIEW AND CHARACTERISTICS OF THE TIDAL TURBINE

**Abstract:** The oceans as an enormous source of energy are able to provide a major contribution to the future energy claims. The main oceans source of energy is ocean waves, currents and ocean thermal energy. In this paper is given the review of the tidal turbine – its configurations and characteristics. Also, the methods for electric power generations from marine power are presented. At the end of the paper, the characteristics of the biggest marine power plants are given.

**Key words:** *tidal turbine, tidal power plant, electric power, electrical energy*

