

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ЕНЕРГИЯТА НА МОРСКИТЕ ВЪЛНИ – ПРЕДИМСТВА И НЕДОСТАТЪЦИ

Доц.д-р Нели Димитрова Тризлова

Варненски свободен университет „Черноризец Храбър“ – Варна

Резюме: Морските и океански вълни са чист и екологичен източник на енергия. Разгледани са предимствата на вълновата енергия: висока енергийна плътност и прогнозируемост, зимен пик и балансиране на мрежата. Като предимство може да се посочи и технологичната особеност на някои устройства да отслабват и разпръскват входящата вълнова енергия, с цел спиране на ерозията по бреговата линия. Други пък са проектирани за прикрепване на морски организми като стриди и ракообразни, осигурявайки богата на кислород среда, която ускорява развитието на морската биомаса. Недостатъците са труден монтаж и поддръжка, поради суровата среда, висока цена и кратък живот на устройствата, сложен дизайн, нарушаване областите на живот и миграция на морските обитатели, възникване на подводен шум. Въпреки посочените недостатъци вълновата енергия представлява значителен, неизползван възобновяем ресурс с потенциал да допринесе съществено за глобалните енергийни нужди и целите за декарбонизация.

Ключови думи: енергия от морски вълни, предимства и недостатъци на вълновата енергия

USING THE ENERGY OF SEA WAVES – ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Assoc. Prof. Dr. Neli Dimitrova Trizlova

Varna Free University “Chernorizets Hrabar” – Varna

Abstract: Sea and ocean waves are a clean and environmentally friendly source of energy. The advantages of wave energy are considered: high energy density and predictability, winter peak and grid balancing. As an advantage, the technological feature of some devices to weaken and disperse the incoming wave energy can be mentioned, in order to stop erosion along the coastline. Others are designed to attach marine organisms such as oysters and crustaceans, providing an oxygen-rich environment that accelerates the development of marine biomass. The disadvantages are difficult installation and maintenance due to the harsh environment, high cost and short life of the devices, complex design, disturbance of the living areas and migration of marine inhabitants, occurrence of underwater noise. Despite the aforementioned drawbacks, wave energy represents a significant, untapped renewable resource with the potential to contribute significantly to global energy needs and decarbonization goals.

Key words: energy from sea waves, advantages and disadvantages of wave energy

1. Предимства на вълновата енергия

1.1. Екологични ползи от вълновата енергия

Вълновата енергия е напълно незамърсяващ и възобновяем енергиен източник, който не излъчва парникови газове по време на работа, което я прави привлекателна алтернатива на изкопаемите горива [1]. Енергийният източник (вятър и вода) е безплатен, естествен и неизчерпаем. Оценка показват, че крайбрежните схеми за вълнова енергия имат значително по-ниски емисии на CO₂, SO₂ от строителството и транспорта на материали в сравнение с конвенционалните въглищни, газови и ядрени централи. Тази оценка демонстрира, че вълновата енергия, освен че е "чиста" по отношение на оперативните емисии, предлага и значителни предимства по отношение на жизнения цикъл на емисиите. Това я позиционира като силен принос към смекчаването на изменението на климата и целите за качество на въздуха, осигурявайки ясно екологично предимство пред традиционните енергийни източници.

1.2. Висока енергийна плътност и повишена предсказуемост в сравнение с други възобновяеми източници

Вълновата енергия притежава най-висока енергийна плътност сред възобновяемите енергийни източници [2]. Вълните са по-предсказуеми и надеждни от слънчевата или вятърната енергия. Докато слънчевата и вятърната енергия са прекъсваеми, вълните са постоянно в движение и рядко биват прекъсвани. Вълновата енергия е налична приблизително 90% от времето, в сравнение с 20-30% за вятърната и слънчевата енергия. Превъзходната предсказуемост и по-високата наличност на вълновата енергия са критични оперативни предимства, които могат значително да подобрят стабилността на мрежата. Тази присъща надеждност позиционира вълновата енергия като ценен "балансиращ" ресурс, потенциално намалявайки необходимостта от скъпи широкомащабни батерийни хранилища или диспечерируеми електроцентрали на изкопаеми горива за балансиране на прекъсваемите възобновяеми източници.

1.3. Принос към стабилността на мрежата и допълняемост с съществуващи енергийни източници

Предсказуемостта на вълновата енергия спомага за стабилизирането на електрическите мрежи, отличавайки я от по-малко надеждните слънчеви и вятърни енергийни източници [3,4,5]. Производството на вълнова енергия често достига пик през зимата, когато слънчевата генерация е ниска и цените на електричеството

обикновено са по-високи поради повишеното търсене. Тази положителна корелация с пазарните цени увеличава стойността на вълновата енергия (Нивелирана стойност на енергията - НСЕ) в сравнение с вятърната и слънчевата енергия. Комбинирането на вятърна и вълнова енергия може значително да намали общото време на престой (напр. от 1000 часа/година за офшорна вятърна енергия в Калифорния до само 100 часа/година при комбиниране). Съвместното разполагане на преобразуватели на вълнова енергия с офшорни вятърни паркове може да доведе до съществено намаляване на капиталовите разходи (напр. 7% за вятърна, 40% за вълнова, 12% общо) чрез споделяне на инфраструктура и операции.

Уникалният сезонен модел на генериране на вълнова енергия (зимен пик) и нейният потенциал за съвместно разполагане с офшорна вятърна енергия създават мощна синергия, която адресира ключови предизвикателства при интегрирането на възобновяема енергия, като прекъсваемост и балансиране на мрежата. Тази стратегическа допълняемост повишава цялостната икономическа и оперативна жизнеспособност на диверсифициран портфейл от възобновяеми енергийни източници, правейки вълновата енергия ценен актив отвъд нейния самостоятелен капацитет за генериране.

2. Недостатъци на използване на вълновата енергия

2.1. Технически пречки: Сурова морска среда, структурна цялост и биообрастване

Океаните и моретата са много предизвикателна среда, което прави инсталирането и поддръжката на ПВЕ трудни и скъпи. Осигуряването на структурна цялост през целия жизнен цикъл при работа в сурови среди е основно предизвикателство. Бързата корозия и биообрастването (образуване на организми по изкуствени повърхности) са значителни проблеми, които влошават материалите и изискват контрамерки. Проектирането на устройства за улавяне на вълнова енергия с достатъчен експлоатационен живот, за да оправдае първоначалните капиталови разходи, е трудно. Океанът притежава мощност, по-силна от всеки вятър, и конструкциите се провалят, защото защитната броня е твърде тежка и скъпа [6,7,8].

Екстремните сили и корозивният характер на морската среда представляват фундаментални инженерни предизвикателства, които повишават разходите и ограничават живота на устройствата. Преодоляването им изисква иновативни

материалознания, здрав дизайн и адаптивни технологии , за да се осигури оцеляване и икономическа жизнеспособност.

2.2. Икономически бариери: Високи капиталови и оперативни разходи

ПВЕ в момента са скъпи в сравнение с други възобновяеми източници като слънчевата и вятърната енергия. Първоначалните инсталационни разходи за ПВЕ са високи, вариращи от 2 до 5 милиона щатски долара на мегават. Поддръжката е редовна и скъпа поради предизвикателната морска среда. Разходите за структурно сглобяване са основен принос към нивелираната цена на енергията (НЦЕ), наред с разходите за операции, отвеждане на мощността, закотвяне, основи и поддръжка.

Високите първоначални капиталови разходи и текущите оперативни разходи/разходи за поддръжка са основните икономически бариери пред комерсиализацията на вълновата енергия. Тези разходи се изострят от суровата работна среда и текущата липса на икономии от мащаба, което затруднява пряката конкуренция на вълновата енергия по отношение на НЦЕ с по-зрели технологии като слънчевата и вятърната енергия [9,10,11,12].

2.3. Ограничения в ефективността и сложност на дизайна

ПВЕ обикновено имат ефективност на преобразуване доста под 50%. Въпреки това, някои усъвършенствани ОВК устройства могат да постигнат около 45% ефективност на преобразуване от вълна към мрежа. Хидродинамичният процес на поглъщане на вълнова енергия е теоретично сложен, включващ сложни процеси на дифракция и излъчване на вълни. Няма един предпочитан или "утвърден" дизайн за преобразуватели на вълнова енергия, което води до разпръскване на усилията и ресурсите между много различни технологии. Това отчасти се дължи на разнообразния характер на вълните.

Присъщата хидродинамична сложност на взаимодействието на вълните и липсата на универсално оптимален дизайн на ПВЕ допринасят за по-ниски средни ефективности и фрагментирани усилия за научноизследователска и развойна дейност. Тази липса на стандартизация и зрели пътища за проектиране затруднява постигането на бързи намаления на разходите чрез масово производство и опростени вериги за доставки, за разлика от слънчевите панели или вятърните турбини[13,14,15,16].

2.4. Регулаторни, разрешителни и верижни препятствия

Крехкият характер на морското биоразнообразие и необходимостта от опазване на околната среда означават, че съоръженията за вълнова енергия са изправени пред по-строги разпоредби относно размера и местоположението. Потенциалните отрицателни въздействия върху околната среда (напр. намеса в миграционните пътища на морските животни, малки смущения на морското дъно от котви за закотвяне, визуални въздействия, подводен шум) налагат внимателно разрешаване и екологични оценки. Съществува деликатен баланс при споделянето на морски зони с други дейности, като риболов. Предизвикателствата по веригата за доставки, като бавния напредък в строителството от корабостроителниците и липсата на подходящо оборудване (напр. големи кранове), възпрепятстват развитието на проекта [17].

Отвъд техническите и икономическите предизвикателства, регулаторните сложности, екологичните опасения и зараждащите се вериги за доставки създават значителни нетехнически бариери. Тези фактори допринасят за по-дълги срокове на проектите, по-високи разходи за развитие и трудности при мащабирането, дори за обещаващи технологии, както се вижда от предизвикателствата, пред които е изправена офшорната вятърна енергия в България.

3. Екологични съображения при проектите за вълнова енергия

3.1. Потенциални въздействия върху морските екосистеми и дивата природа

Съществуват опасения относно потенциална намеса в миграционните пътища на морските животни, малки смущения на морското дъно от котви за закотвяне и въздействието върху морския живот от шума. Специфични типове ПВЕ, като ОВК и преливащи устройства, повдигат опасения относно улавянето на морски организми в камери или резервоари, или сблъсък с бавно движещи се турбини. Дългосрочните ефекти от оползотворяването на вълновата енергия върху морския живот в момента са неясни и изискват допълнителни проучвания. Въпреки че вълновата енергия е по същество чиста по отношение на емисиите, нейното физическо присъствие и експлоатация в морската среда въвеждат локализирани въздействия. Неясните ефекти подчертават пропуск в знанията, който налага продължаващ екологичен мониторинг и изследвания, за да се осигури устойчиво разполагане и да се отговори на опасенията на заинтересованите страни [18,19,20].

3.2. Опасения относно шума, визуалното въздействие и промените в местообитанията

Генерирането на шум от ПВЕ като цяло се очаква да бъде ниско, потенциално по-ниско от шума на разбиващите се вълни, а визуалното въздействие е минимално, с изключение на брегово монтираните устройства. Въпреки това, подводният шум от операциите и визуалните въздействия, особено върху туризма, остават потенциални проблеми. Проектите за вълнова енергия, интегрирани във вълноломи, могат да осигурят брегова защита, но също така могат да доведат до промени в бреговата линия.

3.3. Потенциал за брегова защита и създаване на местообитания

Някои конструкции на ПВЕ, като устройствата за отслабване на вълните (WADs), са проектирани не само за генериране на енергия, но и за отслабване и разпръскване на входящата вълнова енергия, с цел спиране на ерозията по бреговата линия. Тези устройства могат да пренасочат част от енергията за стабилизиране на отделни устройства и масиви, както и да изпомпват богати седименти към буферната зона между масивите и плажа, което води до естествено възстановяване на бреговата линия и мощно смекчаване на ерозията. WADs са рН неутрални и са проектирани за прикрепване на морски организми като стриди и ракообразни, осигурявайки богата на кислород среда, която ускорява развитието на морската биомаса.

Някои ПВЕ могат да намалят вълновото налягане от бури и да помогнат за защитата на бреговите линии. Тази многофункционалност на определени ПВЕ, които предлагат съпътстващи ползи като брегова защита и създаване на местообитания, може значително да подобри общественото приемане и да оправдае инвестициите. Това разширява стойностното предложение на вълновата енергия отвъд простото производство на електричество, позиционирайки я като част от по-широки решения за управление на крайбрежието[21,22,23,24].

4. Заключение

Вълновата енергия представлява значителен, неизползван възобновяем ресурс с потенциал да допринесе съществено за глобалните енергийни нужди и целите за декарбонизация. Нейните основни предимства включват нулеви оперативни емисии на парникови газове, висока енергийна плътност и забележителна предсказуемост и надеждност в сравнение със слънчевата и вятърната енергия. Тази предсказуемост е

особено ценна за стабилността на електрическата мрежа, тъй като вълновата енергия често достига пик през зимните месеци, допълвайки сезонните колебания на други възобновяеми източници и осигурявайки по-висока пазарна стойност. Освен това, съвместното разполагане с офшорни вятърни паркове предлага значителни икономии на разходи чрез споделяне на инфраструктура. Някои конструкции на ПВЕ предлагат и съпътстващи ползи като брегова защита и създаване на морски местообитания, което повишава тяхната цялостна стойност.

Въпреки огромния потенциал, комерсиализацията на вълновата енергия е изправена пред значителни предизвикателства. Суровата морска среда налага високи капиталови разходи за здрави конструкции, скъпа поддръжка и проблеми като корозия и биообрастване, които влияят на дълготрайността на устройствата. Ефективността на преобразуване все още е под 50% за повечето устройства, а хидродинамичната сложност и липсата на един-единствен, универсално оптимален дизайн забавят стандартизацията и масовото производство. Регулаторните и разрешителните пречки, заедно с незрелите вериги за доставки, допълнително възпрепятстват бързото развитие.

ЛИТЕРАТУРА:

1. tethys.pnnl.gov, Wave | Tethys
2. pnnl.gov, Efficiency Analysis of the Wave-to-Grid Energy Conversion of the UniWave200 Wave Energy Converter | Journal Article | PNNL
3. theliquidgrid.com, Wave Energy Converters - The Liquid Grid
4. lombardodier.com, What is wave energy and how much potential does it have? | Lombard Odier
5. energy.gov, CalWave Successfully Completes Open-Water Pilot Project - Department of Energy
6. energydigital.com, Top 10: Wave and Tidal Projects - Energy Digital Magazine
7. wedusea.eu, Wave energy around the world - WEDUSEA
8. eia.gov, Wave power - U.S. Energy Information Administration (EIA)
9. energy.gov, Powering the Blue Economy: Exploring Opportunities for Marine Renewable Energy in Maritime Markets
10. e360.yale.edu, U.S. Support and New Investments Buoy Hopes for Marine Energy - Yale e360

11. renewableenergyworld.com, Eco Wave Power is one step closer to integrating its Portugal wave energy project
12. offshore-energy.biz, Duo looking to drill exploration well offshore Bulgaria by year-end
13. undecidedmf.com, How Waves Could Quietly Overtake Solar & Wind - Undecided with Matt Ferrell
14. bluecluster.be, Offshore wind potential in the Bulgarian Black Sea | Blue Cluster
15. unfccc.int, Eco Wave Power: Generating Clean Energy From the Ocean | Israel, Gibraltar | UNFCCC
16. blog.sintef.com, Wave vs. Wind and Solar - SINTEF Blog
17. data.marine.copernicus.eu, Black Sea Waves Analysis and Forecast - Copernicus Marine Data Store
18. researchgate.net, (PDF) On the wave energy potential of Western Black Sea shelf - ResearchGate
19. ejournals.epublishing.ekt.gr, Wave Energy Potential in the Mediterranean and Black Seas: A 15-Year Hindcast and Ocean Current Influence|Technical Annals - eJournals
20. docs.nrel.gov, Expert Elicitation for Wave Energy LCOE Futures - Publications - NREL
21. coherentmarketinsights.com, Wave Energy Converter Market Size and Forecast, 2025-2032
22. docs.nrel.gov, Cost of Wind Energy Review: 2024 Edition - Publications
23. ember-energy.org, Wind sector challenges are blowing over - European Electricity Review 2025 | Ember
24. lazard.com, Lazard LCOE+ (June 2024)