Analiza uklanjanja odobalnih postrojenja na Jadranu u odnosu na prenamjenu u odobalnu vjetroelektranu

Zelenko, Iva

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:499694

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij naftnog rudarstva

ANALIZA UKLANJANJA ODOBALNIH POSTROJENJA NA JADRANU U ODNOSU NA PRENAMJENU U ODOBALNU VJETROELEKTRANU

Diplomski rad

Iva Zelenko

N 256

Zagreb, 2020.

Sveučilište u Zagrebu Diplomski rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

ANALIZA UKLANJANJA ODOBALNIH POSTROJENJA NA JADRANU U ODNOSU NA PRENAMJENU U ODOBALNU VJETROELEKTRANU

IVA ZELENKO

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku

Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Uklanjanje i prenamjena plinskih odobalnih postrojenja na Jadranu smanjenjem proizvodnje postaju stvarna mogućnost i potreba. Uklanjanje plinskih postrojenja istražena je i razvijena tehnologija, no dosada nije bilo potrebe za njenom primjenom na fiksnim platformama u Jadranu. S druge strane, jedna od mogućnosti prenamjene platformi je prenamjena u odobalnu vjetroelektranu, što do sada nije realizirano nigdje u svijetu. Razmatranje obiju mogućnosti uključuje niz nepoznatih i nedostupnih informacija, no dosadašnja iskustva sa sličnim tehnologijama i na sličnim slučajevima daju donekle realnu analizu primjene obiju mogućnosti.

Ključne riječi: odobalne vjetroelektrane, prenamjena platformi, plinska infrastruktura na Jadranu, baterijski sustav, CPPA ugovor

Diplomski rad sadrži: 69 stranica, 21 tablica, 32 slike, 4 grafa i 23 reference.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta,

Pierottijeva 6, Zagreb.

Voditelj: doc. dr.sc. Luka Perković, docent RGNF

Ocjenjivači: doc. dr.sc. Luka Perković, docent RGNF

prof. dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, redovna profesorica

izv. prof. dr. sc. Tomislav Kurevija, izvanredni profesor

Datum obrane: 14. veljače 2020., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology

and Petroleum Engineering

Master's Thesis

ANALYSIS OF THE REMOVAL OF OFFSHORE FACILITIES IN THE ADRIATIC AS IT RELATES TO THE REPURPOSING OF AN OFFSHORE WIND POWER PLANT

IVA ZELENKO

Thesis completed at: University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroeleum Engineering

Department of petroleum and gas engineering and energy

Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

The removal and repurposing of gas offshore facilities have become possible and necessary due to decrease in production. The removal of gas offshore facilities is a researched and developed technology, however there has, so far, been no need to utilize it on fixed platforms in the Adriatic. On the other hand, one of the possibilities for repurposing platforms is to convert them into offshore wind power plants, which hasn't been done anywhere in the world. Consideration of both possibilities includes unknown and unavailable information, however existing experiences with similar technologies and in similar cases provide a somewhat realistic analysis of the application of both possibilities.

Key words: offshore wind farm, offshore decommissioning, Adriatic gas infrastructure, battery storage, CPPA

Master's thesis contains: 69 pages, 21 tables, 32 pictures, 4 graphs and 23 references.

Original language: Croatian

Thesis archived at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroeleum Engineering,

Pierottijeva 6, Zagreb.

Supervisor: Assistant Professor Luka Perković, PhD

Reviewers: Assistant Professor Luka Perković, PhD

Full Professor Daria Karasalihović Sedlar, PhD

Associate Professor Tomislav Kurevija, PhD

Date of defense: February 14, 2020., Faculty of Mining, Geology and Petroeleum Engineering, University of Zagreb

Zahvaljujem se mentoru dr. sc. Luki Perkoviću na pomoći pruženoj tijekom izrade ovog rada.

Hvala roditeljima na beskrajnoj ljubavi, podršci i razumijevanju.
Hvala Nevenu, Tinu i Janu na beskrajnom strpljenju.

Hvala Edi, Nives i Leu.

SADRŽAJ

POPIS TABLICA VI

POPIS SLIKA VII

POPIS GRAFOVA IX

1. UVOD 1

2. NAPUŠTANJE I UKLANJANJE ODOBALNIH NAFTNIH I PLINSKIH POSTROJENJA 3

2.1. NAPUŠTANJE I UKLANJANJE ODOBALNIH PLINSKIH POSTROJENJA NA JADRANU 5

2.1.1. Pripremni radovi uklanjanja 13

2.1.2. Uklanjanje nadgrađa 14

2.1.3. Uklanjanje podvodnog dijela platforme 14

2.1.4. Transport dijelova platforme do kopna 15

2.2. EKONOMSKA ANALIZA NAPUŠTANJA I UKLANJANJA ODOBALNIH PLINSKIH POSTROJENJA NA JADRANU 15

3. ODOBALNE VJETROELEKTRANE 19

3.1. RAZVOJ ODOBALNIH VJETROELEKTRANA 21

3.2. PRIMJER NAFTNIH KOMPANIJA KOJE ULAŽU U ODOBALNE VJETROELEKTRANE 28

3.3. POTENCIJAL ENERGIJE VJETRA NA JADRANU 31

4. ANALIZA MOGUĆNOSTI PRENAMJENE PLINSKOG POSTROJENJA NA JADRANU U ODOBALNU VJETROELEKTRANU 34

4.1. METODOLOGIJA IZRAČUNA 34

4.1.1. Računalni program windPRO 34

4.1.2. Računalni program EnergyPLAN 35

4.2. ANALIZA SLUČAJA 36

4.1.1. Opis platformi koje su razmatrane za prenamjenu u odobalnu vjetroelektranu 37

4.1.2. Prijedlog iskorištavanja električne energije proizvedene iz odobalne vjetroelektrane 39

4.3. ANALIZA BRZINE VJETRA NA ODABRANIM LOKACIJAMA 40

4.4. ANALIZA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ ODOBALNE VJETROELEKTRANE 44

4.4.1. Analiza potencijalne proizvodnje električne energije prenamjenom svih proizvodnih postrojenja na Jadranu u odobalnu vjetroelektranu 48

4.5. ANALIZA MOGUĆNOSTI SKLADIŠTENJA PROIZVEDENE ELEKTRIČNE ENERGIJE 50

4.5.1. Natrij-ionski baterijski sustav 50

4.6. EKONOMSKA ANALIZA PRENAMJENE ODOBALNOG POSTROJENJA NA JADRANU U ODOBALNU VJETROELEKTRANU 55

4.6.1. Analiza profitabilnosti skladišnog baterijskog sustava 62

5. EKONOMSKA ANALIZA UKLANJANJA PLATFORME NA JADRANU U ODNOSU NA PRENAMJENU U ODOBALNU VJETROELEKTRANU 63

6. ZAKLJUČAK 66

7. LITERATURA 67

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Platforme u hrvatskim teritorijalnim vodama 7
Tablica 2-2. Troškovi napuštanja i uklanjanja platformi na Jadranu 17
Tablica 3-1. Ulaganja naftnih kompanija u obnovljive izvore energije do kraja 2018. godine – 0 = nema aktivnosti, 1 = zabilježena aktivnost..... 28
Tablica 4-1. Karakteristike odabranih platformi 38
Tablica 4-2. Analiza vjetra, temperatura i vlažnosti zraka na odabranim lokacijama..... 42
Tablica 4-3. Godišnja pretpostavljena proizvodnja energije iz odobalne vjetroelektrane na Jadranu..... 45
Tablica 4-4. Mjesečna proizvodnja energije iz odobalne vjetroelektrane za 2018. godinu 47
Tablica 4-5. Usporedba proizvodnje energije iz odobalne vjetroelektrane za različita razdoblja promatranja 47
Tablica 4-6. Godišnja proizvodnja električne energije prenamjenom svih postojećih platformi 49
Tablica 4-7. Usporedba natrij-ionske i litij-ionske tehnologije..... 51
Tablica 4-8. Prikaz odabranog skladišnog baterijskog sustava na temelju prikupljenih i proračunatih podataka..... 52
Tablica 4-9. Odnos proizvodnje iz vjetroelektrane snage 90 MW i potražnje iz rafinerije Rijeka..... 53
Tablica 4-10. Energetski balans proizvodnje, potražnje, baterijskog sustava i uvoza 53
Tablica 4-11. Energetski balans nakon zadovoljenja potražnje 54
Tablica 4-12. Napunjenost baterijskog sustava 54
Tablica 4-13. Ekonomska analiza predloženih odobalnih vjetroelektrana..... 57
Tablica 4-14. Ekonomska analiza skladišnog baterijskog sustava..... 59
Tablica 4-15. Ekonomska analiza isplativosti odobalne vjetroelektrane snage 13,5 MW .. 60
Tablica 4-16. Ekonomska analiza isplativosti odobalne vjetroelektrane snage 90 MW i skladišnog baterijskog sustava kapaciteta 350 MWh..... 61
Tablica 5-1. Usporedba platformi i konačna procjena troškova uklanjanja 63
Tablica 5-2. Usporedba troškova uklanjanja platformi i prenamjene u odobalnu vjetroelektranu..... 64

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Eksploatacijska polja u teritorijalnim vodama Republike Hrvatske 6
Slika 2-2. Udio troškova napuštanja i uklanjanja platforme 17
Slika 2-3. Vremenski prikaz izvođenja operacija postupka napuštanja i uklanjanja platforme 18
Slika 3-1. Prikaz podvodne konstrukcije naftnih i plinskih platformi te odobalnih vjetroelektrana 20
Slika 3-2. Razvoj odobalnih vjetroagregata 22
Slika 3-3. Razvoj odobalnih vjetroagregata od 1991. do 2018. godine 22
Slika 3-4. Razvoj odobalnih vjetroelektrana od 1991. do 2018. godine 23
Slika 3-5. Razvoj kapaciteta odobalnih vjetroelektrana u Europi po državama 23
Slika 3-6. Ukupno postavljeni kapaciteti odobalnih vjetroelektrana u svijetu do 2018. godine i predviđanja do 2040. godine 24
Slika 3-7. Faktor kapaciteta odobalnih vjetroelektrana u UK 25
Slika 3-8. Krivulja trajanja opterećenja odobalnih vjetroelektrana u UK 25
Slika 3-9. Krivulja trajanja opterećenja odobalnih vjetroelektrana u Njemačkoj 26
Slika 3-10. Faktor kapaciteta odobalnih vjetroelektrana u Danskoj 26
Slika 3-11. Krivulja trajanja opterećenja odobalnih vjetroelektrana u Danskoj 27
Slika 3-12. Krivulja trajanja opterećenja odobalnih vjetroelektrana u Belgiji 27
Slika 3-13. Vlasnički udio u odobalne vjetroelektrane do kraja 2018. godine 30
Slika 3-14. Srednja godišnja brzina vjetra na 10 i na 80 m iznad tla 31
Slika 3-15. Srednja brzina vjetra na području cijele Hrvatske 32
Slika 3-16. Srednja brzina vjetra na lokaciji platforme Ivana A 32
Slika 4-1. Sučelje računalnog programa windPRO 35
Slika 4-2. Sučelje računalnog programa EnergyPLAN 36
Slika 4-3. Platforme Ivana A, Annamaria A i Katarina 38
Slika 4-4. Odobalna postrojenja na Jadranu 39
Slika 4-5. Primjer sučelja programa za praćenje podataka sa mjerne postaje Vaisala 40
Slika 4-6. Sučelje programa windPRO, modula za obradu podataka, primjer Ivana A 41
Slika 4-7. Analiza brzine vjetra na platformi Ivana A 42
Slika 4-8. Analiza vjetra na platformi Annamaria A 43
Slika 4-9. Analiza brzine vjetra na platformi Katarina 43
Slika 4-10. Krivulja snage odabranog vjetroagregata Siemens Gamesa SG 4.5-145 44
Slika 4-11. Postavljanje Siemens vjetroagregata na monopod 45

Slika 4-12. Konstrukcija natrij-ionske baterije 51
Slika 4-13. Količina potpisanih CPPA ugovora od 2013. do 2018. godine 58

POPIS GRAFOVA

Graf 4-1. Prikaz proizvodnje energije iz odobalne vjetroelektrane na Jadranu za 2018. godinu 46
Graf 4-2. Usporedba proizvodnje energije iz odobalne vjetroelektrane za različita razdoblja promatranja 48
Graf 4-3. Prikaz proizvodnje, potrošnje, načina rada baterijskog sustava, uvoza i izvoza (otkupa i prodaje) električne energije [GWh] 55
Graf 4-4. Odnos profitabilnosti baterije i smanjenja uvoza 62

1. UVOD

Padom proizvodnje plina na plinskim poljima u Jadranu te smanjenjem dobiti i povećanjem troškova održavanja odobalnih postrojenja u razmatranje ulaze napuštanje i uklanjanje plinskih postrojenja ili njihova prenamjena. Bilo koji od tih zahvata predstavlja tehnički i financijski značajan izazov koji do sada nije primijenjen na fiksnim platformama u Jadranu.

Uklanjanje platformi nakon eksploatacije ili završetkom radnog vijeka platforme uobičajen je postupak koji se već dugi niz godina primjenjuje u svijetu, a nastavak korištenja platformi, koje su statički i tehnički ispravne, dozvoljeno je ukoliko im se nađe legitimna svrha. Razvojem novih tehnologija i unaprjeđenjem postojećih za nastavak korištenja platformi pronalaze se nova, inovativna rješenja, od kojih pojedina nisu nigdje u svijetu do sada primijenjena.

Jedno od takvih rješenja je povezivanje postojećih tehnologija obnovljivih izvora energije, kao što su odobalni vjetroagregati, sa mogućnošću prenamjene platformi. Takva sinergija istražuje se duži niz godina te je zanimljiva zbog činjenice da su temelja odobalnih vjetroagregata vrlo slična postoljima nadgrađa platformi stoga je takva prenamjena prilično jednostavna i logična, a mogla bi smanjiti troškove ulaganja u odobalne vjetroelektrane.

S obzirom da se nigdje na Jadranu ne vrše mjerenja svih podataka o vjetru koja bi bila adekvatna za detaljnu analizu isplativosti izgradnje odobalne vjetroelektrane ili prenamjene postojećih platformi, kao referentna i najpreciznija mjerenja uzeta su mjerenja dobivena od strane tvrtke INA Jadran d.o.o. isključivo za potrebu izrade ovog diplomskog rada. Za detaljnu proizvodnu i financijsku analizu korišteni su četverogodišnji minutni podaci o brzini i smjeru vjetra te temperaturi i vlažnosti zraka koji se mjere na platformama Ivana A, Annamaria A i Katarina.

Analizom i obradom podataka u računalnom programu windPRO dobivena je proizvodnja na satnoj bazi za sve tri lokacije, a daljnjom analizom u programu MS Excel razrađena je mogućnost prenamjene svih postojećih plinskih postrojenja u hrvatskom dijelu Jadrana u odobalnu vjetroelektranu. Dodatno su od tvrtke INA d.d. dobiveni podaci o godišnjoj potrošnji električne energije u Sektoru rafinerije nafte Rijeka, pa je u programu EnergyPLAN razrađena mogućnost opskrbe rafinerije električnom energijom uz primjenu baterijskog sustava.

Kroz financijsku analizu razrađena je mogućnost ulaganja u odobalnu vjetroelektranu snage 13.5 MW te vjetroelektranu snage 90 MW uz dodatni baterijski sustav kapaciteta 350 MWh. S obzirom da se brzina i smjer vjetra mjeri samo na tri lokacije, one su u konačnici razmatrane kao relevantne lokacije za prenamjenu platformi te je za njih izrađena financijska analiza usporedbe prenamjene u odnosu na napuštanje i uklanjanje.

Kao jedna od mogućnosti načina prodaje proizvedene električne energije u radu se predlaže sklapanje Ugovora o otkupu električne energije između dviju kompanija (CPPA – Corporate Power Purchase Agreement). Predložen ugovor uobičajen je u svijetu i vrlo često se primjenjuje kod velikih proizvođača obnovljivih izvora energije i industrijskih ili velikih komercijalnih tvrtki, no u Hrvatskoj kao takav još nije potpisan.

2. NAPUŠTANJE I UKLANJANJE ODOBALNIH NAFTNIH I PLINSKIH POSTROJENJA

Napuštanje i uklanjanje odobalnih naftnih i plinskih postrojenja, platformi, predstavlja granu naftne industrije koja se konstantno mijenja i tehnološki razvija. Prestanak proizvodnje i starost postrojenja dva su glavna razloga pristupanju procesu napuštanja postrojenja, koji predstavlja značajan izazov i odgovornost za tvrtke vlasnike postrojenja, operatere, ali i samu državu u kojoj se odobalno postrojenje nalazi.

U cijelom svijetu danas je aktivno oko 10000 odobalnih postrojenja različitih namjena, konstrukcija i starosti. Prosječni vijek rada odobalnih postrojenja je 20 do 30 godina, a smještena su na dubinama mora od 50 do više od 2000 metara s masama nadgrađa i više od 50000 tona.

Sam proces napuštanja i uklanjanja platforme predstavlja razne izazove u svim fazama. Značajan izazov predstavljaju vremenski i morski uvjeti koji u većem ili manjem obimu mogu utjecati na vremenski tijek napuštanja platforme, što izravno utječe na ekonomsku analizu napuštanja.

Metode uklanjanja platformi desetljećima su uglavnom iste, a razvojem tehnologije ponešto se mijenja i unapređuje način izvođenja određenih metoda. Prilikom uklanjanja platformi najčešće se primjenjuju tri metode:

- „piece small“ metoda kod koje se na samoj odobalnoj lokaciji platforma reže na manje dijelove težine do 20 tona koji se nakon toga brodovima prevoze do obale,
- „piece large“ metoda kod koje se cijeli moduli platforme, težine 20-5000 tona, uklanjaju obrnutim redoslijedom od načina postavljanja te se pomoću dizalica postavljaju na barže i prevoze do obale,
- „single lift“ metoda kod koje se odvaja cijela platforma u jednom dijelu te se prevozi do obale, gdje se reže u komade; do sada najveća platforma uklonjena na ovaj način težila je 48000 tona. (Karasalihović Sedlar, 2019.)

Napuštanje i uklanjanje odobalnih postrojenja najčešće rezultira slijedećim:

- potpuno uklanjanje strukture i dobivanje metalnog i drugog otpada,
- prenamjena strukture za druge energetske objekte,
- korištenje dijela ili cijele strukture podmorja kao umjetni greben,

- prenamjena strukture u ribogojilište,
- prenamjena strukture u vojni ili zatvorski objekt,
- prenamjena strukture u turističke svrhe kao što su ronjenje, ribolov ili drugi marinski sportovi.

  Daljnje korištenje infrastrukture u području energetike moguće je na slijedeće načine:

- proizvodnja električne energije – prenamjena samih odobalnih postrojenja u vjetroelektranu ili izgradnja vjetroelektrane u blizini postrojenja te njeno priključenje na transformator smješten na platformi,
- proizvodnja vodika procesom elektrolize na samoj platformi izravnim korištenjem električne energije koja se proizvodi na odobalnoj vjetroelektrani,
- proizvodnja električne energije i vodika koja podrazumijeva proizvodnju električne energije iz odobalne vjetroelektrane i proizvodnju vodika u postrojenju za elektrolizu smještenom na platformi, uz istovremeno transportiranje viška proizvedenih energenata do kopna. Električna energija prenosi se visokonaponskim podmorskim kabelima, a proizvedeni vodik može se transportirati cjevovodima ili skladištiti u napuštenim ležištima plina,
- proizvodnja sintetskog prirodnog plina – proizvodnja metana Sabatierovom reakcijom pomoću ugljikovog dioksida i vodika u egzotermnoj reakciji, što iziskuje dobavu ugljikovog dioksida, izgradnju vjetroelektrane te procesne jedinice za elektrolizu i metanizaciju,
- skladištenje plina u napuštenim plinskim ležištima, odnosno njihova prenamjena u sezonska plinska skladišta. (Klabučar, 2018.)

Procesu napuštanja i uklanjanja pristupa se vrlo detaljno kako bi se izbjegla opasnost od bilo kakvih neželjenih posljedica i onečišćenja te kako bi se izbjegli bilo kakvi značajniji dodatni troškovi u odnosu od predviđenih. Iako se u svojim dijelovima može razlikovati, ovisno o tipu, veličini te lokaciji samog postrojenja, proces napuštanja i uklanja uključuje slijedeće:

- planiranje i upravljanje projektom,
- tehničko-tehnološka i ekonomska analiza,
- planiranje svih radova,
- prikupljanje dozvola za sve radove,

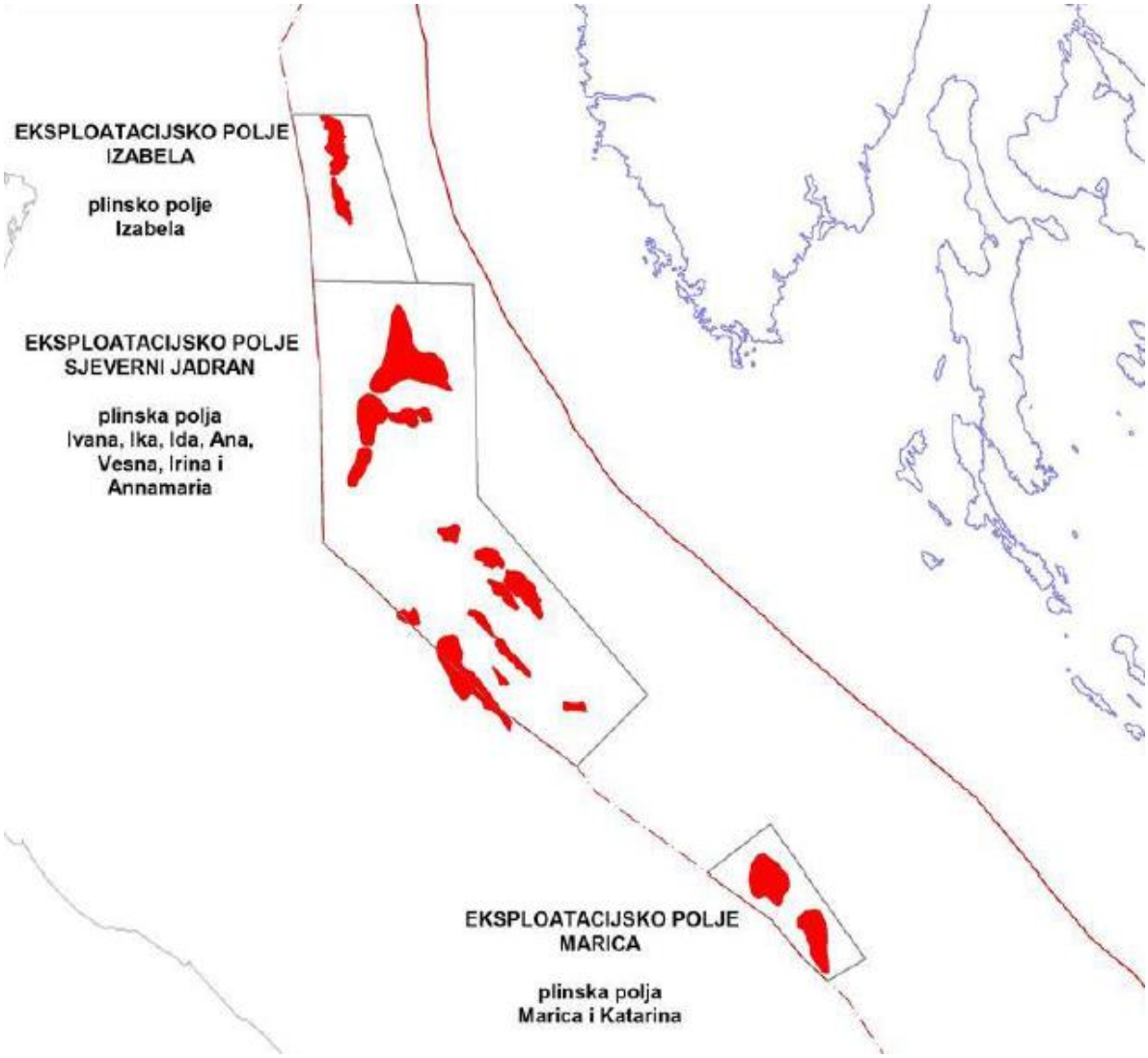
- cementiranje čepa i napuštanje bušotina,
- uklanjanje nadgrađa i procesne opreme,
- uklanjanje podmorskog dijela,
- uklanjanje cjevovoda,
- zbrinjavanje i recikliranje materijala,
- čišćenje i sanacija terena.

Dosadašnji svjetski trendovi upućuju na rast napuštanja i uklanjanja odobalnih postrojenja za 6.93% u razdoblju od 2019. do 2023. godine (Izvor: „Offshore Decommissioning Market Research Report“, Market Research Future, 2019.). U navedenom razdoblju predviđa se napuštanje više od 600 projekata diljem svijeta, uz najveći trend napuštanja u Sjevernom moru i Meksičkom zaljevu.

Cijena napuštanja i uklanjanja odobalnih postrojenja na svjetskoj razini 2015. godine iznosila je oko 2.16 milijardi eura, a procjenjuje se da će do 2040. godine taj iznos narasti na 11.7 milijardi eura godišnje, što je porast od 540%, uz predviđanje da će do 2040. godine broj uklonjenih postrojenja iznositi više od 2000 (Izvor: „IHS Markit Offshore Decommissioning Study Report, IHS Markit, 2016).

2.1. NAPUŠTANJE I UKLANJANJE ODOBALNIH PLINSKIH POSTROJENJA NA JADRANU

U teritorijalnim vodama Republike Hrvatske istraživanje je započelo prije više od 40 godina a danas se proizvodnja plina izvodi na tri eksploatacijska polja: eksploatacijsko polje Izabela, eksploatacijsko polje Sjeverni Jadran i eksploatacijsko polje Marica.



Slika 2-1. Eksploatacijska polja u teritorijalnim vodama Republike Hrvatske (Izvor: AZU)

U sklopu navedenih eksploatacijskih polja nalazi se 19 proizvodnih platformi i jedna kompresorska platforma, a do danas je izrađeno 128 istražnih i 51 proizvodna bušotina.

Tablica 2-1. Platforme u hrvatskim teritorijalnim vodama (Izvor: Časopis Nafta i plin, 2019.)

Naziv platforme	Naziv polja	Godina otkrića polja	Početak proizvodnje	Broj bušotina	Tip platforme	Opis	Visina platforme iznad mora [m]	Ukupna težina platforme [t]	Težina nadgrađa [t]	Dubina mora [m]	Udaljenost od obale [km]
Izabela Jug	Plinsko polje Izabela	2004	2014	3	Proizvodna platforma	Na 4 noge, 4 palube, na 37 m dubine	-	-	-	37	60
Izabela Sjever			2014	3	Proizvodna platforma	Na 3 noge, 3 palube, na 35 m dubine	-	-	-	37	60
Ivana A	Plinsko polje Ivana	1973	22.10.1999.	5	Centralna sabirna proizvodna platforma	Na 4 noge, 3 palube sa stalnom posadom i radno-stambenim prostorom za 37 osoba	34,1	2442	1219	42,3	36
Ivana K			03.11.2006.		Kompresorska platforma	Na 4 noge, 3 procesne palube, povezana mostom sa Ivana A, na 42 m dubine	23,5	3376	1182	42,3	38,5

Naziv platforme	Naziv polja	Godina otkrića polja	Početak proizvodnje	Broj bušotina	Tip platforme	Opis	Visina platforme iznad mora [m]	Ukupna težina platforme [t]	Težina nadgrađa [t]	Dubina mora [m]	Udaljenost od obale [km]
Ivana B	Plinsko polje Ivana	1973	22.05.2001.	3	Satelitska proizvodna platforma	Tripod, na 43 m dubine, bez posade, bez stabilne proizvodnje el. energije	18	725	475	41,6	47,2
Ivana C			31.05.2006.	1	Satelitska proizvodna platforma povezana sa Ivanom B	Monopod sa palubom na 3 etaže i pristan za brodove	17,5	537	454	39,8	53,4
Ivana D			28.01.2001.	1	Satelitska platforma povezana sa Ivanom A	Monopod sa palubom na 3 etaže i pristan za brodove	18	552	464	40,8	39,2
Ivana E			10.12.2000.	3	Satelitska proizvodna platforma	Tripod sa palubom na 3 etaže i pristan za brodove, bez posade i bez stabilne proizvodnje el. energije	17,5	697	578	41	41,8

Naziv platforme	Naziv polja	Godina otkrića polja	Početak proizvodnje	Broj bušotina	Tip platforme	Opis	Visina platforme iznad mora [m]	Ukupna težina platforme [t]	Težina nadgrađa [t]	Dubina mora [m]	Udaljenost od obale [km]
Ika A	Plinsko polje Ika	1978	16.03.2006.	4	Centralna proizvodna platforma polja Ida i Ika	Na 4 noge sa 3 palube, na 59 m dubine, bez posade, potpuno automatizirana	28,5	1965	1112	59,5	55,6
Ika B			02.05.2006.	4	Proizvodna platforma	Monopod na tri radne palube i pristanom za brodove, bez posade, na 55 m dubine	19	637	107	55,6	54,7
Ika JZ	Plinsko polje Ika JZ	2008	14.11.2014.	4	Proizvodna platforma	Tripod sa tri palube, bez posade, potpuno automatizirana	21,2	1284	547	64	60,6
Ida A	Plinsko polje Ida	1980	26.02.2006.	1	Proizvodna platforma	Monopod, sa procesnom palubom i pristanom za brodove, bez posade, na 46 m dubine	19	625	522	46,8	47,5

Naziv platforme	Naziv polja	Godina otkrića polja	Početak proizvodnje	Broj bušotina	Tip platforme	Opis	Visina platforme iznad mora [m]	Ukupna težina platforme [t]	Težina nadgrađa [t]	Dubina mora [m]	Udaljenost od obale [km]
Ida B	Plinsko polje Ida	1980	12.02.2006.	2	Proizvodna platforma	Monopod sa 3 radne palube i pristanom na brodove, bez posade, na 52 m dubine	19	654	548	53,3	49
Ida C			07.02.2006.	3	Proizvodna platforma	Monopod sa 3 radne palube i pristanom na brodove, bez posade, na 51 m dubine	19,4	654	548	51,8	46,6
Annamaria A	Plinsko polje Anamaria	1979	03.11.2009.	6	Proizvodna platforma	Na 4 noge, sa procesnim palubama na 5 etaža i stambenim dijelom za 19 osoba, pristan za brodove i helidrom	41,3	4218	2144	57,3	61,4
Irina	Plinsko polje Irina	1985	18.03.2009.	1	Proizvodna platforma	Monopod bez posade	22,9	929	209	46,2	48,8

Naziv platforme	Naziv polja	Godina otkrića polja	Početak proizvodnje	Broj bušotina	Tip platforme	Opis	Visina platforme iznad mora [m]	Ukupna težina platforme [t]	Težina nadgrađa [t]	Dubina mora [m]	Udaljenost od obale [km]
Ana	Plinsko polje Ana	2006	17.12.2008.	2	Proizvodna platforma	Monopod bez posade	22,9	1030	215	43,6	43,8
Vesna	Plinsko polje Vesna	2006	05.02.2009.	1	Proizvodna platforma	Monopod bez posade	22,9	976	215	44,3	40,8
Marica	Plinsko polje Marica	2000	24.11.2004.	3	Proizvodna platforma	Centralna platforma na 4 noge	29,4	1987	1083	68,5	52,7
Katarina	Plinsko polje Katarina	2002	11.12.2006.	3	Proizvodna platforma	Platforma na 4 noge	33,4	2462	1212	70	56,5

Odobalna postrojenja u eksploatacijskim poljima hrvatskog Jadrana starosti su između 5 i 20 godina, a prema tipu postrojenja dijele se na monopode, tripode i platforme sa 4 noge. Prema dosadašnjim analizama koje je provela kompanija INAgip d.o.o. prilikom napuštanja i uklanjanja postrojenja u Jadranu predviđene su slijedeće aktivnosti:

- cementacija sa 3-4 cementna čepa i napuštanje bušotine,
- rezanje nadgrađa na mjestu bušotine i transport nadgrađa do kopna,
- rastavljanje nadgrađa s palubama na kopnu,
- ispiranje cjevovoda i ostavljanje na dnu mora kao umjetni greben,
- uklanjanje i transport čelične nosive konstrukcije do kopna,
- rastavljanje čelične nosive konstrukcije na kopnu.

Cijeli proces napuštanja i uklanjanja odobalnog postrojenja na Jadranu uključivati će slijedeće korake:

- Planiranje
- Pripremni radovi za nadgrađe
    - sigurnosne operacije
    - postavljanje podiznih uški
- Pripremni radovi za podvodni dio
    - osiguranje labavih elemenata
    - postavljanje podiznih uški
    - montaža privremene radne platforme
    - preliminarni rezovi na nogama
- Uklanjanje nadgrađa
    - rezanje
    - montiranje podizne opreme
    - podizanje
    - transport
- Uklanjanje podvodnog dijela
    - rezanje
    - montiranje podizne opreme
    - podizanje
    - transport
- Radovi na kopnu

- rastavljanje
- recikliranje ili ponovna upotreba (Fatović, 2016.)

Svi navedeni koraci uklanjanja odobalnih postrojenja na Jadranu ovise o specifičnim tehničko-tehnološkim zahtjevima kao što su: veličina i težina platforme, dubina vode u kojoj se platforma nalazi, strukturni integritet, zbrinjavanje postolja i modula, vremenski uvjeti.

Uobičajena je praksa da se veličina, time i težina, platforme povećavaju proporcionalno s dubinom vode na kojoj se platforma nalazi. Veće platforme tehnički su zahtjevnije za postupak uklanjanja, te radovi traju duže, a samim time su ekonomski skuplje. Kako bi smanjili dodatne nepredviđene troškove i spriječili teške i opasne operacije uklanjanja potrebno je detaljno ispitati strukturni integritet platforme, posebno stanje nogu postolja.

2.1.1. Pripremni radovi uklanjanja

Prije uklanjanja nadgrađa potrebno je izvršiti pripremne radove kojima će se osigurati siguran rad. U tom smislu potrebno je definirati i označiti sigurne prilaze za ljude koji će obavljati uklanjanje, montirati privremenu opremu koja će se upotrebljavati prilikom uklanjanja, izvršiti kontrolu nadgrađa i podvodnog dijela u pogledu eventualnih oštećenja te ukloniti bilo kakve štetne materijale poput azbesta ili zaostalih ugljikovodika kako se ne bi našli u okolini. Dodatno se isušuju i čiste cijevi i spremišta kako bi se uklonili eventualni zaostali ugljikovodici koji bi se prilikom rezanja mogli zapaliti. Ukoliko je zaostale ugljikovodike u nadgrađu planirano ukloniti na kopnu, oprema i cijevi nadgrađa će se prije transporta do kopna začepiti kako ne bi došlo do njihovog istjecanja prilikom transporta.

Nakon ovih operacija slijedi podvodni pregled postrojenja kojeg obavljaju ronioci na manjim dubinama i daljinski upravljano podvodno plovilo bez posade (ROV) na većim dubinama. Potom je potrebno definirati i označiti mjesto na kojem će se obaviti rezanje i odvojiti nadgrađe, a zatim se mjesto reza vodenim mlazom čisti od nakupljene morske vegetacije.

U sklopu sigurnosnih mjera također se definiraju sigurnosni prolazi, evakuacijski putevi te putevi i točke s kojih će se uklanjati oprema unutar platforme.

Dio pripremnih radova uključuje i postavljanje podiznih uški koje služe kao točke za podizanje nadgrađa i podvodnog dijela i njihovo premještanje na barže. Novije platforme projektirane su na način da imaju definiran način rastavljanja pa se za proces rastavljanja

upotrebljavaju iste uške koje su služile za sastavljanje. Kod starijih platformi i kod onih kod kojih su uške iz nekog razloga uklonjene potrebno je definirati podizne točke i zavariti uške na definirana mjesta.

2.1.2. Uklanjanje nadgrađa

Uklanjanje nadgrađa izvodi se njegovim rezanjem, podizanjem i premještanjem na baržu pomoću dizalice. Kod manjih postrojenja, kakve su platforme u Jadranu, uklanjanje je moguće obaviti odjednom te nije potrebno modularno rastavljanje nadgrađa. Za primjer, Ivana A, jedna od najstarijih i najvećih platformi u Hrvatskoj, teži 2442 tone i dimenzija je 25mx25mx29m, dok masa nogu iznosi 1223 tone.

Uklanjanje nadgrađa može se izvoditi toplinskim rezanjem ili hladnim rezanjem. Toplinsko rezanje podrazumijeva plinsko rezanje ili elektrolučno rezanje, dok hladno rezanje podrazumijeva abrazivno rezanje i pneumatske alate. Hladno rezanje smanjuje mogućnost izazivanja požara pa se najčešće primjenjuje rezanje dijamantnom žicom ili pneumatskim kliještima.

2.1.3. Uklanjanje podvodnog dijela platforme

Uklanjanje podvodnog dijela izvodi se nakon uklanjanja nadgrađa od mjesta na kojem je izveden rez nadgrađa do 0,5 do 1 m ispod površine dna mora. Kao što je slučaj sa nadgrađem, podvodni dio u Jadranu planira se, zbog svoje male veličine i mase, ukloniti u jednom komadu.

Uklanjanje podvodnog dijela najčešće se izvodi eksplozivom, abrazivnim vodenim mlazom ili rezanjem dijamantnom žicom, a postoje i druge slične metode kao što su plinsko rezanje ili rezanje kružnom pilom.

Upotreba eksploziva vrlo je učinkovita metoda rezanja za dijelove ispod površine morskog dna te ima minimalan utjecaj na morski život. Veličina reza, odnosno odabir eksplozivnog naboja ovisi o promjeru i debljini stjenki. Naboj se spušta niz noge platforme do mjesta rezanja i daljinski se detonira. Udarni val širi se horizontalno na površinu dna te okomito na unutrašnju površinu nogu te uzrokuje dovoljnu energiju za rezanje.

Rezanje abrazivnim vodenim mlazom provodi se propuštanjem mlaza vode s abrazivnim česticama kroz sapnicu djelujući na taj način erozijom na površinu stjenke cijevi.

Ovakvo rezanje može se izvoditi s unutarnje i vanjske strane cijevi, a kod plićih bušotina umjesto abrazivnog materijala moguće je koristiti i komprimirani zrak.

Rezanje dijamantnom žicom jedna je do najpouzdanijih metoda jednostavne konstrukcije. Sastoji se od kliješta koja se prihvate za cijev, dijamantne žice i pokretnih koloturnika koji rotacijom provlače žicu kroz cijev i na taj način ostvaruje se rez.

2.1.4. Transport dijelova platforme do kopna

Nakon obavljanja svih pripremnih radnji i rezanja, odrezani dijelovi se u povoljnim maritimnim uvjetima pomoću usidrene ili dinamički pozicionirane plovne dizalice podižu i premještaju na plovila za transport tereta do kopna. Za podizanje odrezanih dijelova postrojenja kakva se nalaze na Jadranu preporuča se za većinu platformi koristiti dizalica za srednje teške terete koja će se dinamički pozicionirati.

Sam transport moguće je obaviti pomoću plovnih dizalica, baržama, transportnim brodovima ili uzgonskim elementima koji se tegljačima odvuku do kopna. S obzirom na manju veličinu i težinu jadranskih platformi i cijenu najma različitih vrsta plovila, barže se procjenjuju kao tehnološki i ekonomski najisplativija plovila za transport. Prije prihvata tereta potrebno je izvršiti fino pozicioniranje barže kraj dizalice te podešavanje trima barže.

Teret koji se polaže na baržu potrebno je osigurati od prevrtanja i klizanja morskim vezom kako bi se osigurala sigurna plovidba do kopna. Morski vez sastoji se od čeličnih zavarenih profila i vodilica na palubi barže.

Sigurnost operacija premještanja tereta i njegovog transporta do kopna uvelike ovisi o vremenskim i maritimnim uvjetima, stoga je potrebno konstantno pratiti promjene valova, vjetra i morskih struja te je potrebno poznavati njihovo granično projektno stanje.

2.2. EKONOMSKA ANALIZA NAPUŠTANJA I UKLANJANJA ODOBALNIH PLINSKIH POSTROJENJA NA JADRANU

Ekonomska analiza napuštanja i uklanjanja odobalnih postrojenja složen je i zahtjevan proces koji obuhvaća niz parametara, a na koji značajno mogu utjecati vremenski uvjeti ili nepredviđene okolnosti koje se mogu javiti tijekom uklanjanja. Krajnje ekonomske izračune već izvršenih napuštanja i uklanjanja nije moguće dobiti na uvid jer su najčešće poslovna tajna samih kompanija.

Troškovi uklanjanja predstavljaju značajan trošak kompanije te se u proces napuštanja i uklanjanja ulazi isključivo onda kada proizvodnja ugljikovodika s određenog polja postane neprofitabilna ili kada za to postoji drugi tehnički razlog kao što je dotrajalost platforme. Jedni od najznačajnijih čimbenika koji utječu na ekonomsku procjenu napuštanja

i uklanjanja su: dostupnost resursa za uklanjanje, udaljenost platforme od obale, dimenzije i masa platforme, broj bušotina, vremenski uvjeti te odabir načina uklanjanja platforme.

Prema godišnjim izvješćima kompanije INA d.d. maksimalna proizvodnja iz 51 proizvodne bušotine na Jadranu dosegnuta je 2010 godine te je iznosila 1,3 x 10^9 m^3/god, a 2007. godine zabilježen je vrhunac dokazanih rezervi koji je iznosio 12,85 x 10^9 m^3 te je od tada u naglom padu. Prema posljednjem Godišnjem izvješću u 2018. godini proizvedeno je 0,3 x 10^9 m^3 plina, dok su rezerve iznosile 1,6 x 10^6 m^3.

Prema postojećim analizama, koje su izradile kompanije INAgip d.o.o. 2010. godine i Edina d.o.o. 2015. godine, a koji su izneseni u diplomskom radu „Analiza postupka razgradnje nepomičnih pučinskih proizvodnih platformi“, I.Fatović, 2016. godine te studiji „Decommissioning Methodology and Cost Evaluation“ koju je izradila kompanija IFC Incorporated 2016. godine, u ovom poglavlju biti će dani okvirni proračuni napuštanja i uklanjanja svih postojećih platformi u hrvatskom dijelu Jadrana.

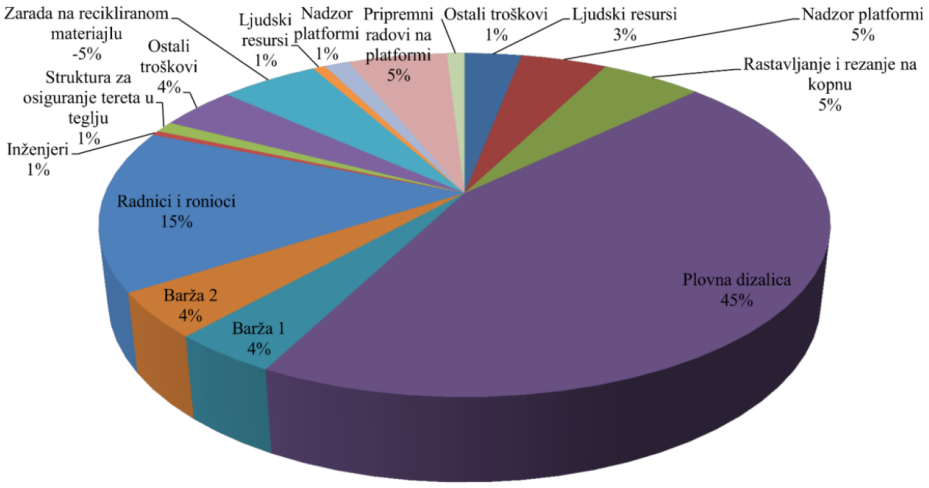
Približne procjene napuštanja i uklanjanja platformi moguće je dobiti zbrajanjem pojedinačnih troškova uklanjanja svake komponente platforme, inženjerskih troškova i troškova upravljanja projektom, troškova osiguravanja rada, te troškova nepredviđenih vremenskih uvjeta.

Konačna ekonomska analiza uklanjanja platforme stoga mora uključiti troškove pripreme platforme za uklanjanje, troškove transporta svih potrebnih plovnih objekata do lokacije i transport do kopna, troškove samog uklanjanja, troškove svih radova uklanjanja i recikliranja na kopnu, troškove osiguravanja rada, troškove nepredviđenih vremenskih uvjeta te troškove inženjeringa i upravljanja projektom.

Sam trošak pripreme platforme uključuje cjelovitu pripremu postrojenja za uklanjanje bilo u jednom komadu ili u nekoliko dijelova. Trošak uklanjanja platforme uključuje rezanje i uklanjanje palube, svih drugih modula i podmorskog dijela. Radovi na kopnu uključuju rezanje u komade i njihovo recikliranje ili eventualnu pripremu za ponovnu upotrebu. Trošak recikliranja uključuje dodatnu vrijednost od prodaje dijelova tvrtkama za reciklažu.

Osiguranje radova uobičajeno iznosi 15% ukupne cijene uklanjanja, a uključuje trošak pripreme platforme i trošak rezanja odnosno rastavljanja platforme. Trošak vremenskih uvjeta za lokacije i uvjete slične uvjetima u Hrvatskoj procjenjuje se na 8%

ukupne cijene uklanjanja, a uključuje: trošak pripreme platforme, trošak rastavljanja i trošak odlaganja na kopnu. Troškovi inženjeringa i upravljanja projektom iznose 8% ukupne cijene uklanjanja a uključuju: trošak pripreme platforme, trošak mobilizacije i demobilizacije, trošak rastavljanja i trošak odlaganja na kopnu.



Slika 2-2. Udio troškova napuštanja i uklanjanja platforme (Izvor: Fatović, 2016.)

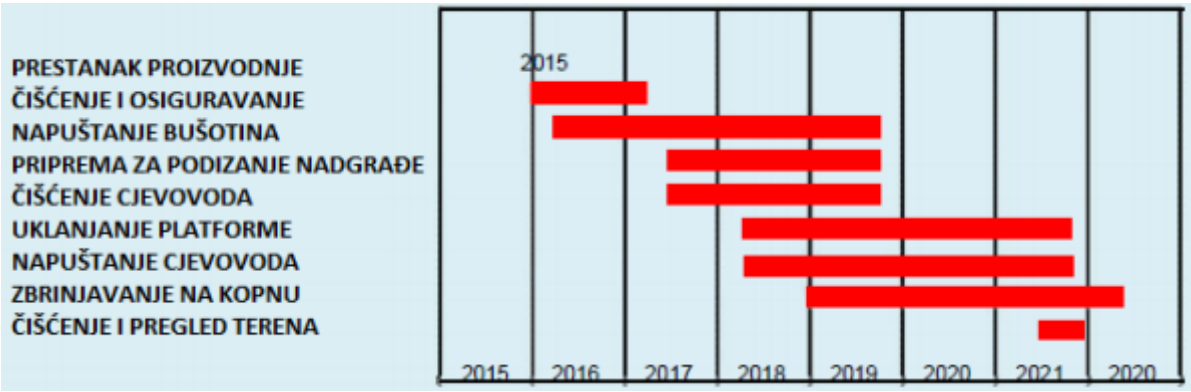
Prema proračunima koje su kompanije INAgip i Edina izradile predviđeni troškovi uklanjanja svih 20 postojećih platformi iznosili bi 93.45 milijuna eura. Prilikom uklanjanja predviđeno je uklanjanje svih platformi s pojedinog proizvodnog polja s obzirom da bi zbog visoke cijene opreme i organizacije bilo neisplativo uklanjati svaku platformu zasebno.

Tablica 2-2. Troškovi napuštanja i uklanjanja platformi na Jadranu (Izvor: Fatović, 2016.)

Proizvodno polje	**Troškovi uklanjanja platformi [mil €]**
IVANA	25
IDA	8.54
IKA A-B	7.64
IKA JZ	5.13
ANA-VESNA	7.73
IRINA	3.78
ANNAMARIA A	10
KATARINA	8.99
MARICA	6.03
IZABELA	10.61
UKUPNO	**93.45**

S obzirom na veličinu eksploatacijskih polja, prema očekivanju, eksploatacijsko polje Sjeverni Jadran ima najveći ekonomski udio u analizi dok eksploatacijska polja Izabela i Marica imaju manji i gotovo jednaki udio. Najviše sredstava biti će potrebno za uklanjanje proizvodnog polja Ivana na kojem je potrebno ukloniti pet proizvodnih platformi i jednu kompresorsku platformu. Gledajući platforme pojedinačno financijski najzahtjevnija platforma biti će Annamaria A čije nadgrađe i podvodni dio zajedno teže 4218 tona i koja ima najviše procesne opreme.

Kako bi se smanjilo vrijeme, ali i sama cijena izvođenja postupka napuštanja i uklanjanja odobalnih postrojenja, određeni postupci izvode se simultano te na više platformi jednog proizvodnog polja istovremeno.



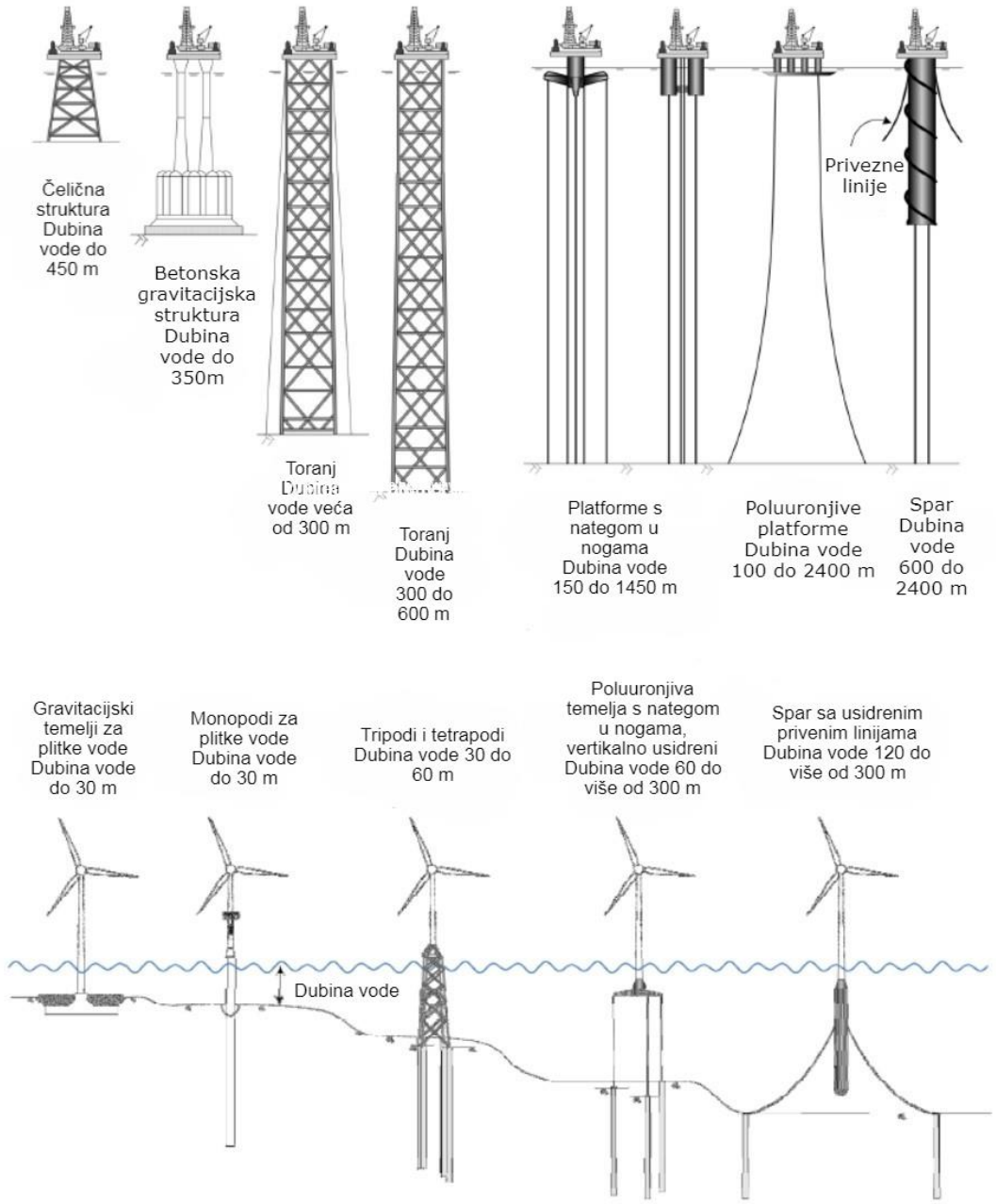
Slika 2-3. Vremenski prikaz izvođenja operacija postupka napuštanja i uklanjanja platforme (Izvor: Renić, 2014.)

3. ODOBALNE VJETROELEKTRANE

Vjetroelektranu čine vjetroagregati smješteni na istoj lokaciji, uglavnom istog tipa, priključeni na elektroenergetsku mrežu zajedničkim rasklopnim uređajem. Vjetroagregat je jedinica koja se sastoji od stupa, kućišta unutar kojeg je smješten generator i najčešće tri lopatice. Vjetroagregat pretvara kinetičku energiju vjetra u mehaničku energiju te, pomoću generatora, u električnu energiju.

Odobalni vjetroagregati baziraju se na istoj tehnologiji kao kopneni vjetroagregati, no zbog jednostavnog transporta velikih komponenti i nepostojanja fizičkih zapreka mogu biti veći i snažniji, čime je i prinos energije veći. Najznačajnija prednost odobalnih vjetroelektrana je jednolika brzina i konstantna snaga vjetra s obzirom da na moru ne postoje topografski utjecaji na vjetar. Za razliku od kopnenih vjetroagregata odobalni zahtijevaju dodatnu korozivnu zaštitu, a stupovi za mjerenje vjetra su veći i skuplji što je jedan od čimbenika koji povećava njihovu cijenu.

Osnovna razlika kopnenih i odobalnih vjetroagregata su temelja na koja se vjetroagregati postavljaju. S obzirom da je razvoj platformi započeo puno ranije od razvoja odobalnih vjetroelektrana bilo je razumljivo da će razvoj odobalnih vjetroelektrana djelomično preuzeti već postojeću tehnologiju izgradnje platformi.



Slika 3-1. Prikaz podvodne konstrukcije naftnih i plinskih platformi te odobalnih vjetroelektrana (Izvor: Schneider, 2010.)

U početku je većina odobalnih vjetroelektrana građena u vodama do 30 metara, a tek je 2007. godine postavljena prva vjetroelektrana u vodama dubine 45 m. Vjetroelektrana Beatrice sastojala se od 2 vjetroagregata pojedinačne snage 5 MW, a 2016. godine proširena je na 84 vjetroagregata ukupne snage 588 MW. Nalazi se 13 kilometara od škotske obale.

Prvi pilot projekt plutajućih vjetroagregata pojedinačne snage 2,3 MW postavljen je 2009. godine u vodama dubine 220 m. Bio je to projekt Hywind Spar, prethodnik današnje jedine plutajuće vjetroelektrane.

Do kraja 2018. godine monopodi su korišteni na 4105 vjetroagregata, što čini 81,5% svih postavljenih odobalnih vjetroagregata, a slijede ih konstrukcije sa 4 noge korištene na 403 vjetroagregata (8%).

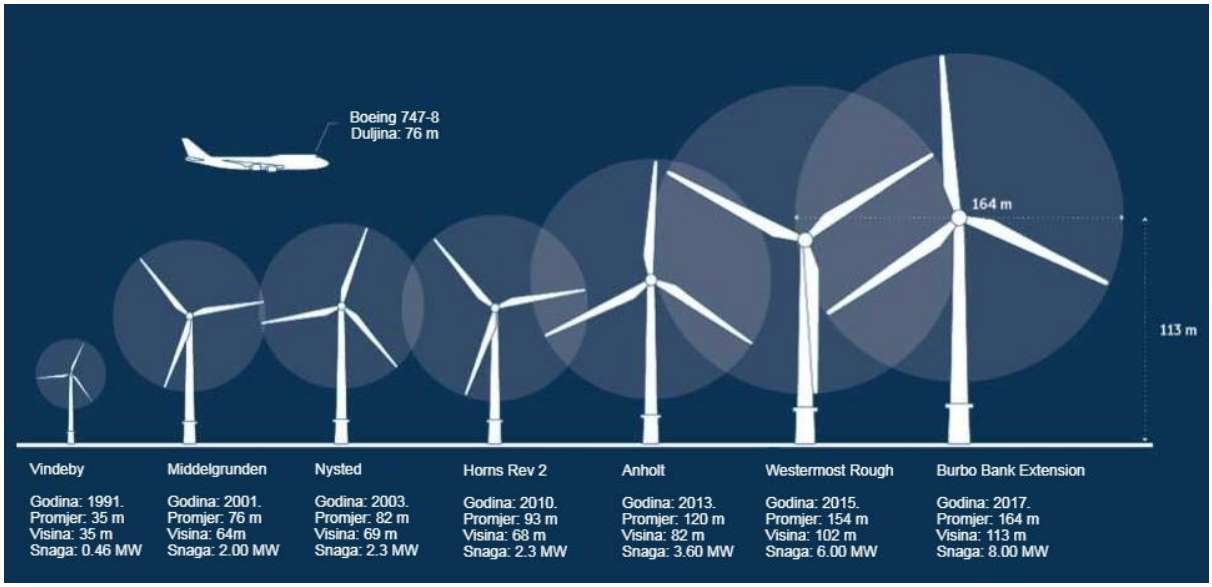
3.1. RAZVOJ ODOBALNIH VJETROELEKTRANA

Prvi kopneni vjetroagregat izradio je James Blyth 1887. godine u Škotskoj. Vjetroagregat je bio visok 10 metara i izrađen od platnenih jedara, a punio je akumulatore koji su davali električnu energiju za osvjetljavanje kuće. Od početka 20. stoljeća do 1970-ih godina razvoj vjetroagregata bio je vrlo usporen zbog niskih cijena drugih oblika energije i značajnog razvoja industrije nafte i plina.

Iskorištavanje energije vjetra kakvo poznajemo danas počelo je u 1970-im godinama, pojedinačni kopneni vjetroagregati, koji su se koristili na farmama, imali su snagu od 1 do 25 kW, a veće vjetroelektrane imale su snagu od 50 do 600 kW. Prvi vjetroagregat u Hrvatskoj postavio je Končar 1988. godine u Uljaniku.

Prva vjetroelektrana na moru izgrađena je 1991. godine 2,5 km od danskog grada Vindeby. Elektranu je razvila kompanija DONG Energy, a činilo ju je 11 vjetroagregata pojedinačne snage 450 kW. Ukupna snaga vjetroelektrane iznosila je 4,95 MW, što je gotovo dvostruko manja snaga od pojedinačne snage današnjih odobalnih vjetroagregata.

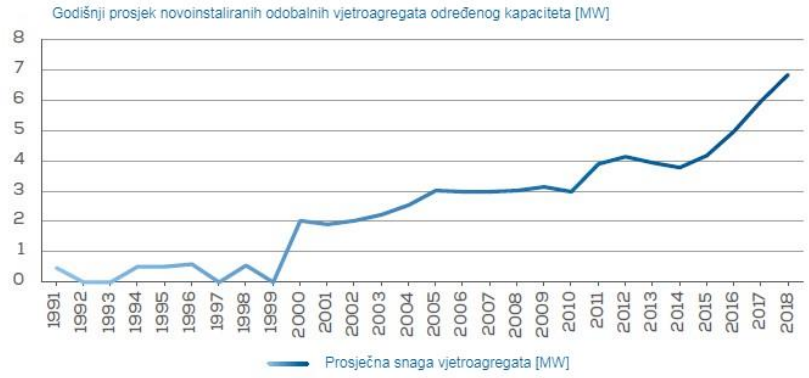
Razvoj odobalnih vjetroelektrana značajno se mijenja u posljednjih desetak godina kada vjetroagregati postaju sve veći i snažniji te se razvijaju i plutajuće vjetroelektrane koje omogućavaju razvoj vjetroelektrana u sve dubljim vodama i sve dalje od kopna. Prvu plutajuću vjetroelektranu, Hywind, postavila je 2017. godine kompanija Statoil, kasnije preimenovana u Equinor. Vjetroelektrana se nalazi 25 km od škotskog grada Peterheada u vodama dubine od 95 do 120 metara, sastoji se od 5 Siemensovih vjetroagregata ukupne snage 30 MW, čija visina rotora iznosi 101 m.



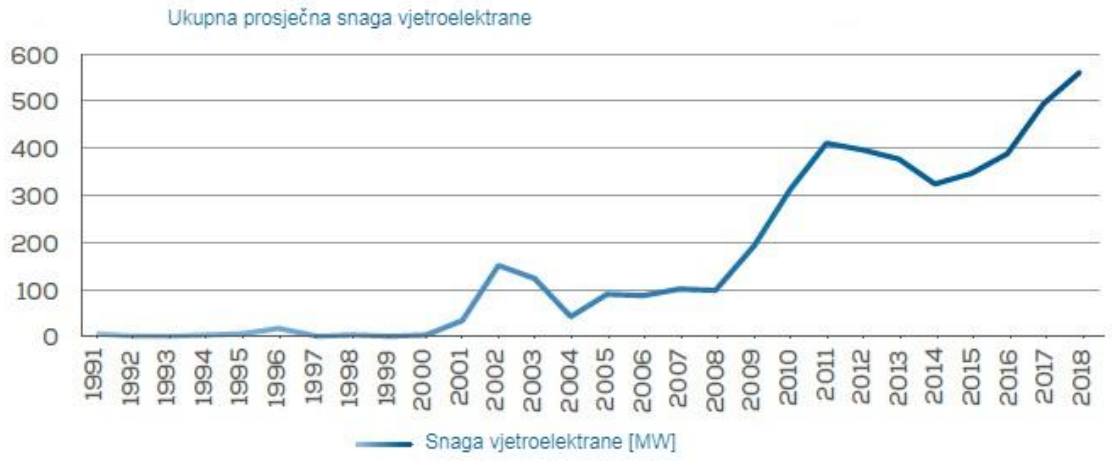
Slika 3-2. Razvoj odobalnih vjetroagregata (Izvor: www.cleanocean.fr)

U 2018. godini prosječni nazivni kapacitet odobalnih vjetroagregata bio je 6,8 MW, 15% veći nego u 2017. godini, a najveći odobalni vjetroagregat postavljen je u Ujedinjenom Kraljevstvu u sklopu EOWDC (European Offshore Wind Development Centre) vjetroelektrane. To je Vestasov V164-8.8 MW s promjerom rotora 164 m.

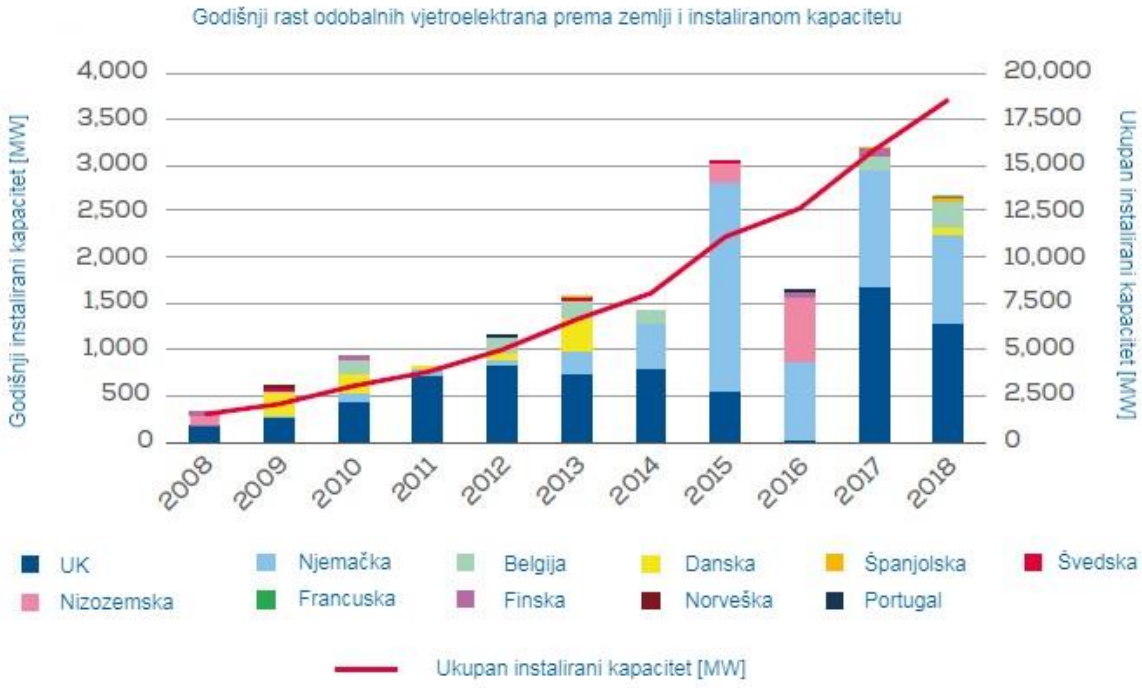
U posljednjih deset godina prosječna veličina odobalnih vjetroelektrana povećala se sa 79,6 MW u 2007. godini na 561 MW u 2018. godini. Trenutno najveća odobalna vjetroelektrana u fazi izgradnje je Hornsea One koja će se nalaziti 120 km od obala Yorkshirea. Vjetroelektranu, u vlasništvu kompanije Ørsted, će činiti 174 Siemens vjetroagregata ukupne snage 1,2 GW.



Slika 3-3. Razvoj odobalnih vjetroagregata od 1991. do 2018. godine (Izvor: WindEurope, 2019.)

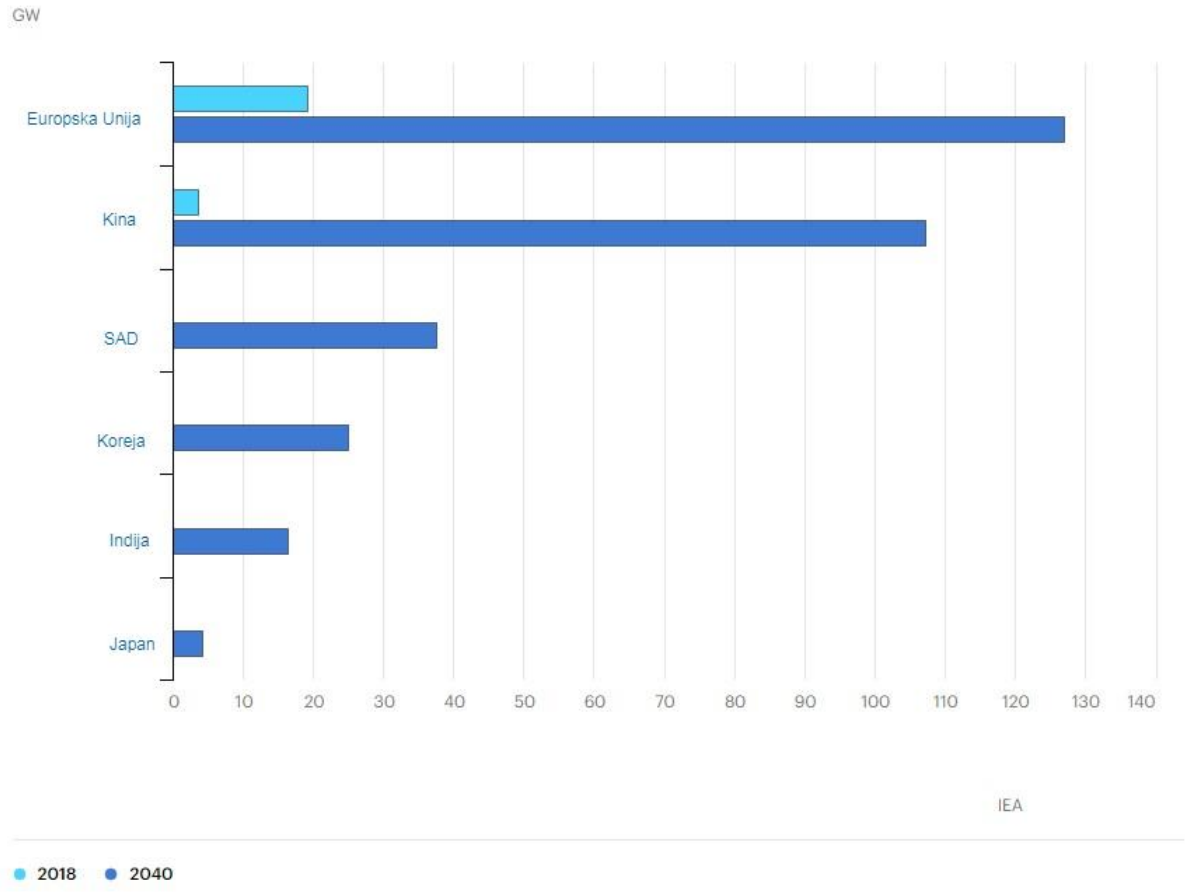


Slika 3-4. Razvoj odobalnih vjetroelektrana od 1991. do 2018. godine (Izvor: WindEurope, 2019.)



Slika 3-5. Razvoj kapaciteta odobalnih vjetroelektrana u Europi po državama (Izvor: WindEurope, 2019.)

Do kraja 2018. godine u Europi je postavljeno 18,499 MW odobalnih vjetroelektrana dok je u cijelom svijetu postavljeno nešto više od 22 GW.

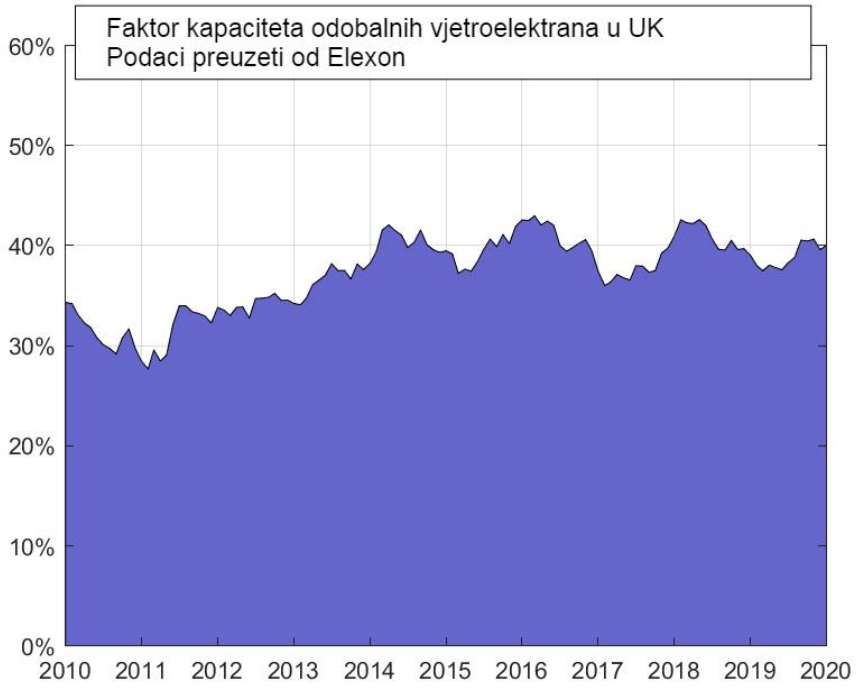


Slika 3-6. Ukupno postavljeni kapaciteti odobalnih vjetroelektrana u svijetu do 2018. godine i predviđanja do 2040. godine (Izvor: IEA, 2019.)

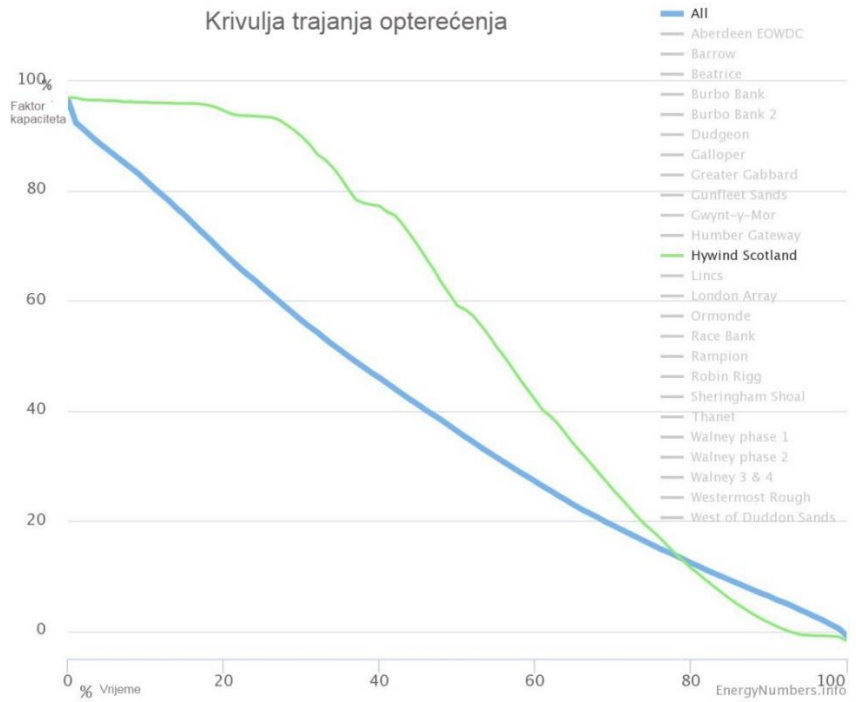
U Europi najviše postavljenih kapaciteta u 2018. godini ima Ujedinjeno Kraljevstvo sa 8,183 MW/1,975 vjetroagregata (44%), a slijede ga Njemačka sa 6,380 MW/1,305 vjetroagregata (34%), Danska 1,329 MW/514 vjetroagregata (7%), Belgija 1,186 MW/274 vjetroagregata (6%) i Nizozemska 1,118 MW/365 vjetroagregata (6%). Ostatak Europe je u 2018. godini ostvario tek 2%, odnosno 303 MW/110 vjetroagregata (Izvor: WindEurope).

Osim postavljenih kapaciteta, koji najjednostavnije prikazuju značajan rast odobalnih vjetroelektrana, zanimljivo je sagledati i određene pokazatelje proizvodnje električne energije iz odobalnih vjetroelektrana kao što su faktor kapaciteta i krivulja trajanja opterećenja. Faktor kapaciteta predstavlja omjer stvarno proizvedene energije u određenom periodu i energije koja bi bila proizvedena pri konstantnoj nominalnoj snazi u istom periodu. Prosječni faktor kapaciteta energije vjetra iznosi 20-40%. Krivulja trajanja opterećenja prikazuje odnos faktora kapaciteta u određenom vremenu rada. Slike u nastavku prikazuju

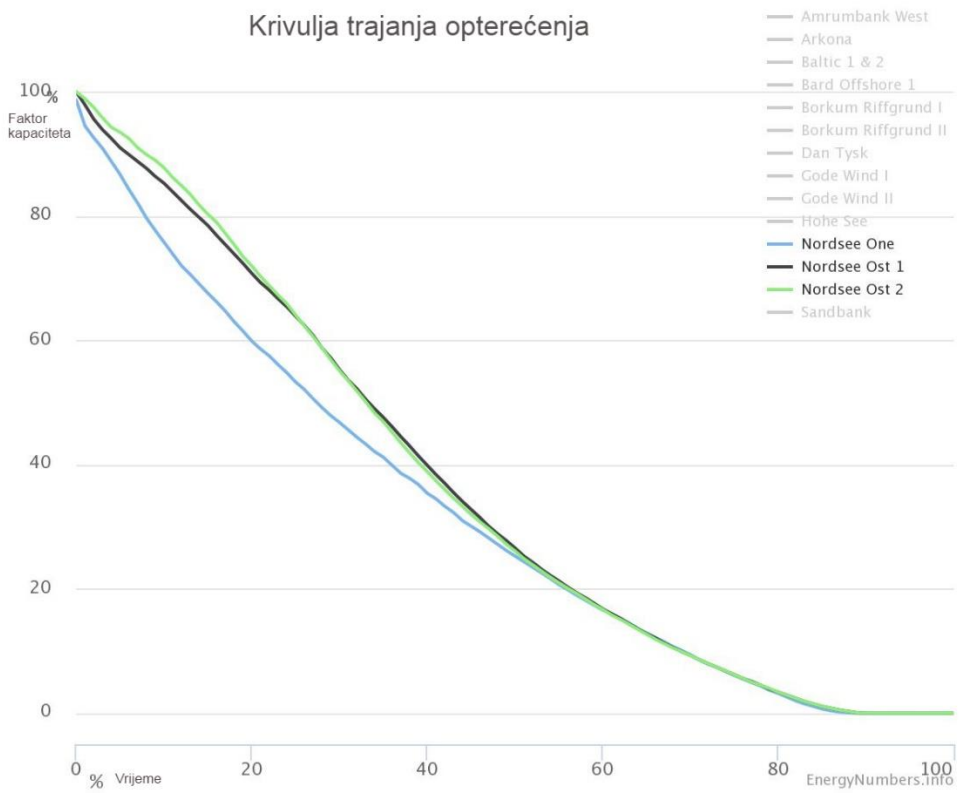
faktore kapaciteta i krivulje trajanja opterećenja za četiri europske države sa najviše postavljenih kapaciteta u 2018. godini.



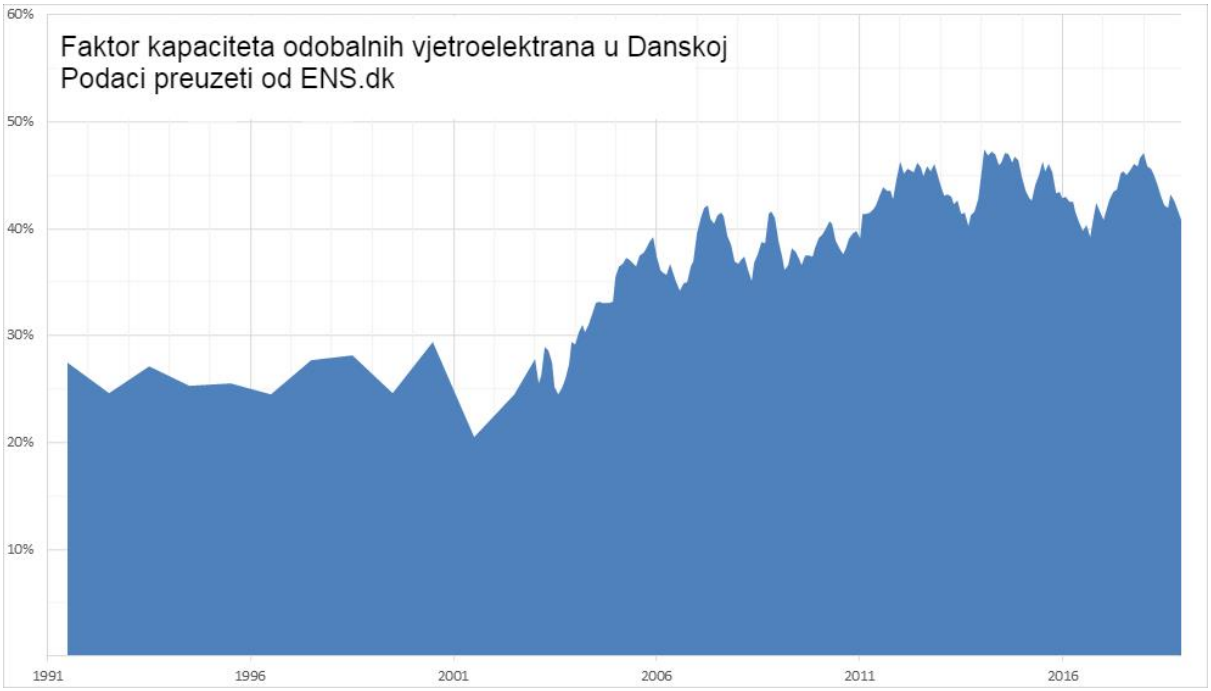
Slika 3-7. Faktor kapaciteta odobalnih vjetroelektrana u UK (Izvor: Energynumbers)



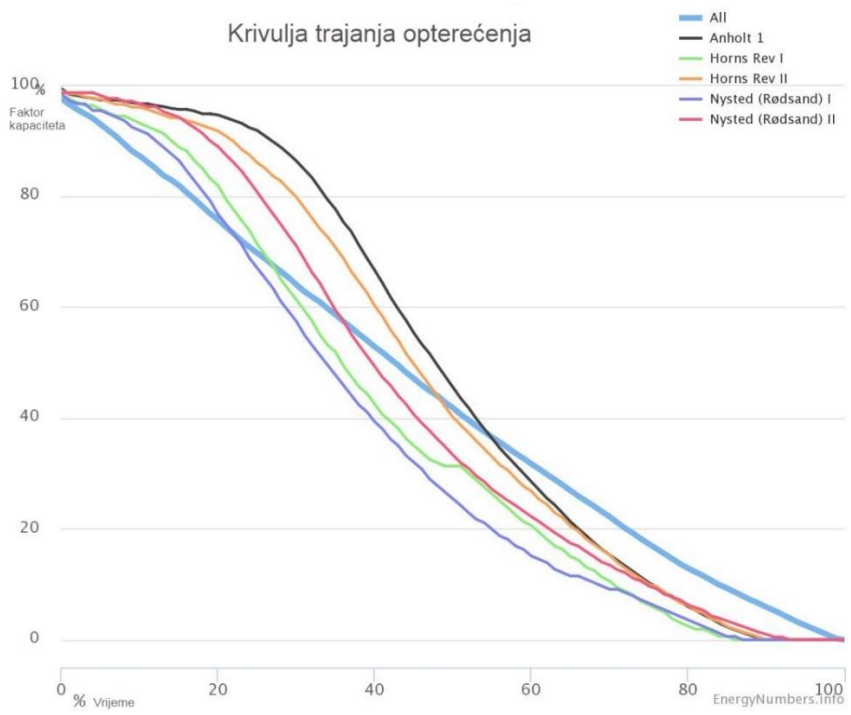
Slika 3-8. Krivulja trajanja opterećenja odobalnih vjetroelektrana u UK (Izvor: Energynumbers)



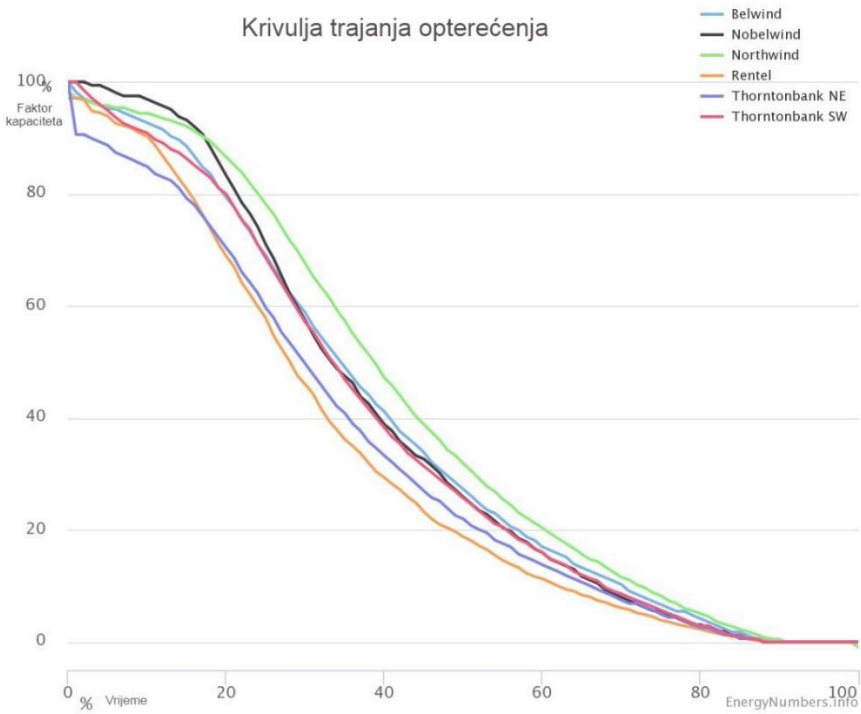
Slika 3-9. Krivulja trajanja opterećenja odobalnih vjetroelektrana u Njemačkoj (Izvor: Energynumbers)



Slika 3-10. Faktor kapaciteta odobalnih vjetroelektrana u Danskoj (Izvor: Energynumbers)



Slika 3-11. Krivulja trajanja opterećenja odobalnih vjetroelektrana u Danskoj (Izvor: Energynumbers)



Slika 3-12. Krivulja trajanja opterećenja odobalnih vjetroelektrana u Belgiji (Izvor: Energynumbers)

3.2. PRIMJER NAFTNIH KOMPANIJA KOJE ULAŽU U ODOBALNE VJETROELEKTRANE

Kao strateški odgovor na potencijal rasta u sektoru obnovljivih izvora energije i rastućih troškova eksploatiranja ugljikovodika, naftne kompanije postaju sve aktivnije u sektoru električne energije i obnovljivih izvora energije. U sektoru obnovljivih izvora energije već su nekoliko godina prisutne najveće svjetske kompanije kao što su: Royal Dutch Shell, ExxonMobil, Chevron, Total, BP, Eni, Statoil/Equinor i DONG/Ørsted.

Tablica 3-1. Ulaganja naftnih kompanija u obnovljive izvore energije do kraja 2018. godine – 0 = nema aktivnosti, 1 = zabilježena aktivnost(Izvor: Energy Strategy Reviews, 2019.)

Kriterij procjene	Udio	Shell	Exxon Mobil	Chevron	Total	BP	Eni	Petrobras	Equinor
Hidroelektrane	5%	0	0	0	1	0	0	1	0
Sunčane elektrane	5%	1	0	1	1	1	1	1	1
Vjetroelektrane	5%	1	0	1	1	1	1	1	1
Biogoriva	5%	1	1	0	1	1	1	0	0
Pohrana ugljika	5%	1	1	1	1	1	1	0	1
Geotermalne elektrane	5%	0	0	0	0	0	0	0	0
Skladištenje energije/EV	5%	1	0	0	1	1	0	0	1
Strategija/alokacija OIE	5%	1	0	0	1	1	1	0	1
Kapitalna ulaganja u OIE (milijardi $/god)	50%	1	0	0	0,5	0,5	0,3	0	0,5
Odjel OIE	5%	1	0	0	1	1	1	0	1
Kapital namjenjen OIE	5%	1	0	1	1	1	1	0	1
Ukupno	100 %	9	2	4	9,5	8,5	7,3	3	7,5
Ukupni postotak		90 %	10%	20%	70%	65 %	50 %	15%	60%

Royal Dutch Shell je 2016. godine, kao Royal Dutch Shell New Energies, najavom ulaganja od 180 milijuna eura godišnje započeo ulaganja u tehnologije obnovljivih izvora energije, biogoriva, vodika i punjenja električnih vozila. Do kraja 2017. godine ulaganja su se povećala na 1 do 2 milijarde eura godišnje uz udio od 80% u elektroenergetskom sektoru. Do kraja 2018. godine kompanija je imala ulaganja u kompanije specijalizirane za

elektroenergetsku mrežu i skladištenje energije kao što su: GI Energy, Axiom Energy i Sonnen.

ExxonMobil i Chevron ulažu u tehnologije hvatanja i skladištenja ugljika (CCS tehnologije) te tehnologije smanjenja emisija i povećanja energetske učinkovitosti. ExxonMobil od 2017. godine značajnije ulaže u razvoj biogoriva na bazi algi, a Chevron ima manji udio u projektima sunčanih elektrana i vjetroelektrana u S.A.D.-u.

Kompanija Total je svoja ulaganja u obnovljive izvore energije započela prije više od 10 godina sa ulaganjima od 450 milijuna eura godišnje, a od 2011. godine započela je i ulaganja u manje kompanije orijentirane isključivo na obnovljive izvore energije kao što je SunPower (60% udjela, visina ulaganja iznosila je 1,25 milijarde eura). Total trenutno u svom vlasništvu ima 1,6 GW sunčanih elektrana, a u slijedećih pet godina planira dodatnih 5 GW. U vlasništvu Totala nalaze se francuska kompanija Saft, specijalizirana za proizvodnju baterija, belgijska elektroenergetska kompanija Lampiris, francuski Eren, vlasnik 650 MW sunčanih elektrana, vjetroelektrana i hidroelektrana te biorafinerija La Mede koja godišnje proizvodi više od 500,000 tona biogoriva.

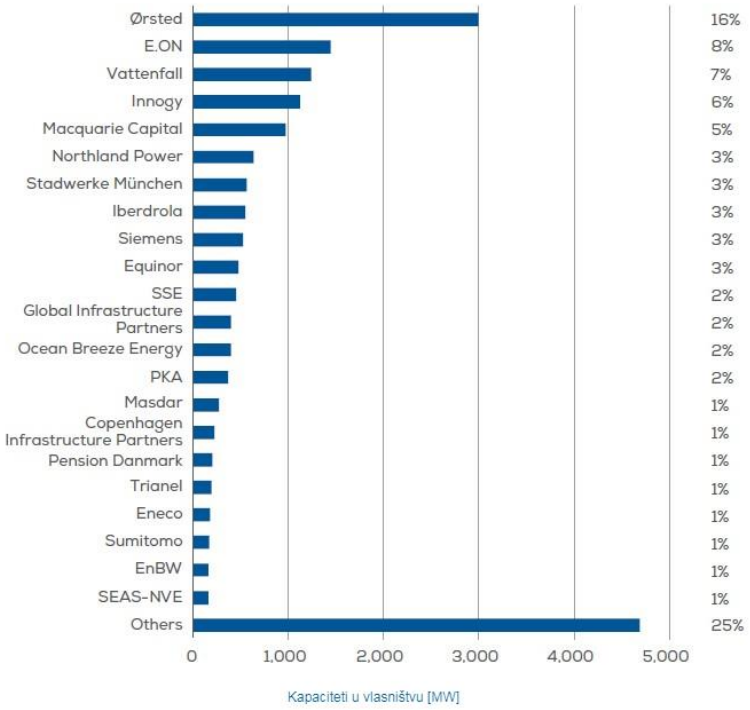
BP je ulaganja u obnovljive izvor energije započeo 1980-ih godina te je bio jedna od prvih naftnih kompanija koja je ulagala u obnovljivu energiju. Nakon niza loših poslovnih odluka, gubitka nekoliko milijardi eura i incidenta sa Deep Water Horizon BP se 2010. godine gotovo u potpunosti povukao iz sektora obnovljive energije. 2017. godine BP je kupio 43% udjela u kompaniji Lightsource, najvećoj europskoj kompaniji za razvoj sunčanih elektrana te je uložio 4,5 milijuna eura u američku kompaniju FreeWire koja razvija infrastrukturu brzih punionica za električna vozila i kupio je britansku kompaniju Chargemaster, vodeću kompaniju po broju punionica za električna vozila u Ujedinjenom Kraljevstvu.

Talijanska kompanija ENI 2014. godine započela je prvu svjetsku konverziju konvencionalne rafinerije u rafineriju biogoriva. Godinu dana kasnije otvorila je vlastiti odjel za razvoj tehnologija obnovljive energije, 2016. godine potpisala je partnerstvo sa kompanijom GE a 2017. godine i partnerstvo sa kompanijom Statoil kako bi ostvarila značajnija ulaganja u energiju vjetra na kopnu i moru. Kao dio vlastite strategije obvezala se do 2021. godine razviti projekte obnovljivih izvora energije ukupne snage 1 GW, te proširiti razvoj na 5 GW do 2025. godine.

Danska kompanija DONG je 2017. godine promijenila naziv u Ørsted, a isto je učinila i norveška kompanija Statoil 2018. godine promijenivši naziv u Equinor čime su obje službeno označile početak širenja poslovanja na druge oblike energije osim konvencionalnih goriva.

Do kraja 2018. godine kompanija Ørsted u svom je vlasništvu imala najveći udio odobalnih vjetroelekrana u Europi, 16%, a slijedile su ju E.ON sa 8% te Vattenfall i Innogy sa 7%. Ørsted je vlasnik trenutno najveće odobalne vjetroelektrane na svijetu, Hornsea One, snage 1,2 GW, a do kraja 2022. godine planira izgraditi i Hornsea Two ukupne snage 1,4 GW.

Kompanija Equinor vlasnik je prve plutajuće odobalne vjetroelektrane Hywind ukupnog kapaciteta 30 MW, a 2019. godine sklopila je ugovor o izgradnji odobalne vjetroelektrane ukupne snage 800 MW koja će se nalaziti južno od Long Islanda u New Yorku. Za razliku od kompanije Ørsted, Equinor nastavlja ulaganja u naftne i plinske projekte.



Slika 3-13. Vlasnički udio u odobalne vjetroelektrane do kraja 2018. godine (Izvor: WindEurope, 2019.)

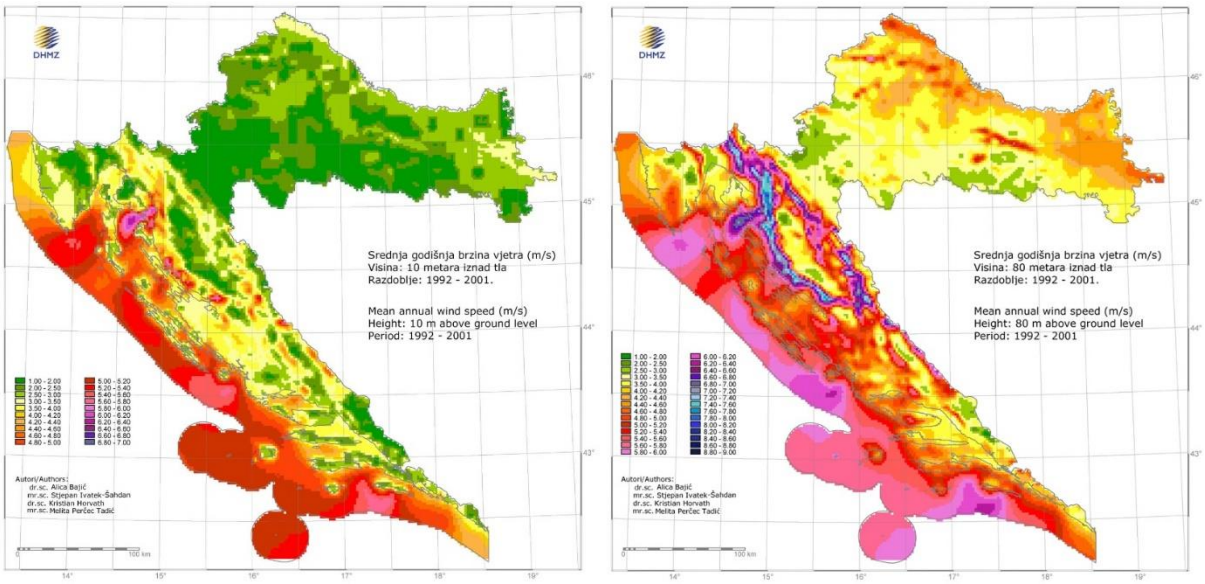
Unatoč činjenici da mnoge naftne i plinske kompanije već godinama ulažu u obnovljive izvore energije do kraja 2019. godine niti jedna postojeća platforma nije

prenamijenjena u odobalnu vjetroelektranu. Norveška kompanija DNO North Sea, koja je preuzela kompaniju Faroe Petroleum, krajem 2019. godine dobila je vladino odobrenje za uklanjanje platformi Ketch i Schooner, koje se nalaze 160 km od Yorkshirea. Do kraja 2020. godine kompanija treba donijeti konačnu odluku o napuštanju ili prenamijeni platformi u odobalnu vjetroelektranu, što bi bio prvi takav projekt u svijetu.

3.3. POTENCIJAL ENERGIJE VJETRA NA JADRANU

Postojeći potencijal energije vjetra na Jadranu izradio je Državni hidrometeorološki zavod pomoću ALADIN računalnog sustava za kratkoročnu prognozu vremena. Hrvatska je članica ALADIN programa suradnje od 1995. godine, a osnovni cilj suradnje je unaprjeđenje prognoze opasnih vremenskih prilika s naglaskom na sustav ranog upozoravanja na meteorološke i hidrološke nepogode.

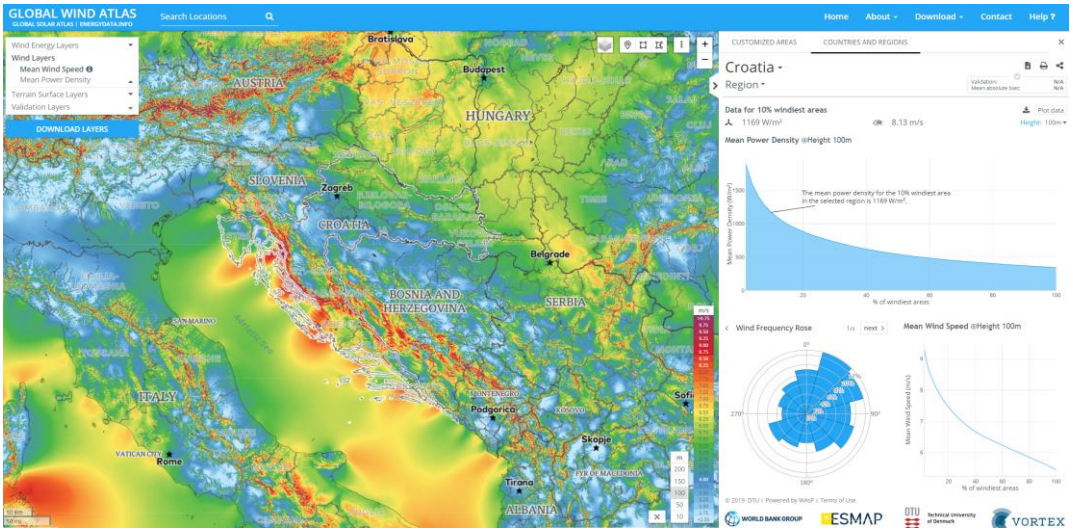
Podaci modela ALADIN koriste se za izradu atlasa vjetra i raspoložive gustoće snage vjetra, resursne podloge i analize za izgradnju vjetroelektrana te predviđanje proizvodnje iz postojećih vjetroelektrana. Atlas vjetra je osnova za procjenu energetskog potencijala vjetra, a čije se brzine i gustoće snage prikazuju na srednjoj godišnjoj razini i na visinama od 10 i 80 metara iznad tla kao prosječne količine unutar kvadrata 2x2 km.



Slika 3-14. Srednja godišnja brzina vjetra na 10 i na 80 m iznad tla (Izvor: DHMZ)

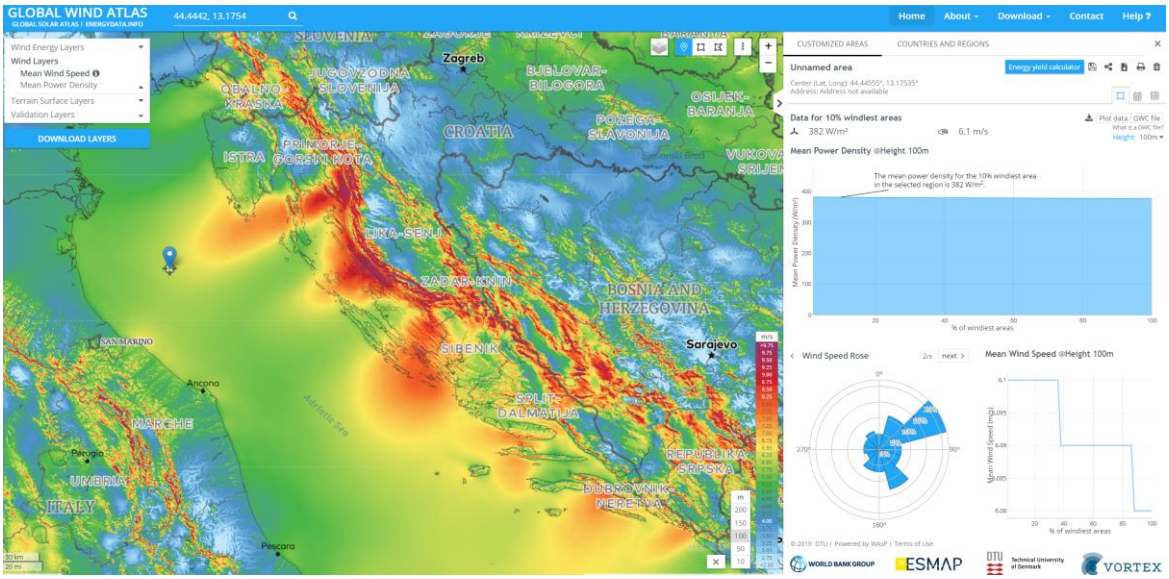
Prema podacima na visini od 80 metara možemo zaključiti da je srednja brzina vjetra na Jadranu najveća na otvorenom moru u području Pule, Malog Lošinja, Šibenika i Mljeta gdje doseže oko 6,5 m/s.

Gotovo iste podatke prikazuje i Global Wind Atlas razvijen od strane DTU, danskog sveučilišnog odjela za energiju vjetra. GWA matematički skalira podatke o vjetru dobivene putem baze podataka ERA5, razvijene od strane Europskog centra za vremenske prognoze srednjeg dometa (ECMWF), za razdoblje simulacije od 2008. do 2017. godine. Simulacija prikazuje srednje brzine vjetra na visinama od 10, 50, 100, 150 i 200 m. Tako za visinu od 100 m na razini cijele Hrvatske dobivamo prosječnu brzinu vjetra od 8,13 m/s.



Slika 3-15. Srednja brzina vjetra na području cijele Hrvatske (Izvor: Global Wind Atlas)

S obzirom da putem programa Global Wind Atlas možemo detaljnije birati lokaciju i vidjeti pretpostavke za svaku lokaciju u svijetu na slijedećoj slici je kao primjer dana lokacija na kojoj se nalazi platforma Ivana A.



Slika 3-16. Srednja brzina vjetra na lokaciji platforme Ivana A (Izvor: Global Wind Atlas)

Za lokaciju na kojoj se nalazi platforma Ivana A, na visini od 100 m, predviđena je srednja brzina vjetra 6,1 m/s.

S obzirom da se na Jadranu ne provodi mjerenje vjetra na visinama od 80 i više metara svi dobiveni podaci moraju se pri izradi proračuna potencijala energije vjetra uzeti samo kao preliminarna aproksimacija a ne stvarna vrijednost.

Najznačajniji problem koji bi se trebao uzeti u obzir pri izradi proračuna na Jadranu je bura koja se javlja posebno na području ispred Velebita i Biokova, a čija je prosječna brzina iznosi oko 20 m/s uz zapuhe koji dosežu i do 70 m/s. Dodatno valja uzeti u obzir i otoke na Jadranu koji doprinose turbulenciji bure.

4. ANALIZA MOGUĆNOSTI PRENAMJENE PLINSKOG POSTROJENJA NA JADRANU U ODOBALNU VJETROELEKTRANU

U ovom poglavlju razraditi će se analiza mogućnosti prenamjene plinskog postrojenja na Jadranu u odobalnu vjetroelektranu uzevši u razmatranje trenutno dostupne podatke o brzinama vjetra na pojedinim postrojenjima kako bi dobili što precizniju analizu mogućnosti proizvodnje električne energije iz odobalne vjetroelektrane te u konačnici analizu isplativosti prenamjene postojećih odobalnih postrojenja.

Prema podacima dobivenima 2019. godine od kompanije INA Jadran d.o.o., mjerenje brzine i smjera vjetra provodi se na postrojenjima Ivana A i Annamarija A koje su dio plinskog polja Sjeverni Jadran te na postrojenju Katarina koje je dio plinskog polja Marica.

4.1. METODOLOGIJA IZRAČUNA

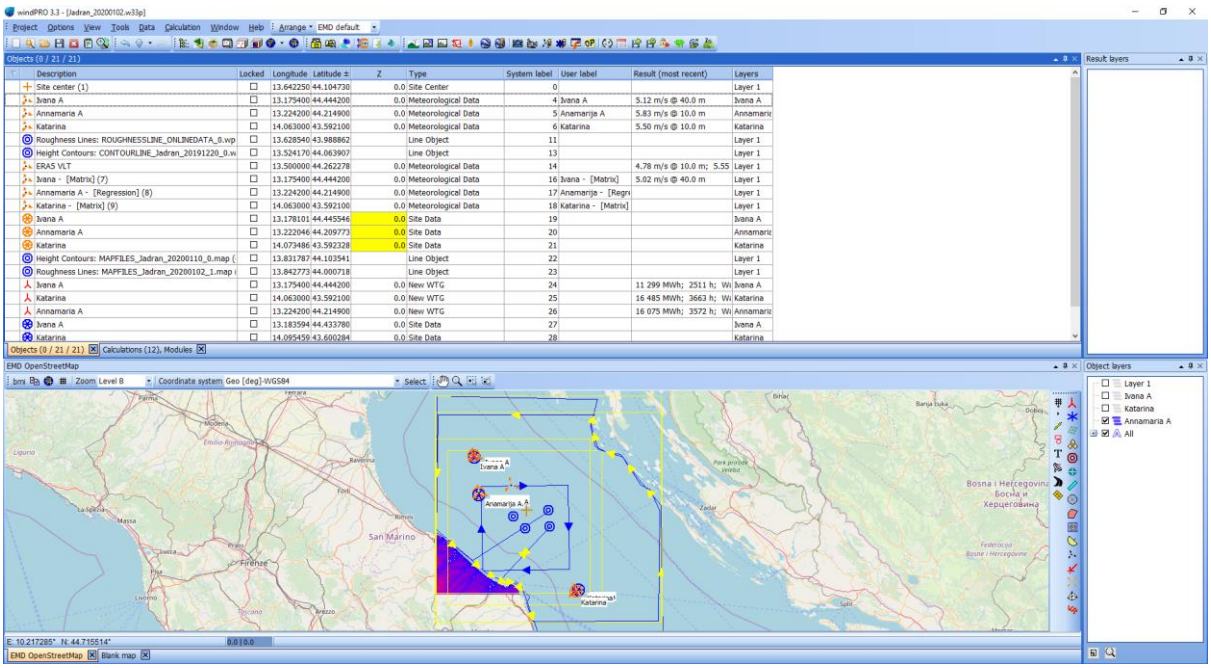
Kako bi se izradila što preciznija analiza potencijala vjetra na nekoj lokaciji potrebno je provesti dugoročna mjerenja anemometrima koji se nalaze na mjernom stupu na tri ili više visina, od kojih je najznačajnija ona na 2/3 ukupne visine predviđenog vjetroagregata. Anemometar je mjerni instrument pomoću kojeg se mjeri brzina vjetra, a najrašireniji oblik ima 3 ili 4 čašice koje su simetrično učvršćene kracima na okomitu osovinu oko koje se rotiraju te pružaju otpor strujanju zraka. Na taj način stvaraa se električni napon koji se mjeri baždarenim voltmetrom te se bilježi trenutna brzina vjetra u periodima od 1, 10 i 30 minuta ili sat vremena. Osim anemometra na mjerni stup postavljaju se i vjetrulje koje služe za mjerenje smjera vjetra.

Za dugoročno predviđanje potencijala energije vjetra na nekoj lokaciji uobičajeno se podatke prikupljene na samoj lokaciji uspoređuje sa postojećim dugoročnim podacima sa najbliže referentne postaje. Prilikom usporedbe podataka najčešće se, pomoću specijaliziranih računalnih programa, koristi MCP metoda (Measure Correlate Predict).

4.1.1. Računalni program windPRO

Računalni program windPRO specijalizirani je programski alat za projektiranje pojedinačnih vjetroagregata i cijelih vjetroelektrana. Program je razvila danska kompanija EMD A/S, a danas je to jedan od vodećih programskih alata za planiranje i projektiranje vjetroelektrana. Uz osnovni model i dodatak raznih specifičnih modula windPRO omogućava izradu detaljnih analiza podataka o vjetru, modeliranje, analizu podataka o proizvodnji električne energije, procjenu opterećenja i rada, procjenu životnog vijeka

vjetroelektrane, procjenu utjecaja na okoliš, procjenu buke, procjenu treperenja i zasjenjenja, procjenu zona vizualnog utjecaja te vizualizaciju vjetroelektrane na stvarnoj lokaciji.



Slika 4-1. Sučelje računalnog programa windPRO

Za potrebe ovog diplomskog rada podaci o brzinama i smjeru vjetra dobiveni od kompanije INA d.d. unešeni su u windPRO te je izvršen odabir lokacije, obrađeni su podaci o brzinama i smjeru vjetra, definirane su hrapavost i konture terena, odabrani su najprikladniji odobalni vjetroagregati, izrađena je korelacija visine i izrađeno je predviđanje proizvodnje električne energije.

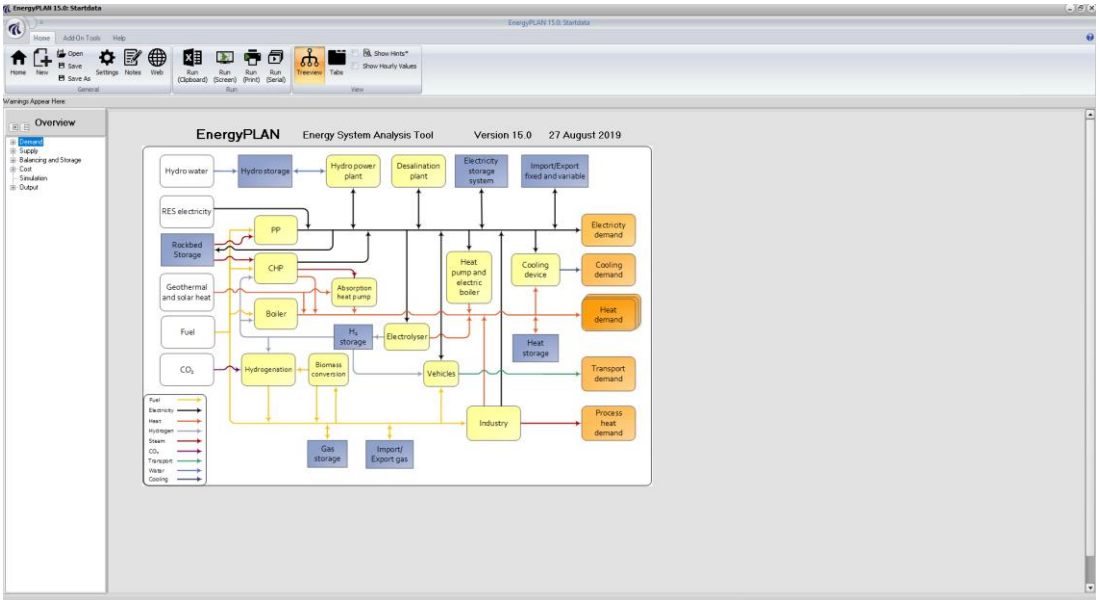
4.1.2. Računalni program EnergyPLAN

Računalni program EnergyPLAN razvila je istraživačka grupa Sustainable Energy Planning Research group sa danskog sveučilišta Aalborg u suradnji sa EMD A/S i njemačkom kompanijom PlanEnergi. Program daje mogućnost detaljne analize energetskog, okolišnog i ekonomskog utjecaja na različite energetske strategije. U ovom diplomskom radu korišten je kao računalni program za obradu unaprijed dobivenih i definiranih podataka o ukupnoj snazi i proizvodnji električne energije iz odobalne vjetroelektrane, kapacitetu i načinu rada baterijskog sustava te ukupnoj godišnjoj potrošnji krajnjeg kupca proizvedene električne energije.

Pomoću EnergyPLAN-a moguće je analizirati godišnje podatke u satnim vrijednostima što omogućava precizne dnevne analize. Program se temelji na analitičkom

programiranju za razliku od iteracija, dinamičkog programiranja ili naprednih matematičkih alata. Zbog toga su izračuni izravni, a model vrlo brz prilikom obavljanja izračuna. U programiranju su izbjegnuti bilo kakvi postupci koji bi povećali vrijeme izračuna, a za računanje od jedne godine potrebno je samo nekoliko sekundi na normalnom računalu, čak i u slučaju kompliciranih nacionalnih energetskih sustava.

Iako su za potrebe diplomskog rada obrađeni samo elektroenergetski i skladišni baterijski sustav, program omogućava satne analize cjelovitog energetskog sustava što bi, uz elektroenergetski sustav, uključivalo i distributivan sustav grijanja i hlađenja te naftni i plinski sustav.



Slika 4-2. Sučelje računalnog programa EnergyPLAN

4.2. ANALIZA SLUČAJA

U Hrvatskoj do danas nije izgrađena niti jedna odobalna vjetroelektrana, a u svijetu ne postoji primjer prenamjene odobalnih naftnih i plinskih postrojenja u vjetroelektranu, stoga je iznimno teško detaljno razraditi analizu prenamjene odobalnih postrojenja na Jadranu. Kako bi u diplomskom radu dobili što realnije proračune u obzir su uzeti samo mjereni i poznati podaci. S tim u vidu konačni rezultati diplomskog rada ograničeni su na prenamjenu tri platforme u odobalnu vjetroelektranu. Dodatni prijedlog diplomskog rada je da se proizvedena energija skladišti u baterijskom sustavu i prodaje sklapanjem Ugovora o otkupu električne energije između dviju kompanija (CPPA – Corporate Power Purchase Agreement).

4.1.1. Opis platformi koje su razmatrane za prenamjenu u odobalnu vjetroelektranu

Za potrebe diplomskog rada od strane kompanije INA Jadran d.o.o., sada u vlasništvu INA d.d., dobiveni su podaci o brzinama i smjeru vjetra na svim platformama na kojima se vjetar mjeri. Podaci o vjetru mjere sa na platformama Ivana A, Annamaria A i Katarina stoga su samo te platforme razmatrane za prenamjenu u odobalnu vjetroelektranu.

Platforma Ivana A nalazi se na 44°26'39.1"N, 13°10'31.4"E, centralna je sabirno proizvodna platforma plinskog polja Ivana koje se nalazi 36 km jugozapadno od Pule. To je platforma na 4 noge, koja ima 3 palube sa stalnom posadom i radno-stambenim prostorom za 37 osoba. Platforma je sagrađena 1999. godine.

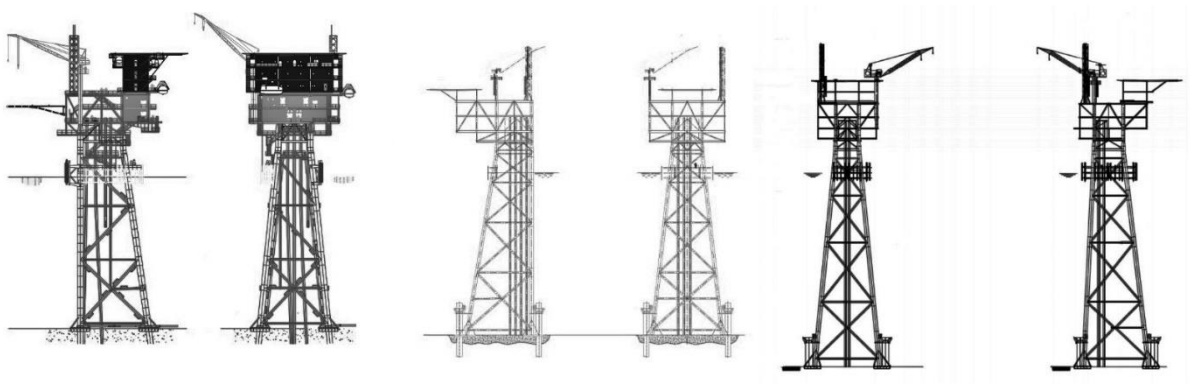
Platforma Annamaria A nalazi se na 44°12'53.6"N 13°13'27.1"E, na plinskom polju Annamaria, 62 km jugozapadno od Pule i 66 km od talijanske obale. To je platforma na 4 noge, sa procesnim palubama na 5 etaža i stambenim dijelom za 19 osoba, pristan za brodove i helidrom. Platforma je izgrađena 2009. godine.

Platforme Ivana A i Annamaria A dio su ekspolatacijskog polja Sjeverni Jadran, dok je platforma Katarina dio ekspolatacijskog polja Marica. Platforma Katarina nalazi se na 43°35'31.6"N 14°03'46.8"E, izgrađena je 2006. godine i dio je plinskog polja Katarina koje se nalazi 105 km zapadno od Zadra uz liniju razgraničenja s Italijom. To je proizvodna platforma na 4 noge.

Ivana A, Annamaria A i Katarina nalaze se na različitim plinskim poljima i različitih su starosti stoga njihovo napuštanje i uklanjanje nije predviđeno istovremeno. Međutim, mjerenje podataka o vjetru vrši se samo na te tri lokacije pa su one odabrane kao platforme koje bi mogle biti prenamijenjene u odobalnu vjetroelektranu kako bi se dobili što realniji i precizniji podaci o proizvodnji električne energije iz odobalne vjetroelektrane na Jadranu.

Tablica 4-1. Karakteristike odabranih platformi (Izvor: Časopis Nafta i plin, 2019.)

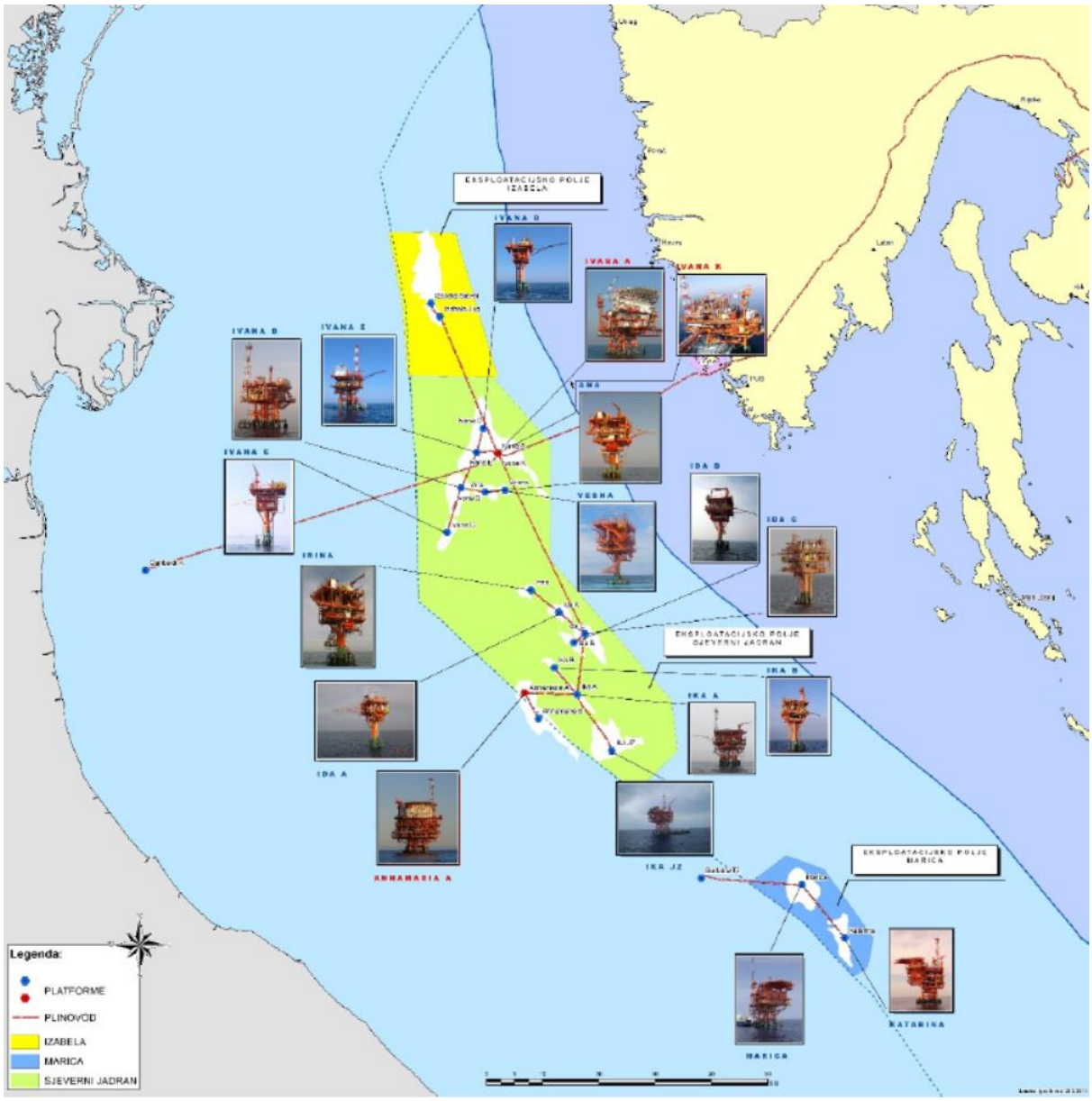
Naziv platforme	Početak proizvodnje	Opis	Visina platforme iznad mora [m]	Ukupna težina platforme [t]	Težina nadgrađa [t]	Dubina mora [m]	Udaljenost od obale [km]
Ivana A	22.10. 1999.	Na 4 noge, 3 palube sa stalnom posadom i radno-stambenim prostorom za 37 osoba	34,1	2442	1219	42,3	36
Annamaria A	03.11. 2009.	Na 4 noge, sa procesnim palubama na 5 etaža i stambenim dijelom za 19 osoba, pristan za brodove i heliodrom	41,3	4218	2144	57,3	61.4
Katarina	11.12. 2006.	Platforma na 4 noge	33,4	2462	1212	70	56,5



Slika 4-3. Platforme Ivana A, Annamaria A i Katarina (Izvor: Fatović, 2016.)

U diplomskom radu nije razmatrana nosivosti i statička stabilnost konstrukcije platforme. Odabrane platforme su konstrukcije na 4 noge stoga je premisa da će se postavljanje vjetroagregata vršiti na jednaki način na sve tri platforme, no bilo kakvo daljnje detaljno razmatranje prenamjene svih platformi iziskuje dodatna istraživanja, ispitivanja i znanja. Također, važno je napomenuti kako su temelja vjetroagregata odobalnih

vjetroelektrana najčešće monopodi, stoga nosivost i statička stabilnost platforme na 4 noge ne bi trebala biti upitna.



Slika 4-4. Odobalna postrojenja na Jadranu (Izvor: Elaborat o zaštiti okoliša ekspolatacijskog polja „Marica“)

4.1.2. Prijedlog iskorištavanja električne energije proizvedene iz odobalne vjetroelektrane

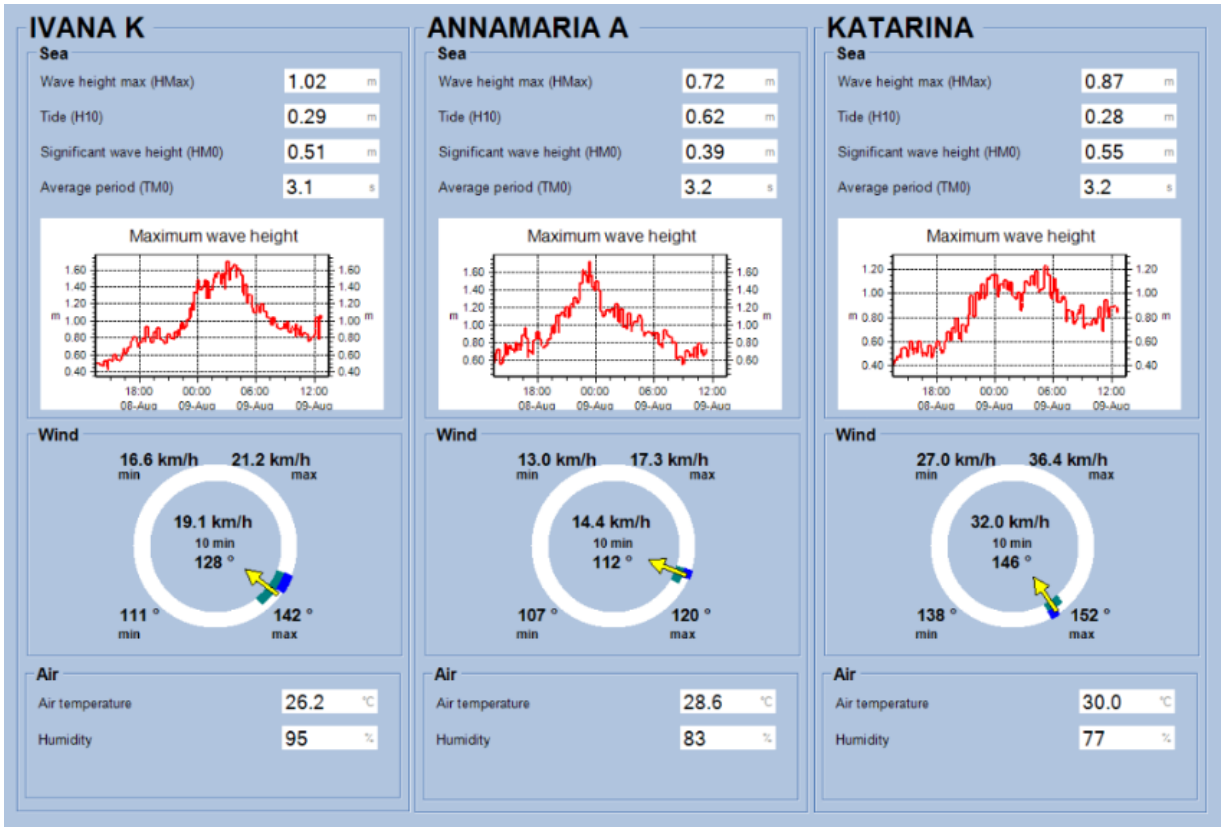
U novije vrijeme uobičajena praksa je da se energija proizvedena iz vjetroelektrana prodaje na elektroenergetskom tržištu po tržišnoj ili poticajnoj cijeni. Jedno od rješenja koje se u Hrvatskoj trenutno ne primjenjuje ali je u svijetu posljednjih nekoliko godina uobičajeno je sklapanje Ugovora o otkupu električne energije između dviju kompanija. S obzirom da

INA d.d. ima nekoliko sektora, ovim radom biti će razrađen prijedlog prodaje proizvedene električne energije iz odobalne vjetroelektrane izravno Sektoru Rafinerija nafte Rijeka po ugovorom definiranoj otkupnoj cijeni. S tim u vidu u radu će biti dan i prijedlog postavljanja baterijskog sustava kao načina skladištenja viška proizvedene električne energije koja će se koristiti u razdobljima smanjene proizvodnje ili u razdoblju kada proizvodnje u potpunosti nema.

4.3. ANALIZA BRZINE VJETRA NA ODABRANIM LOKACIJAMA

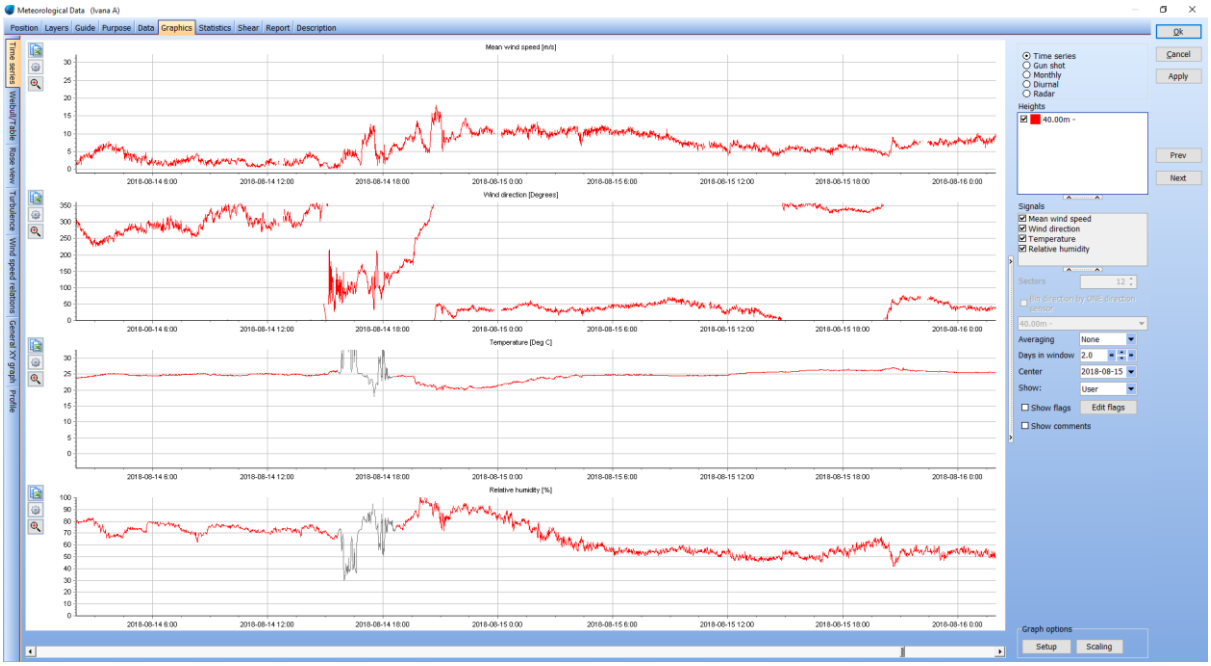
Za lokacije na kojima se nalaze platforme Ivana A (44°26'39.1"N, 13°10'31.4"E), Annamaria A (44°12'53.6"N 13°13'27.1"E) i Katarina (43°35'31.6"N 14°03'46.8"E) od INA Jadran d.o.o. dobiveni su minutni podaci o vjetru za razdoblje od 01. siječnja 2015. godine do 31. prosinca 2018. godine.

Podaci o vjetru mjere se pomoću mjerne postaje „Vaisala AWS 430“ na kojoj se nalazi ultrazvučni uređaj za praćenje smjera i brzine vjetra (osjetnik WMT700 ultrasonic) te uređaj za praćenje temperature i vlažnosti zraka (osjetnik HMP 155). Mjerna postaja dodatno ima i uređaj za praćenje visine valova.



Slika 4-5. Primjer sučelja programa za praćenje podataka sa mjerne postaje Vaisala (Izvor: INA Jadran d.o.o.)

Na platformi Ivana A mjerna postaja je smještena na visini od 40 metara, dok se na platformama Annamaria A i Katarina mjerne postaje nalaze na visini od 10 metara. Od mjerenih podataka za detaljnu analizu u programu windPRO obrađene su brzine i smjerovi vjetra te temperatura i vlažnost zraka.



Slika 4-6. Sučelje programa windPRO, modula za obradu podataka, primjer Ivana A

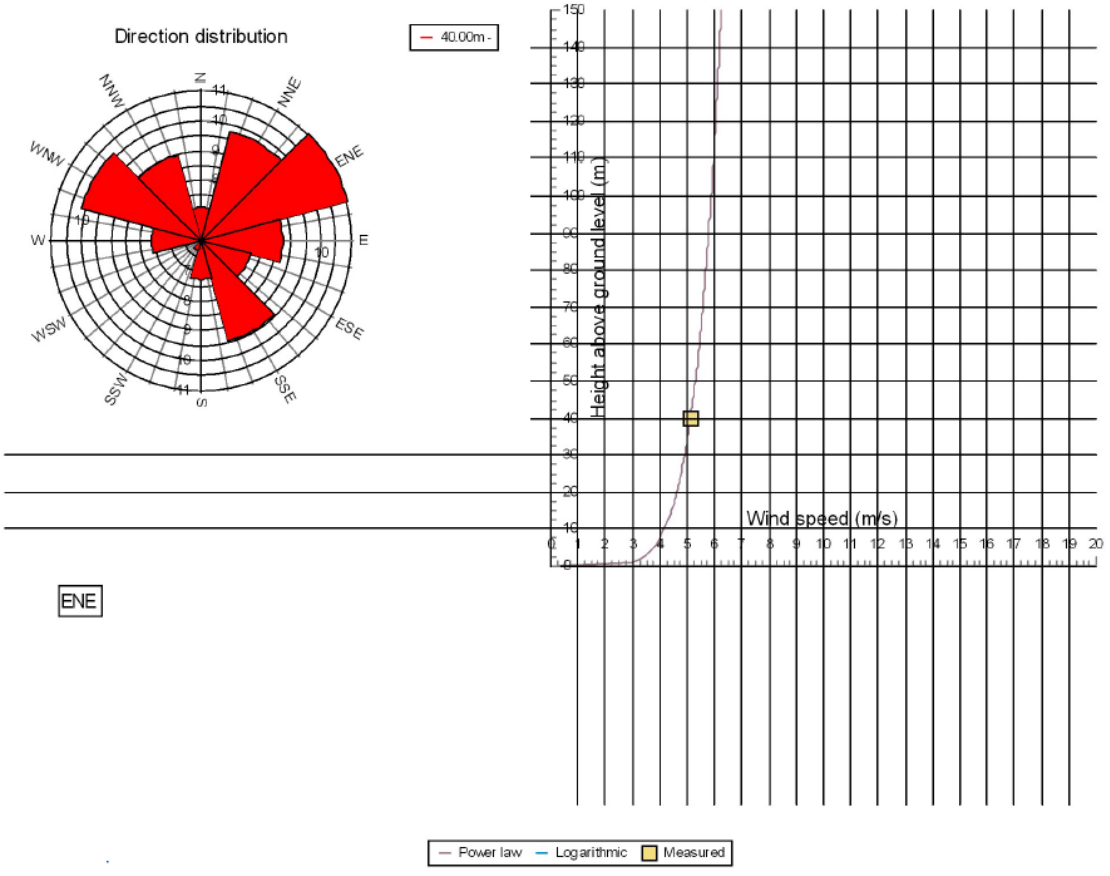
Uobičajena praksa kod mjerenja vjetra na lokacijama buduće vjetroelektrane je mjerenje podataka na najmanje tri različite visine, od koji bi jedna trebala biti 2/3 predviđene visine rotora vjetroagregata. Također, najniža visina na koju se postavljaju anemometri je 40 metara, dok se na 10 metara postavljaju samo uređaji za mjerenje temperature, tlaka i vlažnosti zraka.

U ovom slučaju vjetar se mjeri na najnižim visinama te postoji samo jedna izmjerena vrijednost brzine vjetra na svakoj platformi što značajno otežava korelaciju podataka i izradu preciznih pretpostavka proizvodnje. Korelacija promjene brzine vjetra s porastom nadmorske visine izrađena je pomoću MCP (Measure Correlate Predict) metode u windPro programu.

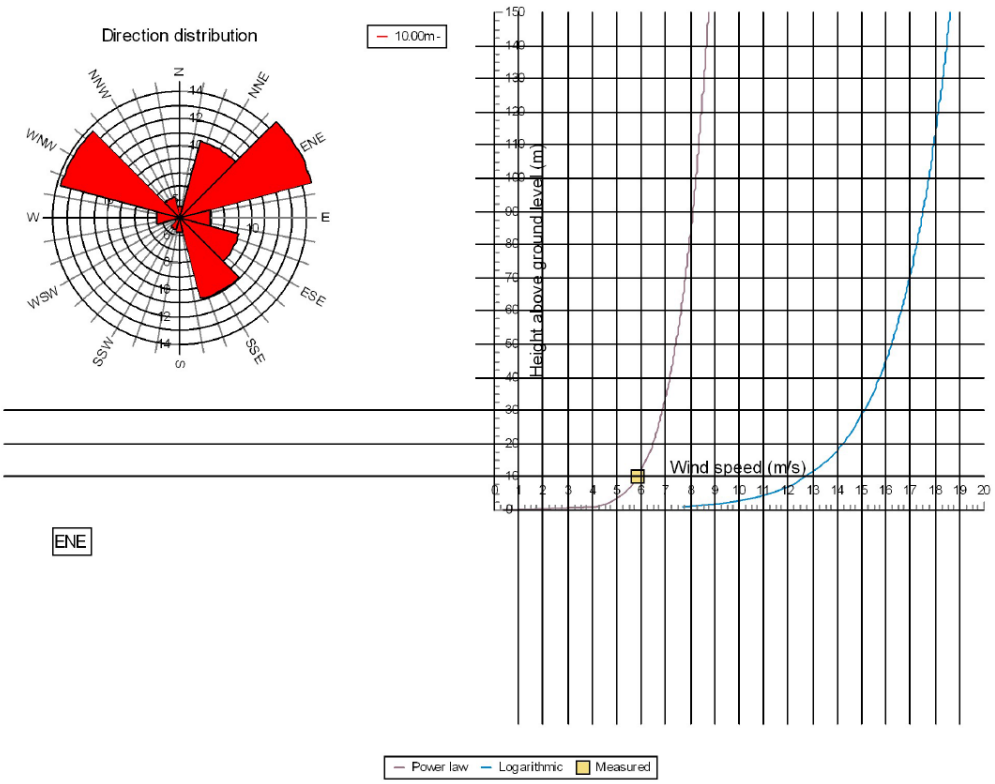
Rezultati obrađenih podataka za sve tri lokacije prikazani su u tablici 4-2 i na slikama 4-7, 4-8 i 4-9.

Tablica 4-2. Analiza vjetra, temperatura i vlažnosti zraka na odabranim lokacijama

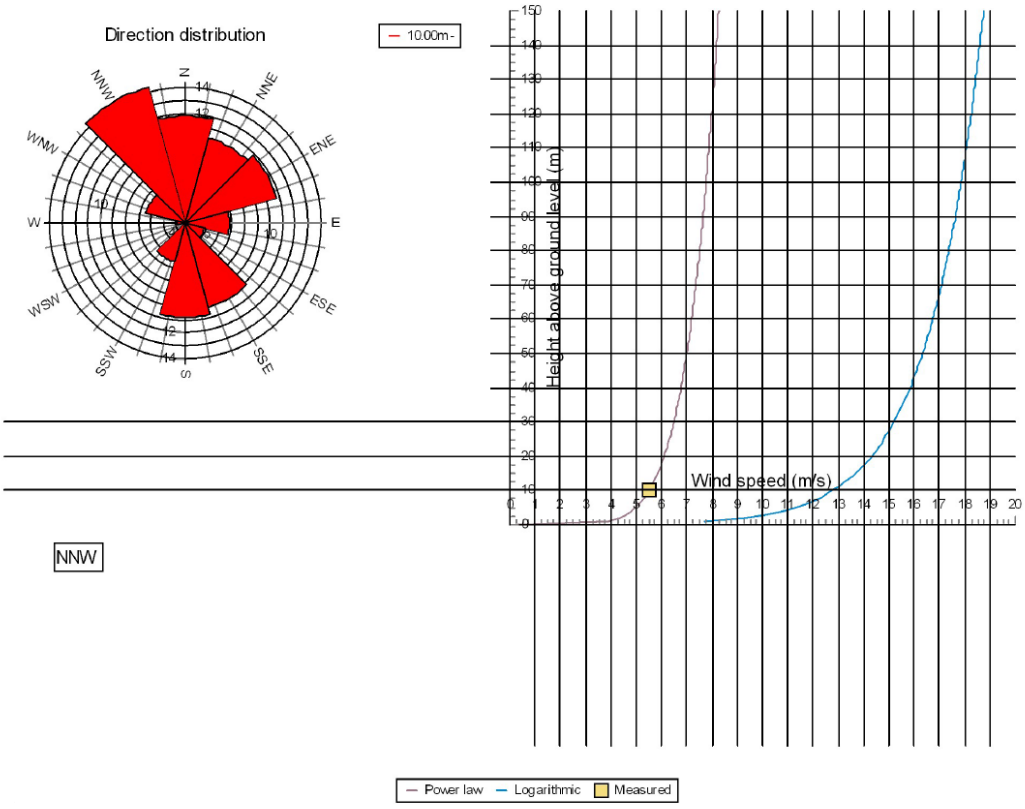
Obrada podataka za vremensko razdoblje: 2015-01-01 do 2018-12-31 [48 mjeseci]			
Naziv platforme	Ivana A	Annamaria A	Katarina
Lokacija platforme	44°26'39.1"N, 13°10'31.4"E	44°12'53.6"N 13°13'27.1"E	43°35'31.6"N 14°03'46.8"E
Visina mjernog stupa [m]	40	10	10
Valjani podaci [%]	92,6	94,2	78,1
Srednja brzina vjetra [m/s]	5,21	5,76	5,48
Maksimalna brzina vjetra [m/s]	32,2	39,9	29,9
Srednja temperatura [°C]	15,78	17,57	18,76
Srednja vlažnost zraka [%]	73,28	64,85	62,43



Slika 4-7. Analiza brzine vjetra na platformi Ivana A



Slika 4-8. Analiza vjetra na platformi Annamaria A



Slika 4-9. Analiza brzine vjetra na platformi Katarina

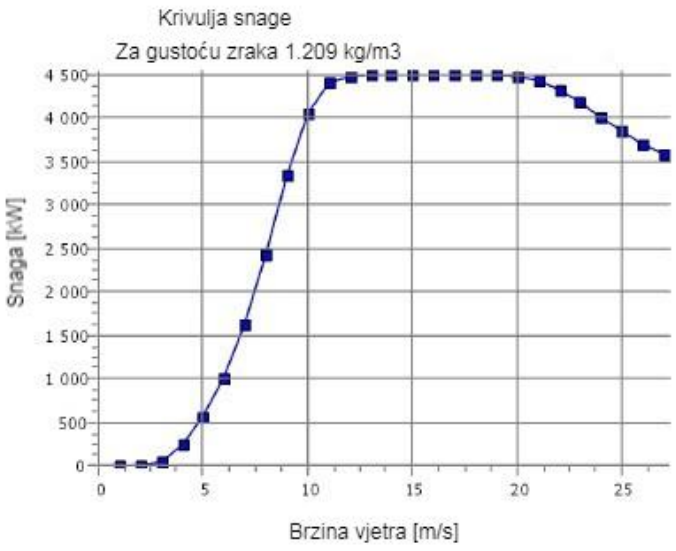
4.4. ANALIZA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ ODOBALNE VJETROELEKTRANE

Nakon obrade podataka o vjetru, vlažnosti zraka i temperaturi u programu windPRO odabrani su najpogodniji vjetroagregati te je izrađeno predviđanje proizvodnje električne energije za svaku lokaciju posebno. Proizvodnja je izrađena na mjesečnoj bazi za razdoblje od 1.siječnja 2015. godine do 31. prosinca 2018. godine, te na satnoj bazi za razdoblje od 1. siječnja do 31.prosinca 2018. godine, a u diplomskom radu će biti prikazana prosječna godišnja pretpostavljena proizvodnja za razdoblje od 1. siječnja 2015. godine do 31. prosinca 2018. godine te mjesečna pretpostavljena proizvodnja za 2018. godinu.

Za ovu odobalnu vjetroelektranu odabrani su vjetroagregati Siemens Gamesa SG 4.5-145 pojedinačne snage 4500 kW. Promjer rotora vjetroagregata iznosi 145 m, a područje pokrivanja je 16513 m^2. Duljina pojedine lopatice iznosi 71 m, dok je visina kućišta 127,5 m. Odabrani vjetroagregat radi pri brzinama vjetra od 3 m/s do 27 m/s.

Krivulja snage
Gustoća zraka: 1.225 kg/m3

Brzina vjetra [m/s]	Snaga [kW]	Cp	Brzina vjetra [m/s]	Ct krivulja
3.0	57.0	0.21	3.0	0.89
4.0	243.0	0.38	4.0	0.84
5.0	556.0	0.44	5.0	0.82
6.0	1 010.0	0.46	6.0	0.82
7.0	1 640.0	0.47	7.0	0.82
8.0	2 459.0	0.47	8.0	0.80
9.0	3 376.0	0.46	9.0	0.73
10.0	4 105.0	0.41	10.0	0.60
11.0	4 440.0	0.33	11.0	0.45
12.0	4 491.0	0.26	12.0	0.34
13.0	4 498.0	0.20	13.0	0.26
14.0	4 500.0	0.16	14.0	0.20
15.0	4 500.0	0.13	15.0	0.16
16.0	4 500.0	0.11	16.0	0.14
17.0	4 500.0	0.09	17.0	0.11
18.0	4 499.0	0.08	18.0	0.10
19.0	4 495.0	0.06	19.0	0.08
20.0	4 475.0	0.06	20.0	0.07
21.0	4 423.0	0.05	21.0	0.06
22.0	4 326.0	0.04	22.0	0.05
23.0	4 185.0	0.03	23.0	0.04
24.0	4 020.0	0.03	24.0	0.04
25.0	3 856.0	0.02	25.0	0.03
26.0	3 709.0	0.02	26.0	0.03
27.0	3 593.0	0.02	27.0	0.03



Slika 4-10. Krivulja snage odabranog vjetroagregata Siemens Gamesa SG 4.5-145

Razvojem sve snažnijih odobalnih vjetroagregata, koji kod Siemens Gamesa trenutno sežu i do 10 MW, odabrani vjetroagregat trenutno nije u komercijalnoj upotrebi, ali je u ovom radu predložen kao optimalan vjetroagregat s obzirom na lokaciju i nepoznavanje podataka o statici platformi. Također, prema godišnjem izvješću WindEurope Siemens

Gamesa je do kraja 2018. godine u Europi bio vodeći proizvođač vjetroagregata sa 62% udjela na tržištu, odnosno sa 245 postavljenih vjetroagregata ukupne snage 1655 MW.



Slika 4-11. Postavljanje Siemens vjetroagregata na monopod (Izvor: Siemens Gamesa)

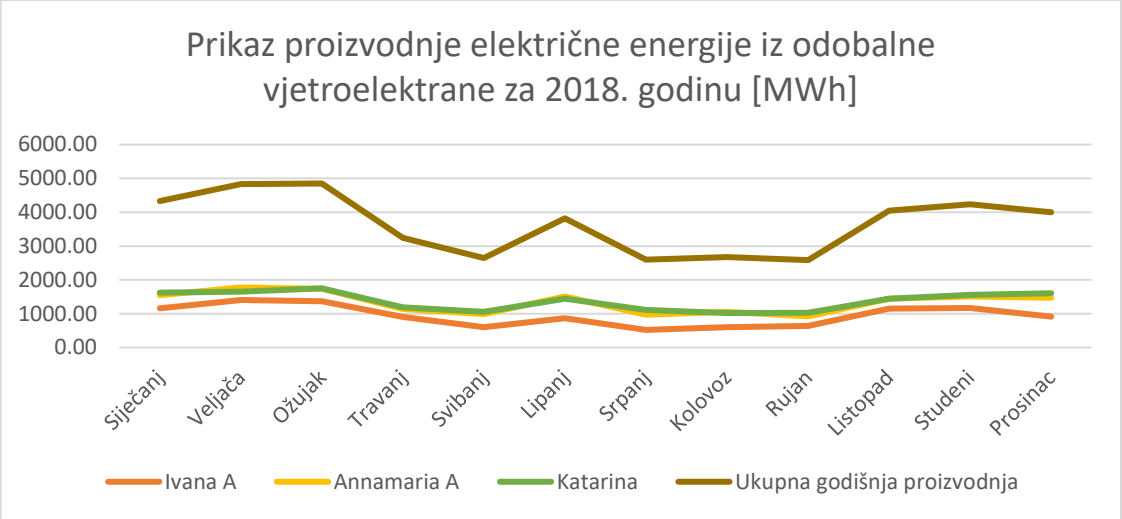
Rezultati analize prosječne godišnje pretpostavljene proizvodnje električne energije iz odabranih vjetroagregata dani su u tablici 4-3. dok je mjesečna pretpostavljena proizvodnja prikazana na grafom 4-1. i tablicom 4-4.

Tablica 4-3. Godišnja pretpostavljena proizvodnja energije iz odobalne vjetroelektrane na Jadranu

Prosječna godišnja proizvodnja električne energije iz odobalne vjetroelektrane na Jadranu					
Mjerno mjesto	Snaga vjetroagregata [MW]	Visina kućišta [m]	Srednja brzina vjetra [m/s]	Proizvedena energija [MWh]	Faktor kapaciteta [%]
Ivana A	4,5	127,5	5,9	12 028,50	30,5
Annamaria A	4,5	127,5	7,1	15 902,30	40,3
Katarina	4,5	127,5	6,8	15 412,90	39,1
Ukupno	**13,5**	127,5	6,6	**43 343,70**	36,6

Iz tablice 4-2. vidljivo je da će ukupna snaga vjetroelektrane biti 13,5 MW te da je prosječna godišnja pretpostavljena proizvodnja iz vjetroelektrane 43,3 GWh. Proizvodnja će u prosjeku biti najveća na lokaciji platforme Annamaria A, nešto manja na lokaciji platforme Katarina, dok je na, u ovom slučaju, najsjevernijoj platformi Ivana A pretpostavljena proizvodnja u prosjeku za oko 3 GWh manja.

Za usporedbu je prikazan i faktor kapaciteta koji predstavlja omjer stvarno proizvedene energije za vrijeme cijelog razdoblja praćenja podataka i energije koju bi vjetroelektrana proizvela da kroz cijelo razdoblje radi punom nazivnom snagom.



Graf 4-1. Prikaz proizvodnje energije iz odobalne vjetroelektrane na Jadranu za 2018. godinu

Iz grafa 4-1., koji pokazuje mjesečnu pretpostavljenu proizvodnju za 2018. godinu na sve tri lokacije zasebno te ukupnu pretpostavljenu proizvodnju, vidljiva je ranije spomenuta manja pretpostavljena proizvodnja na lokaciji platforme Ivana A, dok je pretpostavljena proizvodnja na lokacijama platforma Annamaria A i Katarina približno jednaka. Također, iz grafa je vidljiva uobičajena veća proizvodnja u jesenskim i zimskim mjesecima.

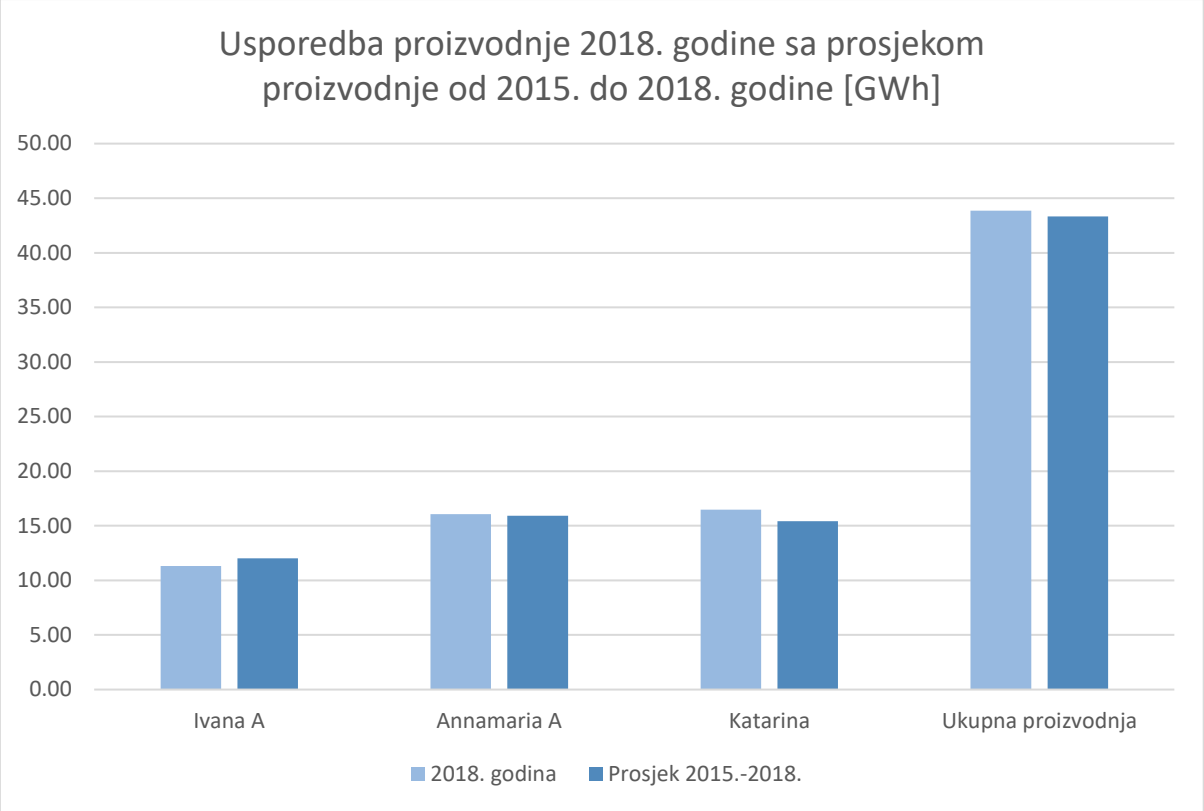
Tablica 4-4. Mjesečna proizvodnja energije iz odobalne vjetroelektrane za 2018. godinu

Mjesečna proizvodnja odobalne vjetroelektrane	
2018. godina	MWh
Siječanj	4333,65
Veljača	4830,21
Ožujak	4849,66
Travanj	3239,34
Svibanj	2647,64
Lipanj	3822,73
Srpanj	2602,54
Kolovoz	2671,25
Rujan	2584,09
Listopad	4042,17
Studeni	4234,89
Prosinac	3996,79
Ukupno	**43854,95**

U tablici 4-4. dana je detaljna mjesečna pretpostavljena proizvodnja iz odobalne vjetroelektrane ukupne snage 13,5 MW za 2018. godinu. Ukoliko usporedimo ukupnu godišnju pretpostavljenu proizvodnju za 2018. godinu sa prosječnom godišnjom pretpostavljenom proizvodnjom za razdoblje od 2015. do 2018. godine uočiti ćemo približno slične rezultate.

Tablica 4-5. Usporedba proizvodnje energije iz odobalne vjetroelektrane za različita razdoblja promatranja

	2018. godina [GWh]	Srednja brzina vjetra 2018. godina [m/s]	Prosjek 2015.-2018. [GWh]	Srednja brzina vjetra 2015.-2018. [m/s]
Ivana A	11,30	5,6	12,03	5,9
Annamaria A	16,07	7,2	15,90	7,1
Katarina	16,48	7,1	15,41	6,8
Ukupna proizvodnja	**43,85**	**6,6**	**43,34**	**6,6**



Graf 4-2. Usporedba proizvodnje energije iz odobalne vjetroelektrane za različita razdoblja promatranja

Iz tablice 4-5. i grafa 4-2. vidljiva je gotovo jednaka pretpostavljena proizvodnja za oba perioda. Za 2018. godinu ukupna pretpostavljena proizvodnja povećana je za 510 MWh u odnosu na četverogodišnji prosjek, a sukladno tome je povećana i pretpostavljena proizvodnja na platformama Annamaria A i Katarina na čijim lokacijama je izmjerena i nešto veća srednja brzina vjetra. Na platformi Ivana A za 2018. godinu pretpostavljena proizvodnja manja je u odnosu na četverogodišnji prosjek, a manja je i izmjerena srednja brzina vjetra.

4.4.1. Analiza potencijalne proizvodnje električne energije prenamjenom svih proizvodnih postrojenja na Jadranu u odobalnu vjetroelektranu

Bez mjerenja podataka o vjetru, temperaturi, tlaku i vlažnosti zraka na ranije definiranim visinama teško je tečno odrediti proizvodnju električne energije prenamjenom svih platformi na Jadranu u odobalnu vjetroelektranu, no za potrebe ovog diplomskog rada i istraživanja mogućnosti skladišnog baterijskog sustava izrađena je i takva analiza.

S obzirom da su platforme Ivana A, Annamaria A i Katarina locirane na sjevernoj, južnoj i središnjoj poziciji svih postojećih proizvodnih postrojenja na Jadranu, sve platforme su podijeljene u tri skupine:

- platforme najbliže smještene platformi Ivana A: sve platforme plinskog polja Izabela, sve platforme plinskog polja Ivana te platforme Vesna i Ana – ukupno 10 platformi
- platforme najbliže smještene platformi Annamaria A: sve platforme plinskog polja Ida, sve platforme plinskog polja Ika, platforma Irina i platforma Annamaria A – ukupno 8 platformi
- platforme najbliže smještene platformi Katarina: platforme eksploatacijskog polja Marica – ukupno 2 platforme.

Sa takvom podjelom platformi izrađene su što analize brzine vjetra i mogućnosti proizvodnje električne energije na satnoj bazi prema istoj metodi kojom su analizirane vrijednosti za Ivanu A, Annamariu A i Katarinu za 2018. godinu. U obzir su uzeti isti vjetroagregati, a ukupna snaga takve odobalne vjetroelektrane iznosila bi 90 MW.

Tablica 4-6. Godišnja proizvodnja električne energije prenamjenom svih postojećih platformi

Godišnja proizvodnja			
S1	**S2**	**S3**	**S1+S2+S3**
[MWh]	[MWh]	[MWh]	[GWh]
112994,61	128598,73	32969,62	**274,563**

U tablici 4-6. prikazana je ukupna godišnja proizvodnja električne energije koja bi bila ostvarena prenamjenom svih postojećih platformi na Jadranu u odobalnu vjetroelektranu, a prema podacima za 2018. godinu pretpostavlja se da bi proizvodnja bila 274,6 GWh.

Iz skupine 1 (S1), koja uključuje platforme u blizini Ivane A, dobivena je pretpostavljena proizvodnja od 113 GWh, iz skupine 2 (S2), koja uključuje platforme u blizini Annamarie A, dobivena je pretpostavljena proizvodnja od 128,6 GWh, dok je iz skupine 3 (S3), koja uključuje platforme Katarinu i Maricu, dobivena godišnja proizvodnja od 33 GWh.

4.5. ANALIZA MOGUĆNOSTI SKLADIŠTENJA PROIZVEDENE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Proizvodnja električne energije iz energije vjetra nije konstantna i kao takva, bez sagledavanja drugih oblika energije, može stvarati značajne probleme u elektroenergetskom sustavu. Sinergija s drugim oblicima obnovljivih i konvencionalnih izvora energije te razvoj tzv. „pametnih“ mreža i sustava može smanjiti intermitentnost odobalnih vjetroelektrana. Osim sinergije s drugim sustavima ravnotežu sustava moguće je ostvariti i uvođenjem fleksibilnog sustava za skladištenje energije kao što je baterijski sustav.

U Nizozemskoj je sredinom 2019. godine postavljen baterijski sustav kapaciteta 10 MWh koji osigurava stabilnost proizvodnje električne energije iz vjetroelektrane Hartel, ukupne snage 24 MW i predviđene proizvodnje 68 GWh godišnje. Baterijski sustav na ovoj vjetroelektrani poslužiti će kao testni primjer za sustave još većih kapaciteta koji će u budućnosti osigurati veću fleksibilnost. Također, u sklopu Vattenfallove nizozemske hibridne elektrane Haringvliet biti će postavljen baterijski sustav kapaciteta 12 MWh, a osiguravati će fleksibilnost vjetroelektrane snage 22 MW i sunčane elektrane snage 38 MW.

Osim što je postavila prvu plutajuću vjetroelektranu, kompanija Equinor postavila je 2019. godine prvi baterijski sustav vezan na neku odobalnu vjetroelektranu. Sustav naziva Batwind ima kapacitet 1 MWh, a spojen je na prvu plutajuću vjetroelektranu Hywind.

U sklopu postojeće britanske vjetroelektrane Burbo Bank, izgrađene 2007. godine, ukupne snage 90 MW kompanija Ørsted postaviti će dva baterijska sustava. Ukupan kapacitet baterijskih sustava trenutno je poslovna tajna.

4.5.1. Natrij-ionski baterijski sustav

Natrij-ionski baterijski sustav je, pojednostavljeno, baterijski sustav na bazi slane vode. Sama tehnologija počela se razvijati još 1979-ih i 1980-ih godina, a najveća prepreka značajnijoj upotrebi je sama veličina sustava, manja gustoća energije i duže vrijeme pražnjenja i punjenja u odnosu na druge trenutno dostupne tehnologije.

Najznačajnije prednosti ovog sustava, zbog kojeg su i predložene u ovom radu, su: dostupnost natrija, mogućnost potpunog punjenja i pražnjenja baterije (100% DOD - količina pražnjenja (Degree of Depletion)), dug životni vijek uz 5000 ciklusa te sigurna, nezapaljiva, netoksična, neeksplozivna i potpuno reciklirajuća tehnologija.

Tablica 4-7. Usporedba natrij-ionske i litij-ionske tehnologije

	Natrij-ionske baterije GreenRock	**Litij-ionske baterije**
DOD (količina pražnjenja)	100%	85%
Gustoća energije	120 Wh/kg	100-265 Wh/kg
Životni vijek	15 godina	do 10 godina
Broj ciklusa	5000	2000-4000
Temperatura	- 5°C do 50°C	5°C do 45°C (- 20°C do 60°C)
Dimenzije sustava 30 kWh (WxHxD)	1440x1234x1086 mm	1005x800x600 mm

Kao primjer skladišnog sustava na bazi natrij-ionske tehnologije dan je austrijski GreenRock baterijski sustav koji trenutno ima sustave do 300 kWh ali razvija i sustave većih kapaciteta. GreenRock baterijski sustav uključuje i EMS sustav (Energy Management System) koji je u mogućnosti u potpunosti regulirati punjenje i pražnjenje baterije iz različitih energetskih sustava kao što su vjetroelektrana i sunčana elektrana.



Slika 4-12. Konstrukcija natrij-ionske baterije (Izvor: GreenRock)

4.5.2. Analiza načina rada skladišnog baterijskog sustava

Kod proračuna kapaciteta skladišnog sustava važno je poznavati satnu potrošnju električne energije kako sustav ne bi bio prekapacitiran ili podkapacitiran. U slučaju da satna

potrošnja nije poznata skladišni sustav se dimenzionira na način da pokriva 50% kapaciteta dnevne proizvodnje električne energije.

U ovom diplomskom radu predlaže se prodaja proizvedene električne energije kompaniji INA d.d., Sektoru rafinerije nafte Rijeka. U tom slučaju baterijski sustav nalazio bi se u samoj rafineriji ili njezinoj neposrednoj blizini.

Iz kompanije INA d.d. dobiveni su podaci o godišnjoj potrošnji električne energije u rafineriji Rijeka, dok su mjesečni i satni podaci poslovna tajna kompanije. Prema dobivenim podacima godišnja potrošnja električne energije u rafineriji Rijeka iznosi 202 GWh.

S obzirom da pretpostavljena proizvodnja električne energije iz predložene odobalne vjetroelektrane snage 13,5 MW zadovoljava tek jednu petinu ukupne godišnje potrošnje električne energije u rafineriji stvarna potreba za skladišnim sustavom neće biti potrebna. Ukoliko u obzir uzmemo prenamjenu svih odobalnih postrojenja u vjetroelektranu, koja bi imala ukupnu snagu 90 MW, tada baterijski sustav ima smisla jer ukupna godišnja proizvodnja premašuje godišnju potrošnju rafinerije Rijeka, te se u određenom periodu očekuju i viškovi koji bi se prodavali na tržištu električne energije putem CROPEX-a.

Uzevši u obzir potrošnju električne energije od 202 GWh i pretpostavljenu prosječnu dnevnu proizvodnju iz odobalne vjetroelektrane od 752 MWh, na lokaciji u rafineriji Rijeka predlaže se postavljanje skladišnog sustava kapaciteta 350 MWh.

Tablica 4-8. Prikaz odabranog skladišnog baterijskog sustava na temelju prikupljenih i proračunatih podataka

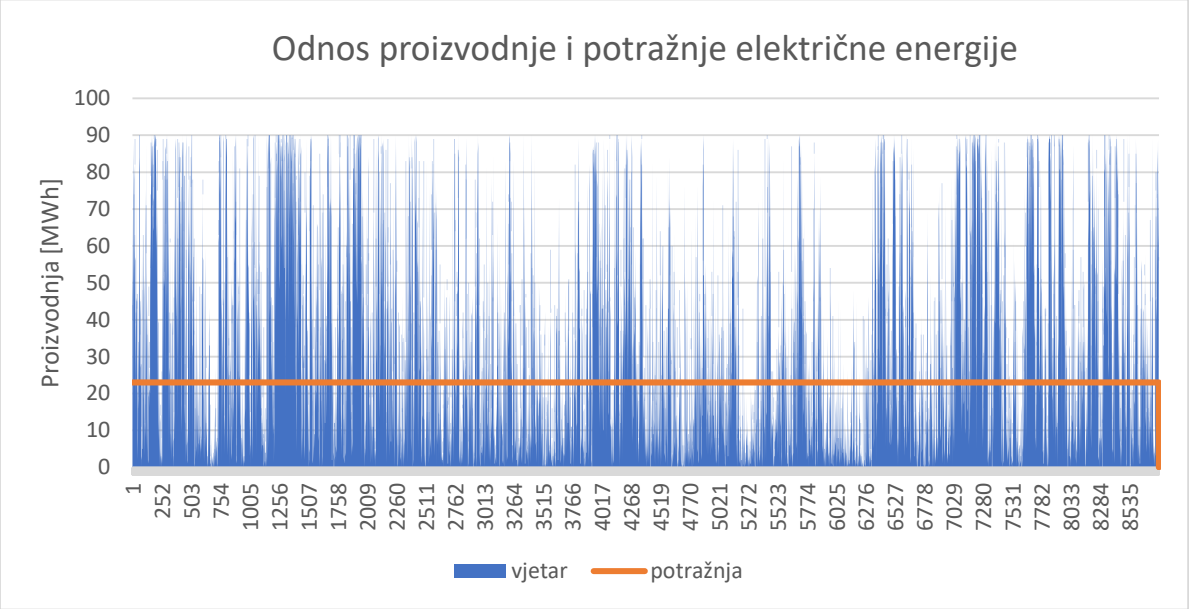
Godišnja potrošnja električne energije u rafineriji nafte Rijeka	202 GWh
Snaga odobalne vjetroelektrane	90 MW
Pretpostavljena godišnja proizvodnja iz odobalne VE	274,6 GWh
Prosječna pretpostavljena dnevna proizvodnja iz odobalne VE	752 MWh
Pretpostavljeni skladišni baterijski sustav	350 MWh
Potreban prostor za GreenRock baterijski sustav	oko 7780 m2

GreenRock baterijski sustav ima mogućnost postavljanja baterijskih modula jedan na drugi do tri komada, te kod trenutno dostupnih modula 90 kWh zauzima oko 2 m^2. U tom

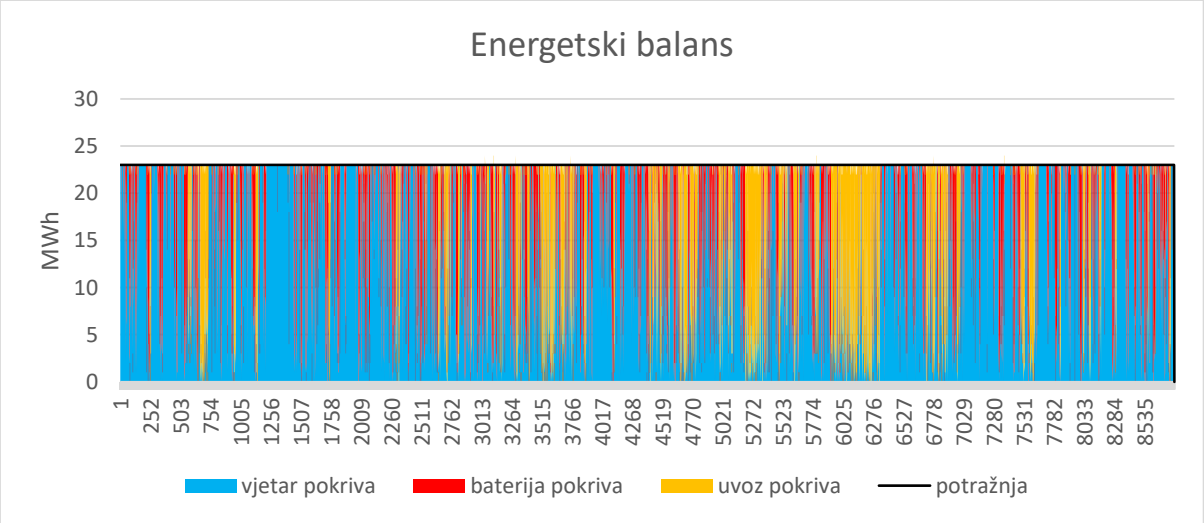
slučaju će pretpostavljeni sustav kapaciteta 350 MWh na lokaciji rafinerije Rijeka zahtijevati oko 7780 m^2 prostora.

Način rada predloženog baterijskog sustava izrađen je u računalnom programu EnergyPLAN, te su dobiveni podaci dani u tablicama 4-9, 4-10, 4-11, 4-12 te grafu 4-3.

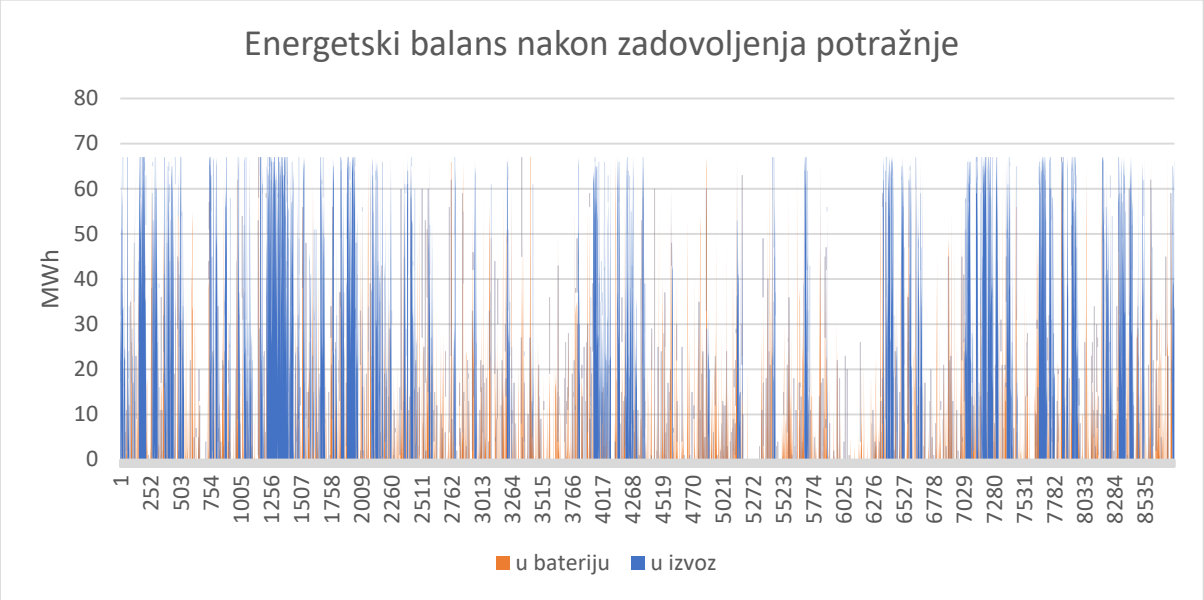
Tablica 4-9. Odnos proizvodnje iz vjetroelektrane snage 90 MW i potražnje iz rafinerije Rijeka



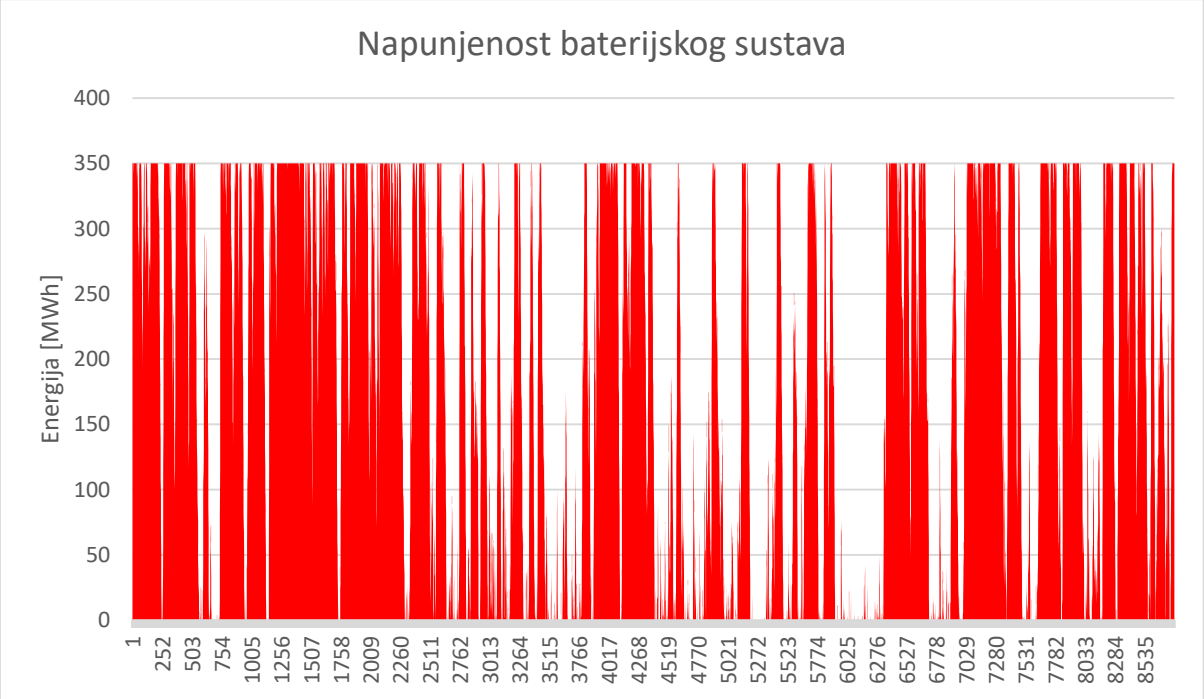
Tablica 4-10. Energetski balans proizvodnje, potražnje, baterijskog sustava i uvoza

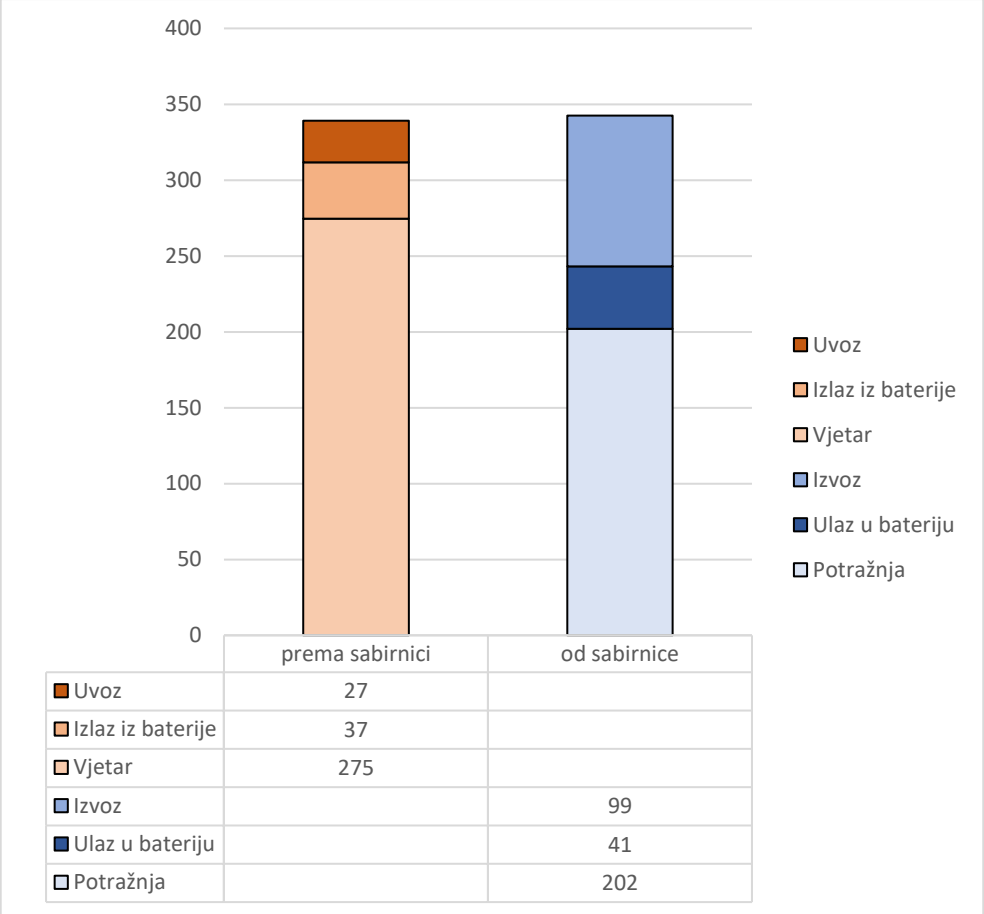


Tablica 4-11. Energetski balans nakon zadovoljenja potražnje



Tablica 4-12. Napunjenost baterijskog sustava





	prema sabirnici	od sabirnice
Uvoz	27	
Izlaz iz baterije	37	
Vjetar	275	
Izvoz		99
Ulaz u bateriju		41
Potražnja		202

Graf 4-3. Prikaz proizvodnje, potrošnje, načina rada baterijskog sustava, uvoza i izvoza (otkupa i prodaje) električne energije [GWh]

4.6. EKONOMSKA ANALIZA PRENAMJENE ODOBALNOG POSTROJENJA NA JADRANU U ODOBALNU VJETROELEKTRANU

U Hrvatskoj do danas nije izgrađena niti jedna odobalna vjetroelektrana, pa je izrazito teško precizno dati ekonomsku analizu takvog slučaja. Primjer prenamjene odobalnog naftnog ili plinskog postrojenja u vjetroelektranu ne postoji nigdje u svijetu, što samo po sebi nameće niz nepoznanica i tehnološko-ekonomskih pitanja i problema koji bi se u stvarnom slučaju mogli pojaviti.

Za potrebe izrade što preciznije ekonomske analize u ovom diplomskom radu u obzir će se uzeti poznati ekonomski parametri izgradnje konvencionalne fiksne odobalne vjetroelektrane kao što su kapitalni i operativni troškovi, diskontna stopa ili WACC (weighted average cost of capital) i nivelizirani troškovi energije ili LCOE (levelized cost of energy). Za ekonomsku analizu predloženog skladišnog baterijskog sustava biti će dani kapitalni i operativni troškovi te nivelizirani troškovi skladištenja ili LCOS (levelized cost

of storage). Prijedlog cijene CPPA ugovora biti će dan prema sadašnjoj realnoj tržišnoj cijeni u Europi, dok će cijena trgovanja preko CROPEX-a biti računata kao prosječna cijene na dan unaprijed tržištu.

Prilikom izrade ekonomske analize kao relevantni kapitalni i operativni troškovi odobalne vjetroelektrane sagledani su troškovi koje je u studiji „Global energy system based od 100% renewable energy“ izračunalo Sveučilište LUT u travnju 2019. godine i rezultati studije „Parametric CAPEX, OPEX, and LCOE expressions for offshore wind farms based on global deployment parameters“ iz 2018. godine. Dodatno, za LCOE, koji je jednak vrijednosti ukupnih troškova izgradnje i održavanja kroz predviđeni financijski i radni vijek, podatak je preuzet iz studije „Lazard's levelized cost of energy analysis – Version 13.0) koju je u studenom 2019. godine objavila kompanija Lazard.

Sam LCOE uključuje:

- trenutni kapitalni trošak za izgradnju vjetroelektrane, koji u sebi uključuje trošak imaginarne momentalne izgradnje po trenutnim cijenama, a ne sadržava troškove financiranja niti vremensku promjenu troškova te nije reprezentiran kao stvaran trošak izgradnje,
- troškove održavanja vjetroelektrane,
- troškove financiranja,
- pretpostavljeni koeficijent korištenja vjetroelektrane koji odgovara omjeru očekivanog
- broja sati rada postrojenja u godini i cijele godine (8769 sati).

Tablica 4-13. Ekonomska analiza predloženih odobalnih vjetroelektrana

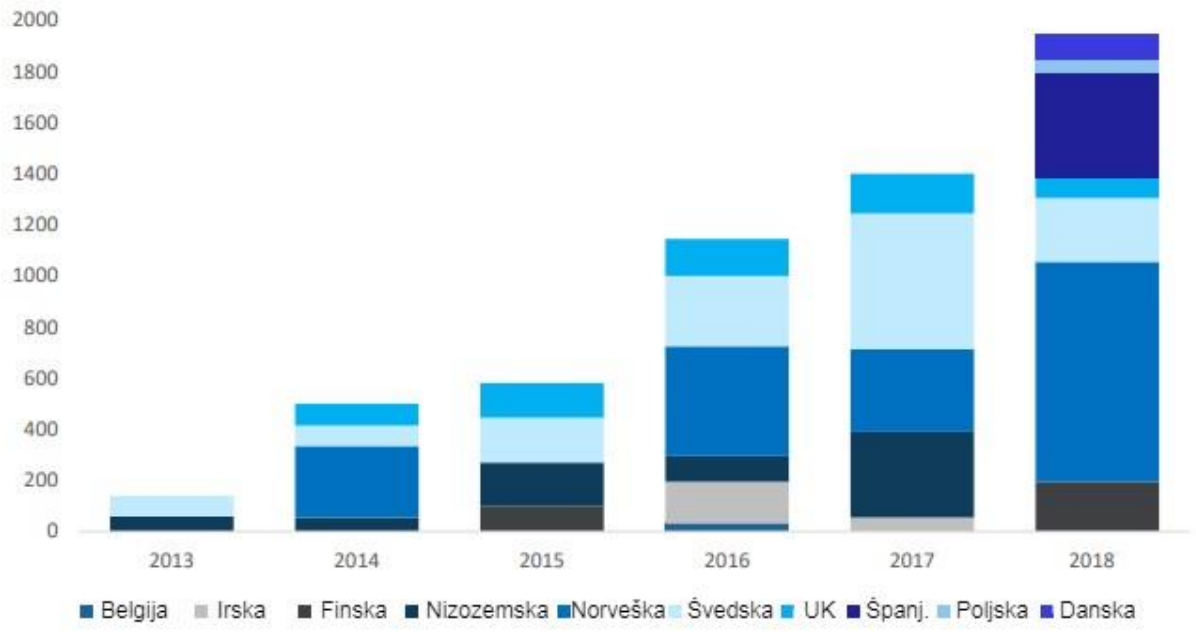
Odabrani vjetroagregat		Siemens Gamesa SG 4.5-145	Siemens Gamesa SG 4.5-146
Snaga odobalne vjetroelektrane	MW	13,5	90
Pretpostavljena godišnja proizvodnja	GWh	43,34	274,56
Vijek rada vjetroelektrane	god	25	25
CAPEX	mil €	20,25	135
OPEX	mil €/god	0,675	4,5
WACC	%	3%	3%
Ukupna ulaganja	mil €	37,63	250,87
LCOE	€/MWh	58,066	51,276
Kupoprodajna cijena	€/MWh	50	50
Povrat ulaganja	god	17,36	18,27

U tablici 4-13. dana je ekonomska analiza prenamjene platformi u odobalnu vjetroelektranu ukupne snage 13,5 MW i 90 MW. Za vjetroelektranu snage 13,5 MW iz tablice je vidljiv predviđeni kapitalni trošak vjetroelektrane u iznosu od 20,25 milijuna €, te ukupni trošak od 37,63 milijuna €, dok za vjetroelektranu snage 90 MW kapitalni troškovi iznose 135 milijuna €, a ukupni troškovi nešto više od 250 milijuna €. U studijama koje su uzete kao referentne kapitalni troškovi iznosili su između 1990 i 2880 €/kW te je isključivo vlastitim iskustvenim analizama postojećih odobalnih i kopnenih vjetroelektrana kao najrealnija cijena predložena 1500 €/kW. Iste studije predlažu operativne troškove u visini od oko 80-90 €/kW/god, dok je iz vlastitih analiza, zbog navedenih razloga, predložena cijena od 50 €/kW/god.

Prilikom definiranja kapitalnih troškova prenamjene platforme u obzir je uzeto da prilikom prenamjene, za razliku od izgradnje nove odobalne vjetroelektrane, nema troškova temelja i postavljanja temelja. Dodatno, do vjetroelektrane se ne bi postavljali elektroenergetski kablovi, već bi se postojeći upuhivali kroz postojeće cjevovode. Visina platforme iznad mora također je uzeta u obzir kao faktor koji bi utjecao na smanjenje same visine stupa vjetroagregata kako bi se kućište vjetroagregata zadržalo na 127,5 m.

Proizvedena električna energija, u predloženom slučaju, ne bi se prodavala na elektroenergetskom tržištu, kao što je to najčešće slučaj, već bi se između tvrtke vlasnika vjetroelektrane (na primjer tvrtka Vjetroelektrana INA d.d.) i INE d.d., Sektor rafinerije nafte Rijeka sklopio Ugovor o kupoprodaji električne energije između dviju kompanija (CPPA).

Takav ugovor uobičajen je u svijetu i vrlo često se primjenjuje kod velikih proizvođača obnovljivih izvora energije i industrijskih ili velikih komercijalnih tvrtki, no u Hrvatskoj kao takav još nije potpisan.



Slika 4-13. Količina potpisanih CPPA ugovora od 2013. do 2018. godine (Izvor: DEA)

Predloženim ugovorom potpisala bi se kupoprodajna cijena u visini od 50 €/MWh što je prosječna cijena sličnih postojećih ugovora koji su najčešće poslovna tajna te studije „Analysis of the Potential for Corporate Power Purchasing Agreements for Renewable Energy Production in Denmark“ objavljene u travnju 2019. godine. U slučaju vjetroelektrane snage 90 MW proizvedeni viškovi bi se putem CROPEX-a na dan unaprijed tržištu prodavali u mrežu po prosječnoj cijeni od 50 €/kWh.

Uzevši u obzir predloženu cijenu od 50 €/MWh dolazimo do povrata ukupnog ulaganja u vjetroelektranu snage 13,5 MW u razdoblju od nešto više od 17 godina. S obzirom da je predviđeni vijek rada vjetroelektrane 25 godina, možemo zaključiti da bi se zarada od proizvedene električne energije kod vjetroelektrane snage 13,5 MW ostvarivala narednih nešto manje od 8 godina, te bi uz predviđenu cijenu električne energije od 50 €/MWh iznosila oko 17,34 milijuna €.

Kod vjetroelektrane snage 90 MW predviđeno razdoblje povrata uloženih sredstava iznosi nešto više od 18 godina, no u taj izračun nije uzet skladišni baterijski sustav. Kada bi se u obzir uzimao baterijski sustav tada je potrebno uračunati i zaradu ostvarenu od prodaje viška energije putem CROPEX-a. S obzirom da je cijena dogovorena prema CPPA ugovoru

i prosječna cijena predviđena na dan unaprijed tržištu jednaka, prema grafu 4-3. sve od sabirnice možemo računati prema jednakoj prodajnoj cijeni.

Prilikom ekonomske analize natrij-ionskog skladišnog baterijskog sustava u obzir su uzeti stvarni kapitalni i operativni troškovi dani od proizvođača. Za usporedbu su u tablici 4-14. dane cijene i karakteristike litij-ionskog baterijskog sustava definirane stvarnim dostupnim cijenama na tržištu. Operativni troškovi litij-ionskih baterija nisu poznati.

Tablica 4-14. Ekonomska analiza skladišnog baterijskog sustava

Baterijski sustav	Na-ion GreenRock	Li-ion
Kapacitet sustava	350 MWh	350 MWh
CAPEX	175 mil €	140 mil €
OPEX	-	
LCOS	0,045 – 0,090 €/kWh	0,21 /kWh

Prema analiziranim podacima vidljiva je minimalna razlika u samom kapitalnom trošku, a u obzir treba uzeti prednosti natrij-ionskog baterijskog sustava koji nema operativnih troškova, ima duži vijek trajanja i veći broj ciklusa. Također, takav sustav ima dodatne prednosti kao što su nezapaljivost, neeksplozivnost i netoksičnost koje značajne kod razmatranja postavljanja skladišnog baterijskog sustava na lokaciju kao što je rafinerija.

Ukoliko se uz kapitalne i operativne troškove izgradnje odobalne vjetroelektrane snage 90 MW uračuna i izgradnja baterijskog sustava kapaciteta 350 MWh, te se prodaja proizvedene električne energije računa prema CPPA ugovoru, a prodaju viška energije na dan unaprijed tržištu CROPEX-a, povrat cijele investicije iznosi 25,9 godina. Važno je napomenuti kako je vijek rada baterijskog sustava 15 godina, odnosno 5000 ciklusa, što znači da bi za cijeli vijek rada vjetroelektrane bilo potrebno uložiti dodatna sredstva u zamjenu baterijskog sustava. Ukoliko na taj način računamo zamjenu baterijskog sustava istim nakon 15 godina, po jednakom kapitalnom trošku, povrat uloženih sredstava povećava se na više od 36 godina.

Trenutna tehnologija baterijskih sustava te ukupna financijska ulaganja u baterijske sustave ovakvu vjetroelektranu sa baterijskim sustavom, prema sadašnjim cijenama električne energije, čine neisplativom. Razvoj tehnologije baterijskih sustava, ali i samih vjetroagregata, te smanjenje kapitalnih i operativnih troškova i povećanje cijene električne energije, kakvo se u budućnosti i očekuje, ubrzati će isplativost ovakvog sustava.

Tablica 4-15. Ekonomska analiza isplativosti odobalne vjetroelektrane snage 13,5 MW

Vjetroelektrana 13,5 MW

	CAPEX	OPEX	WACC	Proizvodnja	Prihod
1	20250000	675000	3,00%	43343,7	2167185
2	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
3	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
4	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
5	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
6	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
7	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
8	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
9	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
10	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
11	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
12	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
13	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
14	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
15	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
16	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
17	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
18	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
19	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
20	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
21	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
22	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
23	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
24	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
25	0	675000	3,00%	43343,7	2167185
		16875000		1083592,5	54179625
Ukupna ulaganja		37631250	€		
Ukupna dobit		54179625	€		
Povrat investicije		17,36412	god		

Tablica 4-16. Ekonomska analiza isplativosti odobalne vjetroelektrane snage 90 MW i skladišnog baterijskog sustava kapaciteta 350 MWh

Vjetroelektrana 90 MW, baterijski sustav 350 MWh

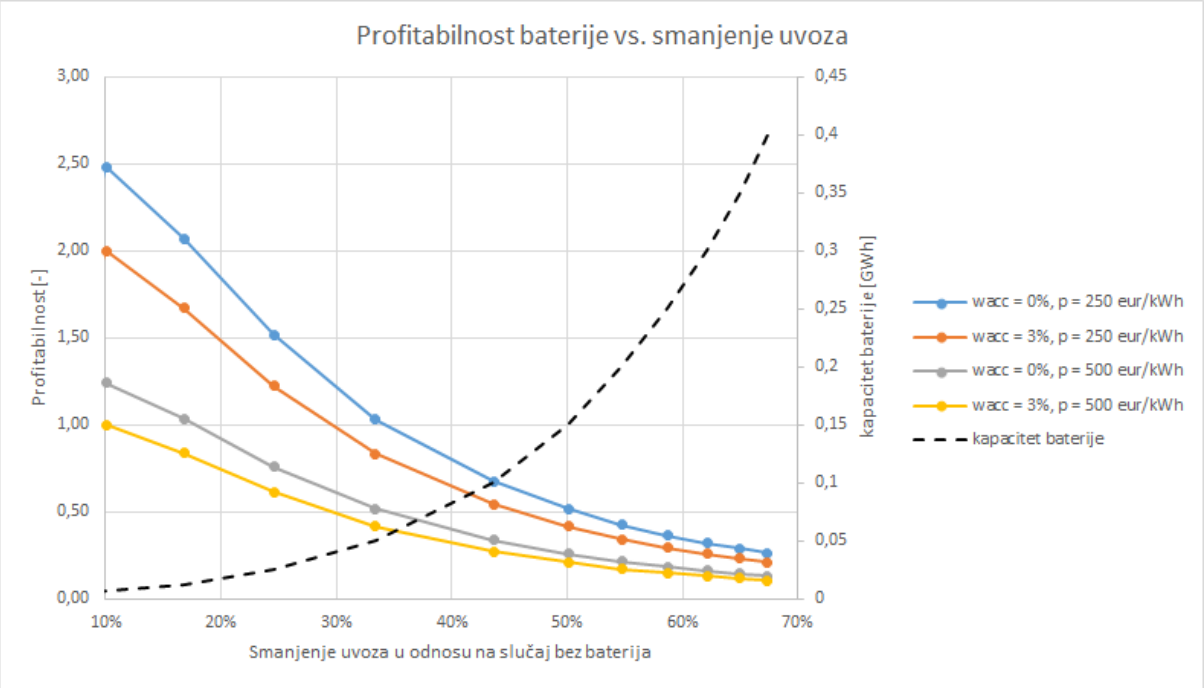
	CAPEX	OPEX	WACC	Proizvodnja	Prihod
1	4.26E+08	675000	3,00%	342000	17100000
2	0	675000	3,00%	342000	17100000
3	0	675000	3,00%	342000	17100000
4	0	675000	3,00%	342000	17100000
5	0	675000	3,00%	342000	17100000
6	0	675000	3,00%	342000	17100000
7	0	675000	3,00%	342000	17100000
8	0	675000	3,00%	342000	17100000
9	0	675000	3,00%	342000	17100000
10	0	675000	3,00%	342000	17100000
11	0	675000	3,00%	342000	17100000
12	0	675000	3,00%	342000	17100000
13	0	675000	3,00%	342000	17100000
14	0	675000	3,00%	342000	17100000
15	0	675000	3,00%	342000	17100000
16	0	675000	3,00%	342000	17100000
17	0	675000	3,00%	342000	17100000
18	0	675000	3,00%	342000	17100000
19	0	675000	3,00%	342000	17100000
20	0	675000	3,00%	342000	17100000
21	0	675000	3,00%	342000	17100000
22	0	675000	3,00%	342000	17100000
23	0	675000	3,00%	342000	17100000
24	0	675000	3,00%	342000	17100000
25	0	675000	3,00%	342000	17100000
		16875000		8550000	427500000

Ukupna ulaganja	4.43E+08	€
Ukupna dobit	4.28E+08	€
Povrat investicije	25,92142	god
Povrat investicije uz zamjenu baterijskog sustava		
	36,15534	god

Usporedbom svih dobivenih rezultata zaključuje se kako se, ovisno o statici i starosti odobalnog postrojenja, prenamjena u odobalnu vjetroelektranu isplati u razdoblju kraćem od 20 godina, što znači da će do kraja radnog vijeka vjetroelektrana doprinositi dodatnu zaradu.

4.6.1. Analiza profitabilnosti skladišnog baterijskog sustava

Kako bi dobili što bolji uvid u ekonomsku vrijednost skladišnog baterijskog sustava dodatno su istraženi odnosi profitabilnosti baterije i smanjenja uvoza. Profitabilnost je u ovom slučaju diskontirana dobit kroz razdoblje od 14 godina, uslijed smanjenja uvoza, podijeljena s početnim uloženim sredstvima. U obzir je uzeta diskontna stopa od 3% i 0% te cijena baterijskog sustava od 500 €/kWh i 250 €/kWh. U svim analiziranim slučajevima u obzir je uzeta cijena električne energije od 50 €/MWh.



Graf 4-4. Odnos profitabilnosti baterije i smanjenja uvoza

Na prikazanom grafu možemo vidjeti kako bi, u slučaju da je diskontna stopa 0% i cijena sustava 250 €/kWh, profitabilnost bila 60 MWh uz smanjenje uvoza za oko 33%.

5. EKONOMSKA ANALIZA UKLANJANJA PLATFORME NA JADRANU U ODNOSU NA PRENAMJENU U ODOBALNU VJETROELEKTRANU

Ekonomska analiza uklanjanja platformi Ivana A, Annamaria A i Katarina izrađena je analizom svih dobivenih podataka za plinska postrojenja na Jadranu. Kako je prikazano u tablici 2-2. ukupni troškovi napuštanja i uklanjanja platformi odnose se na ukupne troškove uklanjanja platformi na pojedinim plinskim poljima.

Na plinskom polju Ivana, čija je ukupna vrijednost uklanjanja 25 milijuna eura, nalazi se 6 platformi, dok se na plinskim poljima Annamaria A i Katarina nalazi po jedna platforma. Sukladno tome, troškovi uklanjanja platforme Annamaria A iznositi će 10 milijuna eura, dok će troškovi uklanjanja platforme Katarina iznositi 8,99 milijuna eura. Cijena uklanjanja platforme Ivana A nije definirana, pa je prema danim karakteristikama platformi definirana cijena koja bi mogla odgovarati stvarnoj cijeni uklanjanja.

Tablica 5-1. Usporedba platformi i konačna procjena troškova uklanjanja

Naziv platforme	**Opis**	**Visina platforme iznad mora [m]**	**Ukupna težina platforme [t]**	**Težina nadgrađa [t]**	**Dubina mora [m]**	**Udaljenost od obale [km]**	**Troškovi uklanjanja platforme [M€]**
Ivana A	Na 4 noge, 3 palube sa stalnom posadom i radno-stambenim prostorom za 37 osoba	34,1	2442	1219	42,3	36	9
Annamaria A	Na 4 noge, sa procesnim palubama na 5 etaža i stambenim dijelom za 19 osoba, pristan za brodove i heliodrom	41,3	4218	2144	57,3	61,4	10
Katarina	Platforma na 4 noge	33,4	2462	1212	70	56,5	8,99

Iz tablice 5-1. vidljivi su ukupni troškovi napuštanja i uklanjanja odabranih platformi koji bi iznosili 27,99 milijuna eura. Prema dostupnim podacima o troškovima uklanjanja nije vidljivo što točno troškovi uklanjanja uključuju i da li osim navedenih troškova postoje dodatni troškovi. Za potrebe daljnje analize navedeni troškovi uzeti su kao ukupni konačni troškovi uklanjanja.

Tablica 5-2. Usporedba troškova uklanjanja platformi i prenamjene u odobalnu vjetroelektranu

Ukupni troškovi uklanjanja odabranih platformi Ivana A, Annamaria A i Katarina	27,99 mil €
Ukupni troškovi prenamjene platformi u odobalnu vjetroelektranu snage 13.5 MW	37,63 mil €
Povrat ulaganja prenamjene platformi u odobalnu vjetroelektranu snage 13.5 MW	17,3 god
Dobit ostvarena nakon povrata ulaganja	17 mil €

Iz tablice 5.2 vidljivo je da su ukupni troškovi uklanjanja platformi Ivana A, Annamaria A i Katarina za oko 10 milijuna eura manji od ukupnih troškova prenamjene platformi u odobalnu vjetroelektranu. Kao važan pokazatelj potrebno je uračunati i ukupan predviđen vijek rada odobalne vjetroelektrane i zaradu iz proizvedene energije nakon otplate troškova ulaganja.

Vijek rada predložene odobalne vjetroelektrane je 25 godina, dok izračunati povrat ulaganja, prema tablici 4-13, iznosi nešto više od 17 godina. Iz toga je moguće zaključiti da će predložena vjetroelektrana donositi zaradu više od 7 godina. U slučaju ugovaranja predloženog CPPA ugovora sa kupoprodajnom cijenom od 50 €/MWh ili prodaje ukupne proizvedene električne energije na CROPEX-ovom dan unaprijed tržištu po prosječnoj cijeni od 50 €/MWh, dolazimo do jednostavne analize da će u radnom vijeku od 25 godina predložena odobalna vjetroelektrana ostvariti dobit od oko 17 milijuna eura.

Usporedbom ukupnih troškova uklanjanja platformi Ivana A, Annamaria A i Katarina te ukupnih troškova prenamjene istih platformi u odobalnu vjetroelektranu snage 13,5 MW može se zaključiti da je prenamjena platformi isplativo rješenje ukoliko se

procijeni da proizvodnja iz postojećih bušotina više ne ostvaruje pozitivne rezultate, a platforma je dovoljno stabilna i zadovoljava sve potrebne tehničke uvijete.

6. ZAKLJUČAK

U ovom je radu prenamjena odobalnih plinskih postrojenja na Jadranu u odobalnu vjetroelektranu razmatrana kao jedna od najzanimljivijih mogućnosti koja omogućava daljnje iskorištavanje platforme. Kao takva trenutno ne postoji nigdje u svijetu iako je na nekoliko slučajeva razmatrana.

U radu su detaljno istražene mogućnosti prenamjene platformi Ivana A, Annamaria A i Katarina, a za potencijalnu odobalnu vjetroelektranu, od dobivenih minutnih podataka, izrađeni su satni podaci brzine vjetra i potencijalne proizvodnje električne energije te prosječna godišnja proizvodnja. S obzirom na lokaciju i starost platformi u obzir su uzeti vjetroagregati nominalne snage 4,5 MW, što je trenutno minimalna prosječna snaga odobalnih vjetroagregata u svijetu.

Izrađena potencijalna proizvodnja električne energije na lokacijama na kojima se vrše mjerenja brzine i smjera vjetra pojednostavljenom je metodom grupiranja platformi u tri skupine prilagođena kako bi se pokušali dobiti što stvarniji podaci o potencijalu prenamjene svih odobalnih postrojenja na Jadranu u odobalnu vjetroelektranu. Za takav je slučaj dodatno razrađena mogućnost postavljanja skladišnog baterijskog sustava, te je izrađen detaljan dnevni način rada odobalne vjetroelektrane ukupne snage 90 MW, baterijskog sustava kapaciteta 350 MWh uz fiksnog potrošača električne energije od 202 GWh godišnje.

Analize svih mogućnosti pokazale su da je prenamjena platformi Ivana A, Annamaria A i Katarina u odobalnu vjetroelektranu ukupne snage 13,5 MW isplativa te ostvaruje dobit od oko 17 milijuna eura. Prenamjena svih platformi u odobalnu vjetroelektranu uz mogućnost integriranja baterijskog sustava pokazala se neisplativom, ponajviše zbog visoke cijene i ranog razvoja tehnologije baterijskih sustava velikih kapaciteta.

Kako bi se mogla dobiti što detaljnija mogućnost prenamjene odobalnih postrojenja na Jadranu u vjetroelektranu potrebno je na svim postrojenjima izraditi mjerenja brzine i smjera vjetra na visinama koje bi dale stvarne podatke. Uz to u obzir valja uzeti konstantan razvoj odobalnih vjetroagregata čija nominalna snaga danas seže i do 10 MW te razvoj baterijskih sustava koji će u budućnosti sigurno biti efikasniji i jeftiniji.

7. LITERATURA

1. FATOVIĆ, I.; 2016. Naslov: *Analiza postupka razgradnje nepomičnih pučinskih proizvodnih platformi.* Diplomski rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu.
2. JERKIĆ, E.; 2006. Naslov: *Optimalno planiranje izgradnje vjetroelektrana*. Diplomski rad. Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu.
3. KLABUČAR, B.; AŠČIĆ, D.; 2018. Naslov: *Analiza mogućnosti upotrebe plinske infrastrukture na odobalnim eksploatacijskim poljima sjevernog Jadrana za iskorištavanje plave energije.* Rad za Rektorovu nagradu Sveučilišta u Zagrebu.
4. RENIĆ, M.; 2014. Naslov: *Napuštanje i uklanjanje odobalnih proizvodnih postrojenja*. Diplomski rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Internet izvori:

5. ÅRDAL, A. R.; 2011. Naslov: *Feasibility Studies on Integrating Offshore Wind Power with Oil Platforms.* NTNU. URL: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/257082 (30.01.2019.)
6. BYRNE, B. W.; HOULSBY, G. T.; 2004. Naslov: *Foundations for offshore wind turbines*. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/8967262_Foundations_for_offshore_wind_turbines (07.01.2020.)
7. DANISH ENERGY AGENCY; 2019. Naslov: *Analysis of the Potential for Corporate Power Purchasing Agreements for Renewable Energy Production in Denmark.* ENS. URL: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/corporate_ppa_report_june_2019.pdf (11.01.2020.)
8. DNO; 2019. Naslov: *Ketch decommissioning programmes final*. DNO. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/826988/Ketch_Decommissioning_Programme_BEIS_Final_July_2019.pdf (07.01.2020.)

9. DNO; 2019. Naslov: *Schooner decommissioning programmes final*. DNO. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/826989/Schooner_Decommissioning_Programme_BEIS_Final_July_2019.pdf (07.01.2020.)
10. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY; 2009. Naslov: *Europe's onshore and offshore wind energy potential.* EEA. URL: https://www.eea.europa.eu/publications/europes-onshore-and-offshore-wind-energy-potential (15.12.2019.)
11. HADŽIĆ, N.; KOZMAR, H.; TOMIC, M.; 2014. Naslov: *Offshore renewable energy in the Adriatic Sea with respect to the Croatian 2020 energy strategy.* ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/265052503_Offshore_renewable_energy_in_the_Adriatic_Sea_with_respect_to_the_Croatian_2020_energy_strategy (06.01.2020.)
12. ICF INCORPORATED; Naslov: *Decommissioning Methodology and Cost Evaluation*. BSEE. URL: https://www.bsee.gov/sites/bsee.gov/files/tap-technical-assessment-program/738aa.pdf (03.01.2020.)
13. IOANNOU, A.; ANGUS, A.; BRENNAN, F.; 2018. Naslov: *Parametric CAPEX, OPEX, and LCOE expressions for offshore wind farms based on global deployment parameters*. Taylor and Francis Online. URL: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15567249.2018.1461150 (09.01.2020.)
14. KARASALIHOVIĆ SEDLAR, D.; VULIN, D.; KRAJAČIĆ, G.; JUKIĆ, L.; 2019. Naslov: *Offshore gas production infrastructure reutilisation for blue energy production.* ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/334141356_Offshore_gas_production_infrastructure_reutilisation_for_blue_energy_production (15.12.2019.)
15. LAZARD; 2019. Naslov: *Lazard's levelized cost of energy analysis – Version 13.0*. Lazard. URL: https://www.lazard.com/media/451086/lazards-levelized-cost-of-energy-version-130-vf.pdf (09.01.2020.)
16. LAZARD; 2019. Naslov: *Lazard's levelized cost of storage analysis – version 4.0*. Lazard. URL: https://www.lazard.com/media/450774/lazards-levelized-cost-of-storage-version-40-vfinal.pdf (09.01.2020.)

17. LOUKATOU, A.; HOWELL, S.; JOHNSON, P.; DUCK, P.; 2018. Naslov: *Optimal joint strategy of wind battery storage unit for smoothing and trading of wind power*. Elsevier. URL: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.09.033 (07.01.2020.)
18. LUT UNIVERSITY; 2019. Naslov: *Global energy system based on 100% renewable energy (Power, heat, transport and desalination sectors).* EWG. URL: http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/EWG_LUT_100RE_All_Sectors_Global_Report_2019.pdf (03.01.2020.)
19. RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET; 2018. Naslov: *Elaborat o zaštiti okoliša za ocjenu o potrebi procjene utjecaja na okoliš za zahvate na eksploatacijskom polju ugljikovodika „Marica“.* RGNF. URL: https://mzoe.gov.hr/UserDocsImages/ARHIVA%20DOKUMENATA/ARHIVA%20---%20OPUO/elaborat_zastite_okolisa_453.pdf (14.12.2019.)
20. RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET; 2018. Naslov: *Elaborat o zaštiti okoliša za ocjenu o potrebi procjene utjecaja na okoliš za zahvate na eksploatacijskom polju ugljikovodika „Sjeverni Jadran“.* RGNF. URL: https://mzoe.gov.hr/UserDocsImages/ARHIVA%20DOKUMENATA/ARHIVA%20---%20OPUO/elaborat_zastite_okolisa_783.pdf (14.12.2019.)
21. SCHNEIDER, J.; 2010. Naslov: *Foundation Design: A Comparison of Oil and Gas Platforms with Offshore Wind Turbines*. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/233699946_Foundation_Design_A_Comparison_of_Oil_and_Gas_Platforms_with_Offshore_Wind_Turbines (07.01.2020.)
22. SIEMENS GAMESA; 2018. Naslov: *SG 4.5-145, New SFRE turbine with the best-in-class LCoE>4 MW*. Siemens Gamesa. URL: https://www.siemensgamesa.com/en-int/-/media/siemensgamesa/downloads/en/products-and-services/archive/siemens-gamesa-onshore-wind-turbine-sg-4-5-145-en.pdf (11.01.2020.)
23. WINDEUROPE; 2019. Naslov: *Offshore Wind in Europe. Key trends and statistics 2018.* WindEurope. URL: https://windeurope.org/about-wind/statistics/offshore/european-offshore-wind-industry-key-trends-statistics-2018/ (15.12.2020.)

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad samostalno izradila pomoću znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Zagrebu.

Iva Zelenko