

# Potencijal iskorištenja valne energije za proizvodnju električne energije u akvatoriju luke Žigljen

---

**Radić, Ante Josip**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:722462>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-30**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Ante Josip Radić

**KORIŠTENJE VALNE ENERGIJE ZA  
PROIZVODNJU ELEKTRIČNE  
ENERGIJE U AKVATORIJU LUKE  
ŽIGLJEN**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Ante Josip Radić

**KORIŠTENJE VALNE ENERGIJE ZA  
PROIZVODNJU ELEKTRIČNE  
ENERGIJE U AKVATORIJU LUKE  
ŽIGLJEN**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Goran Lončar

Komentor: doc. dr. sc. Damjan Bujak

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Ante Josip Radić

**UTILIZATION OF WAVE ENERGY FOR  
THE PRODUCTION OF ELECTRICAL  
ENERGY IN THE AQUATORY OF THE  
PORT OF ŽIGLJEN**

MASTER THESIS

Mentor: prof. dr. sc. Goran Lončar

Komentor: doc. dr. sc. Damjan Bujak

Zagreb, 2024.

## ZAHVALE

*Iskreno zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Goranu Lončaru i komentoru doc. dr. sc. Damjanu Bujaku na stručnom vođenju, strpljenju i uloženom vremenu pri izradi ovog rada.*

*Hvala obitelji i prijateljima na podršci i na svim lijepim trenucima tijekom studiranja.*

## SAŽETAK

Temelj obnovljivih izvora energije su neiscrpnri prirodni procesi, koji za razliku od fosilnih goriva smanjuju emisije štetnih plinova i zagađivanje zraka. Njihovo smanjenje je od velike važnosti čime doprinosimo u borbi protiv klimatskih promjena. Danas valna energija ima relativno malu zastupljenost, ali napretkom tehnologije veoma se brzo napreduje. Veliki potencijal u proizvodnji valne energije su valni konverteri, koji su dizajnirani tako da pretvaraju kinetičku energiju morskih valova u električnu energiju. Cilj ovog diplomskog rada je određivanje najpovoljnije lokacije za ugradnju grupe valnih konvertera (GVK) u akvatoriju u okolici trajektne luke Žigljen. U radu je korišten spektralni numerički model valnog generiranja i valnih deformacija Mike 21/SW te podloge vjetra iz atmosferskog modela Aladin-Hr. Nakon provedene analize iz spektralnog valnog modela te proračunom polja pronosa valne energije  $J$ , određena je "mikro" lokacija za postavljanje konvertera.

**Ključne riječi:** klimatske promjene, energija, vjetar, spektralni valni model, valni konverter,

## SUMMARY

The foundation of renewable energy sources lies in inexhaustible natural processes, which, unlike fossil fuels, reduce harmful gas emissions and air pollution. Their reduction is of great importance, contributing to the fight against climate change. Today, wave energy has a relatively small share, but with technological advancements, it is rapidly progressing. A major potential in wave energy production comes from wave converters, which are designed to convert the kinetic energy of ocean waves into electrical energy. The aim of this thesis is to determine the most suitable location for installing a group of wave converters (GVK) in the waters near the ferry port of Žigljen. The study utilized the spectral numerical model Mike 21/SW for wave generation and deformation, along with wind data from the atmospheric model Aladin-Hr. After conducting an analysis using the spectral wave model and calculating the wave energy transport field  $J$ , a "micro" location for the installation of the converters was determined.

**Key words:** climate change, energy, wind, spectral wave model, wave converter

## SADRŽAJ

<b>ZAHVALE (NEOBAVEZNO)</b> .....	<b>i</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>ii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>iii</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KVANTIFIKACIJA GLOBALNOG RESURSA VALNE ENERGIJE</b> .....	<b>4</b>
2.1. Regularni valovi i energija valova .....	4
2.2. Nepravilni valovi i snaga valova .....	6
2.3. Globalni izvor energije valova i prostorna varijabilnost .....	8
<b>3. PODLOGE O VJETRU I PRIVJETRIŠTA</b> .....	<b>10</b>
3.1. Polja brzine vjetra iz modela aladin-hr .....	10
3.2. Anemometarska mjerenja na lokaciji Novalja.....	14
3.3. Privjetrište po sektoru .....	17
<b>4. NUMERIČKI MODEL VALNOG GENERIRANJA I VALNIH DEFORMACIJA</b> .....	<b>20</b>
<b>5. REZULTATI NUMERIČKOG MODELA VALNOG GENERIRANJA I VALNIH DEFORMACIJA</b> .....	<b>22</b>
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>42</b>
<b>POPIS LITERATURE</b> .....	<b>43</b>
<b>POPIS SLIKA</b> .....	<b>48</b>
<b>POPIS TABLICA</b> .....	<b>51</b>



## 1. UVOD

„Postizanje ugljične neutralnosti do 2050. godine“ jedna je od bitnijih misija na svijetu, a António Guterres, glavni tajnik Ujedinjenih naroda, naglasio je 11. prosinca 2020. [1] da će „do sljedećeg mjeseca zemlje koje predstavljaju više od 65 % štetnih stakleničkih plinova i više od 70 % svjetskog gospodarstva biti posvećene postizanju nulte emisije do sredine stoljeća.“ Do danas je više od 110 zemalja obećalo postići nultu emisiju ugljika do 2050. godine. S druge strane, trenutna potražnja za energijom uglavnom ovisi o fosilnim gorivima, a predviđanja su da će rasti za 1% godišnje do 2040. godine [2]. Unutar tenzija između potražnje za energijom i obećanjima o smanjenju ugljika postoje sve veće razlike između retorike i djelovanja [3], te je potrebna značajna transformacija energetskega sektora, kroz odgovarajuće tehničke i netehničke angažmane, kako bi ugljična neutralnost bila postignuta.

Veliki potencijal obnovljivih izvora energije pokazuje energija valova, koja se pokazuje kao dobro rješenje u premošćivanju razlika između retorike o potražnji za energijom i smanjenju ugljika. Globalni potencijal energije valova kreće se od 1 do 10TW. Međutim, predmet rasprave je sama globalna procjena iskoristivosti energije valova. [4]. Teoretski se procjenjuje da bi energija valova iznosila 32.000TWh/godišnje (prosječnom snagom iznosa 3,65TW) [4]. Ne uzimajući u obzir područja s razinom energije valova manjom od 5 kW/m, procjena je oko 3 TW [5], dok na oceanskim obalama prosječna snaga valova iznosi 2,11 TW [6].

Ocean Energy Systems (OES) i Međunarodna agencija za obnovljivu energiju podacima i metodom procjene iz [5] procjenjuju 29.500 TWh/godišnje [7,8], što je više od 22.315 TWh koliko je iznosila potrošnja električne energije u 2018. godini. 2/3 otpadale su na izvore iz fosilnih goriva [9]. Energija valova s ostalim obnovljivim izvorima može imati bitnu ulogu u povećanju opskrbe energijom i smanjenju emisije ugljika. Iz tog razloga zemlje članice OES-a nastoje provesti plan do 2050. godine u kojem će instalirani kapacitet energije valova i plime iznositi više od 300 GW, te samim time uštedjeti 500 Mt ugljika i otvoriti 680 00 radnih mjesta [7].

U usporedbi s drugim obnovljivim izvorima, posebno solarnom i energijom vjetra, prednosti energije valova su višestruke: (i) Energija valova karakterizira se visokom gustoćom energije, koja je više od 10 puta veća od one vjetroelektrana i solarnih panela [10]. (ii) Energija valova ima visoku raspoloživost, do 90 %, dok je raspoloživost energije vjetra i sunca općenito u rasponu od 20–30 % [11]. (iii) Tehnologija energije valova ima mali utjecaj na okoliš [12, 13]. (iv) Izlazna snaga energije valova također se može integrirati s postojećim vjetroelektranama ili solarnim elektranama kao komplementarni resurs za izjednačavanje izlazne snage i smanjenje varijabilnosti [14–19]. (v) Energija valova je predvidljivija [20, 21], što omogućuje veću fleksibilnost za regionalno ili nacionalno upravljanje energijom i planiranje.

Unatoč ogromnom potencijalu energije valova, trenutno aktivni kapacitet energije valova iznosi samo 2,31 MW [8, 22], a ovi projekti energije valova usmjereni su na istraživanje i demonstraciju. Trenutno je tehnologija energije valova u svojoj "ranoj" fazi, i ne postoji nijedna potpuno komercijalna farma pretvarača energije valova (WEC) u radu, iako su razvijene stotine WEC-a [23]. Ključno je da i dalje postoje brojni tehnički i netehnički izazovi: (i) Tehnički, teško je generirati električnu energiju iz niskofrekventnog (0,1 Hz, tj. niska brzina) oscilirajućeg gibanja i velike sile (1 MN). To zahtijeva izuzetno pouzdane strukture i sustave za preuzimanje energije (PTO), što posljedično dovodi do visokih kapitalnih izdataka (CapEx). (ii) WEC-i djeluju u offshore okruženju, s visokim troškovima instalacije, rada i održavanja. Stoga su operativni troškovi (OpEx) relativno veliki. (iii) Resurs energije valova varira na razini svakog vala, iz sata u sat i od mjesta do mjesta, u smislu frekvencije valova, visine, smjera, spektra i razine snage, što dovodi do različitih koncepata WEC-a bez ikakve konvergencije, razvodnjavajući napore u istraživanju i razvoju (R&D) te komercijalizaciji. (iv) Ekstremni morski uvjeti povremeno se javljaju, a mogućnost strukturnih kvarova i gubitka uređaja relativno je visoka. To povećava dodatni rizik za financijski sektor da ulaže u tehnologiju WEC-a.

Trenutno se tehnologija WEC-a (pretvarača energije valova) odlikuje niskom zrelošću, visokom nesigurnošću i rizikom, te zahtijeva značajan početni kapital, što dodatno odvraća privatne investitore. Naime, smanjenje privatnih i javnih ulaganja igra najvažniju ulogu u napredovanju tehnologije WEC-a poticanjem aktivnosti istraživanja i razvoja (R&D). Općenito, trenutne WEC tehnologije ili uređaji još nisu pokazali sposobnost iskorištavanja dovoljno energije valova uz dovoljno niske troškove na komercijalnoj razini. Na temelju jednostavnih procjena niveliranih troškova energije (LCoE), neki koncepti WEC-a u ranoj fazi, kao što je uređaj M4 [24, 25], pokazali su mogućnost postizanja niskog LCoE-a za neka specifična mjesta instalacije. Nadalje, geometrijska optimizacija može poboljšati hidrodinamičke performanse WEC-a, u smislu hvatanja snage u umjerenim valovima i preživljavanja u ekstremnim valovima. S druge strane, sofisticirani pristupi upravljanju mogu značajno poboljšati hvatanje snage, dok marginalno povećavaju CapEx, te tako dramatično smanjuju LCoE [26]. Međutim, hidrodinamika i kontrola WEC-a su inherentno i nelinearno povezane [27, 28], stoga je potreban pristup su-dizajna.

Trenutne aktivnosti istraživanja i razvoja (R&D) uglavnom su usmjerene na procjenu resursa valova, razvoj WEC koncepata, hidrodinamičko modeliranje, inovaciju PTO sustava i dizajn upravljanja. Teme u unutarnjem prstenu su dobro proučene, a mnogi pregledi su saželi najnovije stanje procjene resursa valova [16, 29–31], tehnologije WEC-a [11, 32–38], modeliranja [38–47], PTO sustava [11, 36, 48–50] i upravljanja [51–55]. Teme istraživanja i razvoja u srednjem i vanjskom prstenu na slici 1(a) još nisu u potpunosti shvaćene. Postoji nekoliko istraživanja koja sažimaju preživljavanje WEC-a [56], performanse [57], ekonomske karakteristike [58, 59], sidrenje [60] i optimizaciju oblika [61, 62].

Međutim, samo nekoliko studija ima za cilj istražiti ključne razvojne čimbenike, za uspješnu komercijalizaciju WEC tehnologije u svakoj fazi [63–66]. Komercijalizacija WEC tehnologije ne oslanja se samo na razinu tehničke spremnosti (TRL), već i na razinu tehničke izvedbe (TPL), koja pokušava mjeriti potencijalnu ekonomsku izvedbu uređaja/projekta za energiju valova, te na neke vanjske razvojne čimbenike, kao što su investicijsko okruženje, tržišni podaci i nacionalni poticaji. Budući da je LCoE WEC tehnologije još uvijek previsok da bi konkurirao drugim tehnologijama obnovljive energije, prihod i kapitalna podrška iz javnog sektora ostaju ključni [8]. Stoga, javni ili sektori povezani s vladom igraju važnu ulogu u povezivanju istraživača i investitora putem programa podrške, tržišnih poticaja te regionalnih politika i zakonodavstva, kako bi se formirala čvrsta suradnja između industrije, akademske zajednice i vlade (IAG).

## 2. KVANTIFIKACIJA GLOBALNOG RESURSA VALNE ENERGIJE

### 2.1. Regularni valovi i energija valova

Valovi nemirnog mora, opisani su ne toliko širokim spektrom i niskom frekvencijom, kao takvi primarni cilj im je skupljanje energije valova koje aproksimiramo regularnim valovima. Međutim, proračuni koje povezujemo s regularnim valovima su jednostavni i mogu se koristiti kao početna točka u istraživanju i razvoju WEC-a (Wave Energy Converters), naročito pri niskim TRL-ovima (Technology Readiness Levels). Proračuni regularnog vala na slici 2.1. su sljedeći:

Uzvišenje slobodne površine  $\eta$  za regularni val prikazan je na slici 2.1, koju opisujemo:

(1)

$$\eta(x,t) = \frac{H}{2} \cos(\omega t - kx + \varphi)$$

gdje je:

- $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , frekvencija fala
- $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ , valni broj
- $\varphi$ , početna faza vala

Valnu duljina:

(2)

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right),$$

gdje je:

- $g$ , gravitacijska konstanta

Grupna brzina propagacije valova:

(3)

$$c_g = \frac{\lambda}{2T} \left[ 1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right]$$

Potencijalna i kinetička energija vala po jedinici horizontalne površine:

(4)

$$E_p = E_k = \frac{\rho g}{2} \overline{\eta^2(x,t)}$$

Ukupna energija vala po horizontalnoj površini:

(5)

$$E = E_p + E_k = \frac{\rho g H^2}{8}$$

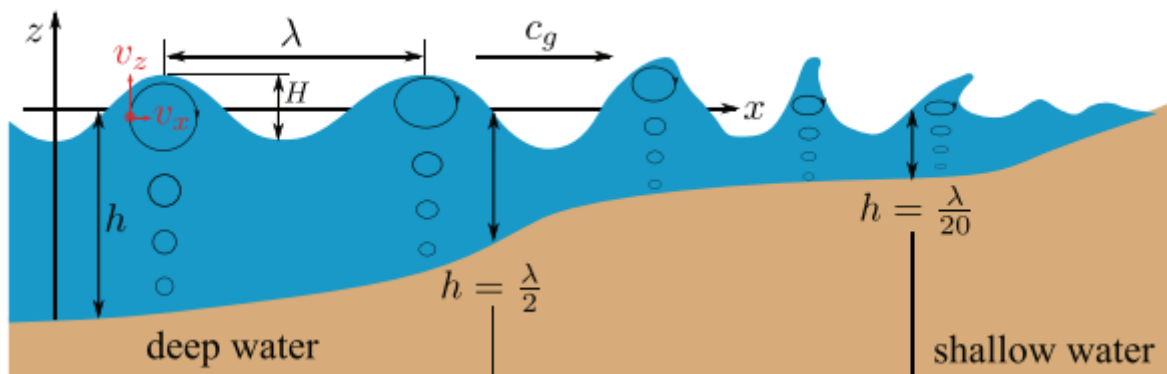
Snaga vala po jedinici širine fronte vala [68], tj prijenos valne energije ili razina snage vala:

(6)

$$J_r = c_g E = \frac{\rho g H^2}{8} \frac{gT}{4\pi} \tanh(kh) \left[ 1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right],$$

Pojednostavljeno:

$$J_r \approx \frac{\rho g^2}{32\pi} H^2 T$$



Slika 2.1. Prijelaz vala iz dubokovodnog u plitkovodno područje

## 2.2. Nepravilni valovi i snaga valova

Općenito, stvarni valovi su slučajni i nepravilni, ali mogu biti aproksimirani superpozicijom grupe sinusoidnih valova:

(7)

$$\eta(x, t) = \sum_{i=1}^N \frac{H_i}{2} \cos(\omega_i t - k_i x + \varphi_i),$$

gdje je :

- $H_i$ , visina vala
- $\omega_i$ , frekvencija vala
- $k_i$ , valni broj
- $\varphi_i$ , početna faza i-tog sinusoidnog vala od N komponenti

Na temelju linearne teorije valova, jednačbe (2)–(4) i dalje vrijede, pa je ukupna snaga energije vala po horizontalnoj površini za nepravilne valove:

(8)

$$E = \overline{\rho g \eta^2(x, t)} = \rho g \int_0^\infty S(\omega) d\omega,$$

gdje je:

- $S(\omega)$ , spektar energije vala

Na temelju vremenske domene promatranja oceana, valni spektar može se procijeniti putem FFT (fast Fourier transform) ili metode procjene spektra. Različiti modeli spektra valova proučavani su u [67, 69], ovisno o primjeni, prednostima i nedostacima, jedan od najznačajnijih je model spektra Pierson-Moskowitz (PM) [70] i skupni spektralni modeli projekta valova Sjevernog mora [71]. U nastavku ćemo za primjer koristiti (PM) spektar koji se koristi za opis potpuno razvijenih valova vjetra:

(9)

$$S(\omega) = \frac{5H_s^2}{16} \frac{\omega_p^4}{\omega^5} \exp\left(-\frac{5\omega_p^4}{4\omega^4}\right),$$

gdje je:

- $\omega_p = \frac{2\pi}{T_p}$ , vršna frekvencija
- $T_p$ , vršni period

(10)

$$H_s = 4\sqrt{m_0}, \text{ značajna visina vala}$$

(11)

$$T_e = \frac{m-1}{m_0}, \text{ energetski period}$$

(12)

$$m_i = \int_0^\infty \omega^i S(\omega) d\omega, \text{ i-ti moment spektra}$$

Tako dolazimo do izraza za razinu snage vala kod nepravilnih valova:

(13)

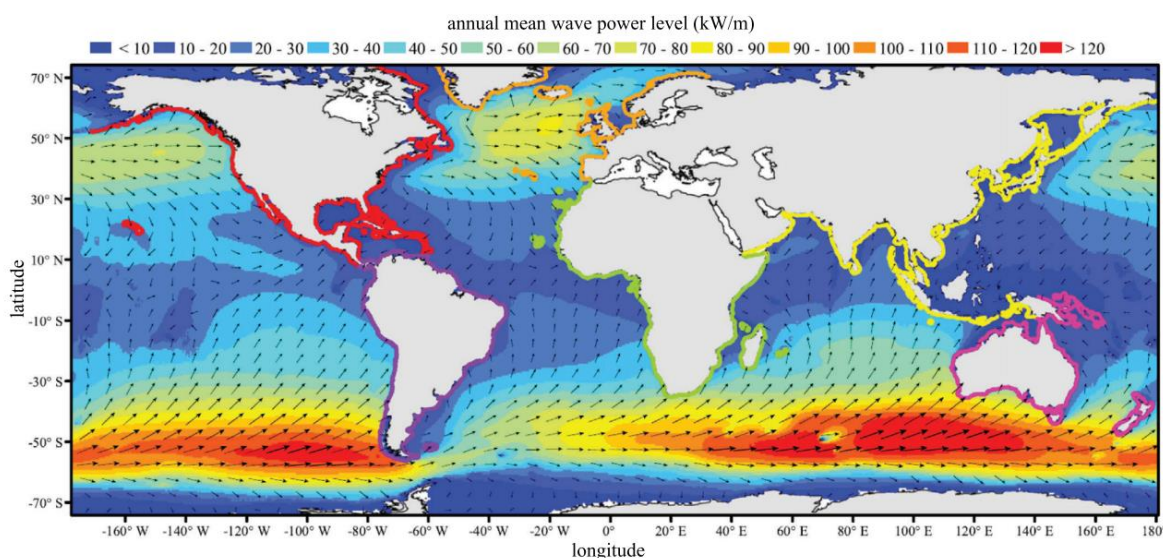
$$J = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_e H_s^2$$

### 2.3. Globalni izvor energije valova i prostorna varijabilnost

Kod proučavanja resursa valova uglavnom koristimo numeričke modele, jedni od najznačajniji valnih modela su: Wavewatch 3, simulacija valova u blizini obale, MIKE21-SW i TOMAWAC (TOtal MARitime WAVE Computation) modeli. Detaljnije o njihovim scenarijima i ograničenjima u [30, 31]. Kako bi postigli što točniju procjenu samih resursa valova, koristimo promatrane podatke o valovima na skupu diskretnih prostornih točaka za kalibraciju modela. Globalna procjena iskoristive energije valova još uvijek je pod upitnikom. Ovisno o procjeni, modelu valova i rezoluciji (prostornoj i vremenskoj), malobrojne studije prikazuju da je primjenjiva snaga valova oko 3TW u svijetu, bez područja s  $J < 5\text{KW}$  [5, 7, 8]. Gledamo li područje udaljeno 30 nautičkih milja od same obale iskoristiva snaga valova smanjuje se na 2,11 TW [6], uzmemo li u obzir smjer valova i usklađenost obale [4] iskoristivost se smanjuje na 1,85TW (16.000 TWh/godina).

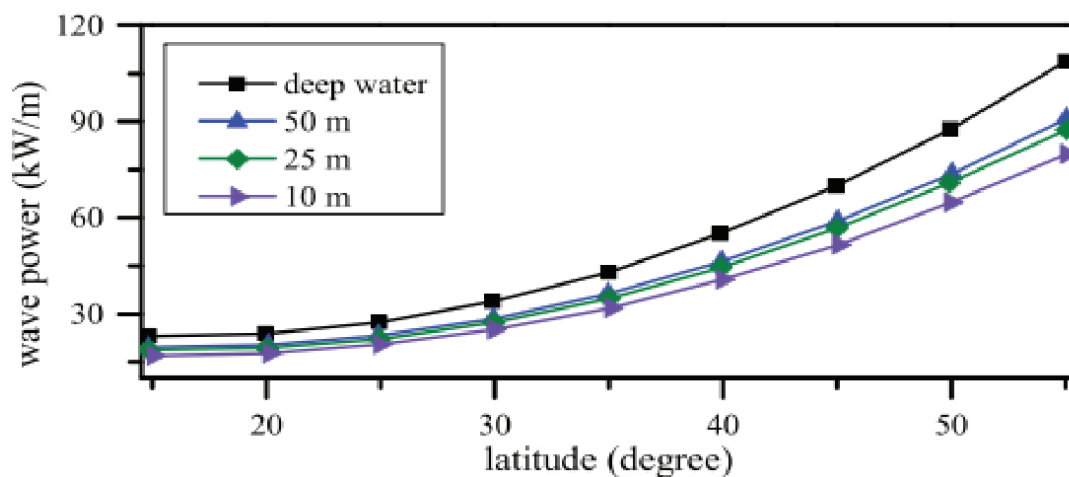
Valni resurs snage ravnomjerno je raspoređen između Sjeverne i Južne hemisfere, kao što je prikazano na Slici 2.1, ali je koncentracija između 30–60 stupnjeva širine. Širina je jedan od glavnih faktora koji utječu na prostornu varijabilnost resursa snage valova. Kao primjer imamo snagu valova duž čileanske obale, kao što vidimo na Slici 2.2, gdje snage valova raste od 20 do 100 kW/m, povećanjem širine od 15°S do 55°S.

Također iz prikaza je vidljivo da dubina vode ima utjecaj na razinu snage valova. Dolaskom valova prema obali, utjecajem plitkosti energija pada. Kao posljedicu imamo prostornu varijabilnost koja ima značajan utjecaj na performanse WEC-a (Wave Energy Converter) [72, 74, 75]. Na Slici 2.3, faktor kapaciteta 3 WEC-a raste kako se širina i razina snage valova povećavaju. Kada je razina snage valova niska, WEC-ovi bi trebali biti optimalno smanjeni da bi se poboljšale njihove specifikacije [72, 75].

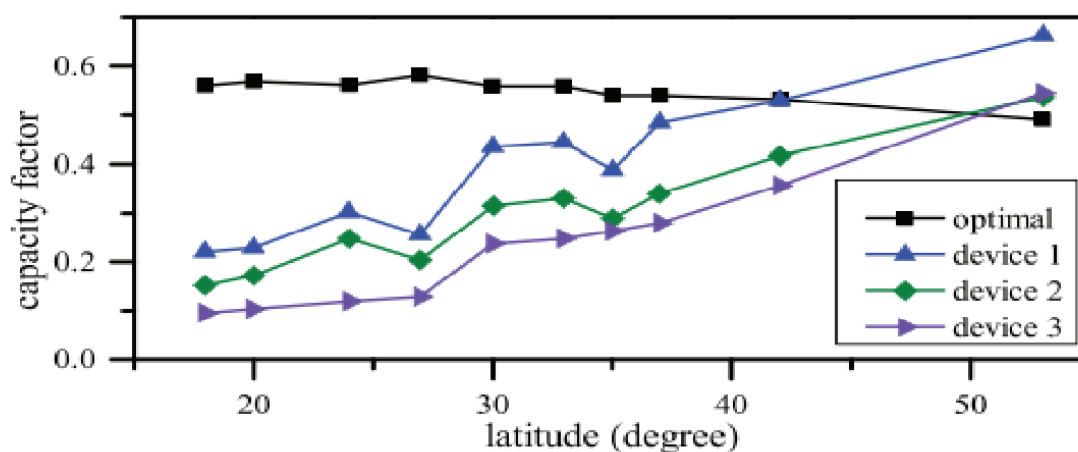


Slika 2. 1: Globalna distribucija valnih resursa, podaci iz [6]





Slika 2. 2: Prostorna varijabilnost duž čileanske obale, podaci iz [72]



Slika 2. 3: Utjecaj varijacije razine snage vala i dubina vode na faktor kapaciteta WEC (Wave Energy Converter), podaci iz [72]

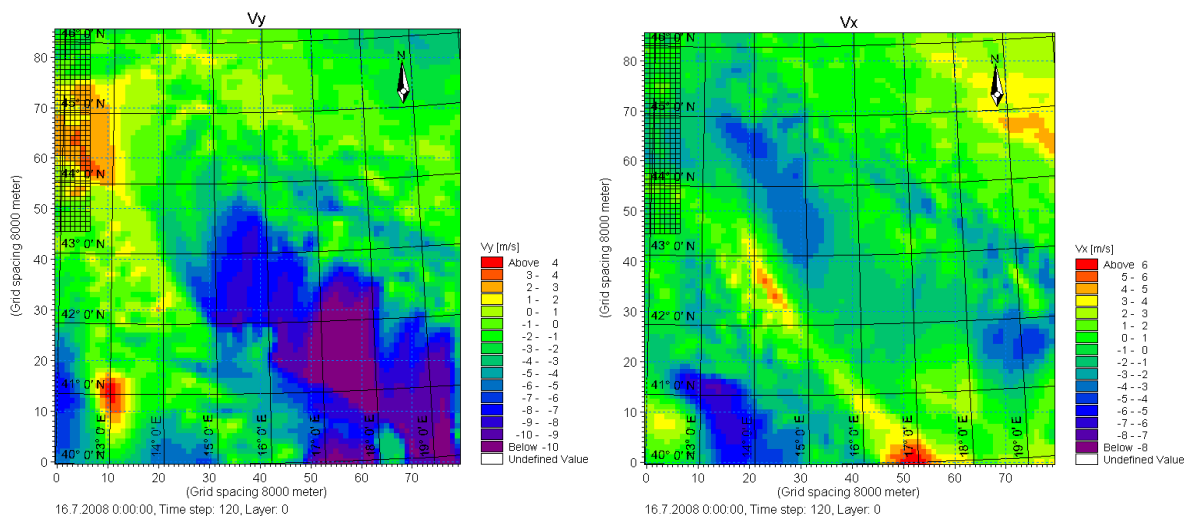
### **3. PODLOGE O VJETRU I PRIVJETRIŠTA**

#### **3.1. Polja brzine vjetra iz modela aladin-hr**

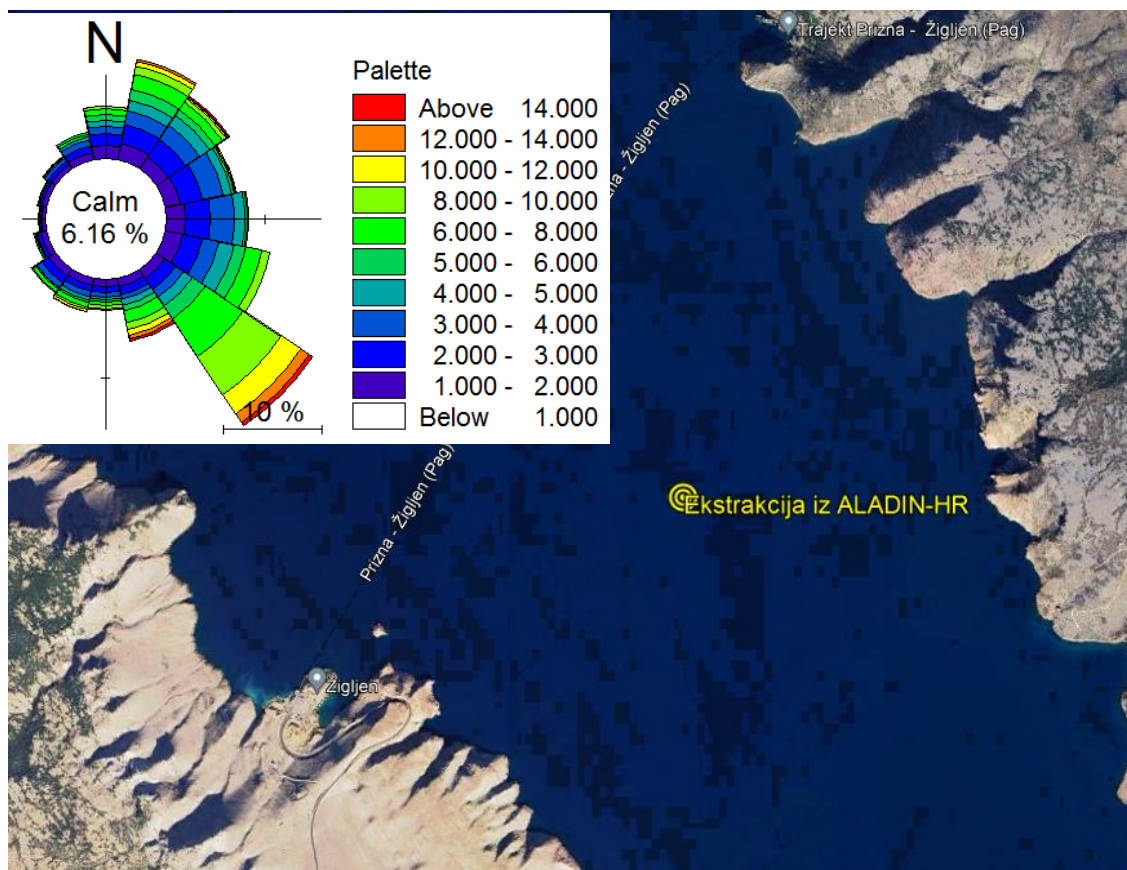
U Državnom hidrometeorološkom zavodu Hrvatske je trenutno operativno funkcionalan atmosferski model Aladin-Hr u hidrostatskoj verziji baziranoj na primitivnim jednadžbama s numeričkom implementacijom razvijenom u kooperaciji s nekoliko nacionalnih meteoroloških institucija. Model proizlazi iz globalnog ARPEGE (Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle) modela od Meteo-France (Courtier i sur., 1991.), s kojime izmjenjuje i podatke o većini fizikalnih relevantnih parametara potrebnih za definiranje rubnih uvjeta (Cordoneanu i Geleyn, 1998.). Model Aladin koristi prostornu rezoluciju dostatnu za razlučivanje intenzivnih izmjena u smjerovima i intenzitetima prevladavajućih vjetrova na području Jadrana (Brzović i Strelec-Mahović, 1999.; Ivatek-Sahdan i Tudor, 2004.). Na slici 3.1 prikazan je primjer rezultatnih polja brzine iz atmosferskog modela Aladin-HR u terminu 16/7/2008 0:00.

Na slici 3.3 prikazana je jedna točka ekstrakcije rezultata brzine i smjera vjetra iz numeričkog atmosferskog modela Aladin-HR s prostornom rezolucijom 2 km i vremenskom rezolucijom rezultata od 3 sata. Na slici 3.2 priložena je i ruža vjetra za navedenu točku ekstrakcije i razdoblje 1.1.1992.-1.1.2002.

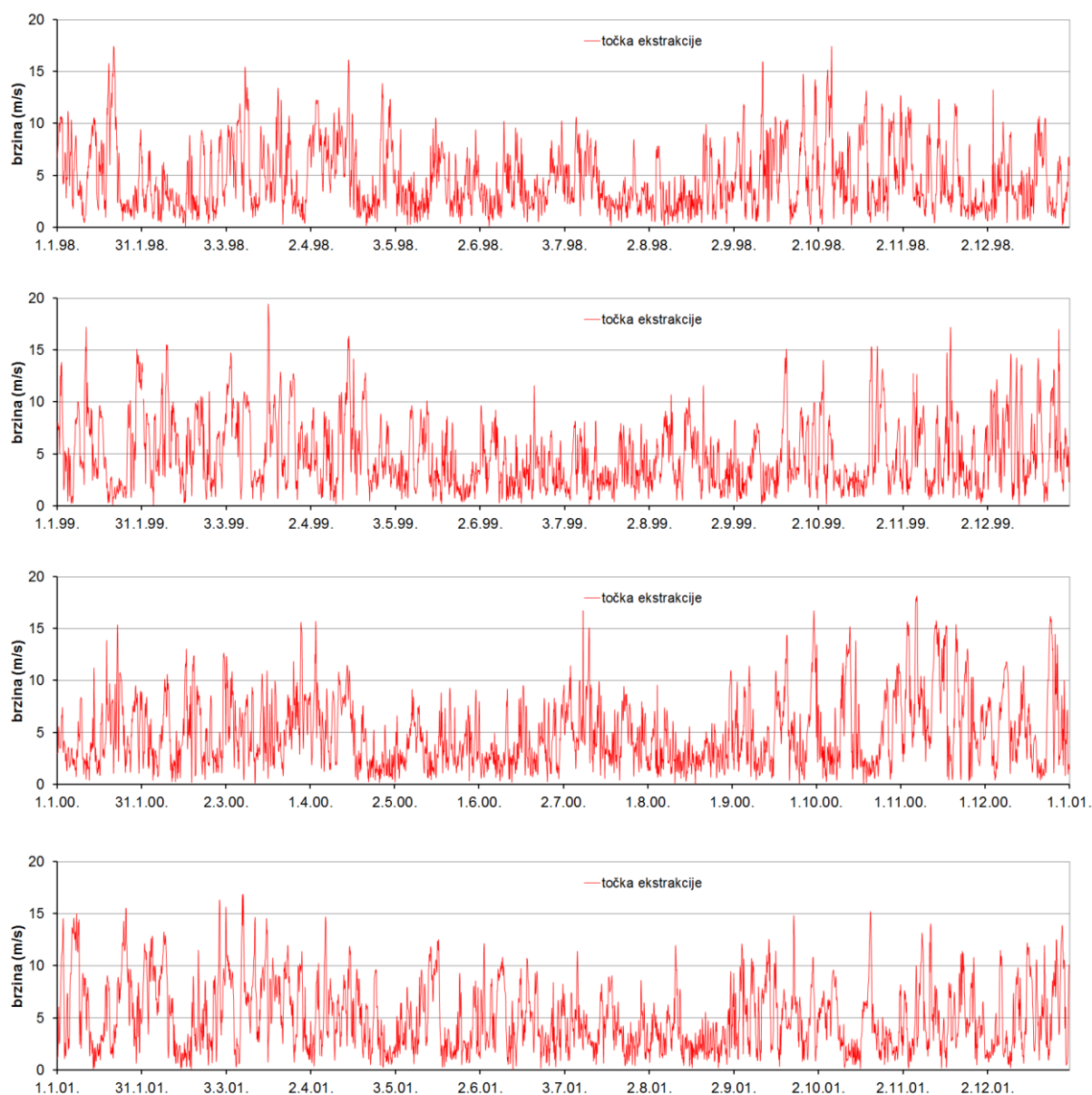
Na slikama 3.3 i 3.4 prikazane su vremenske serije brzine i smjera vjetra prema rezultatima numeričkog atmosferskog modela Aladin-Hr za razdoblje 1.1.1998.-1.1.2002. za poziciju točaka ekstrakcije.



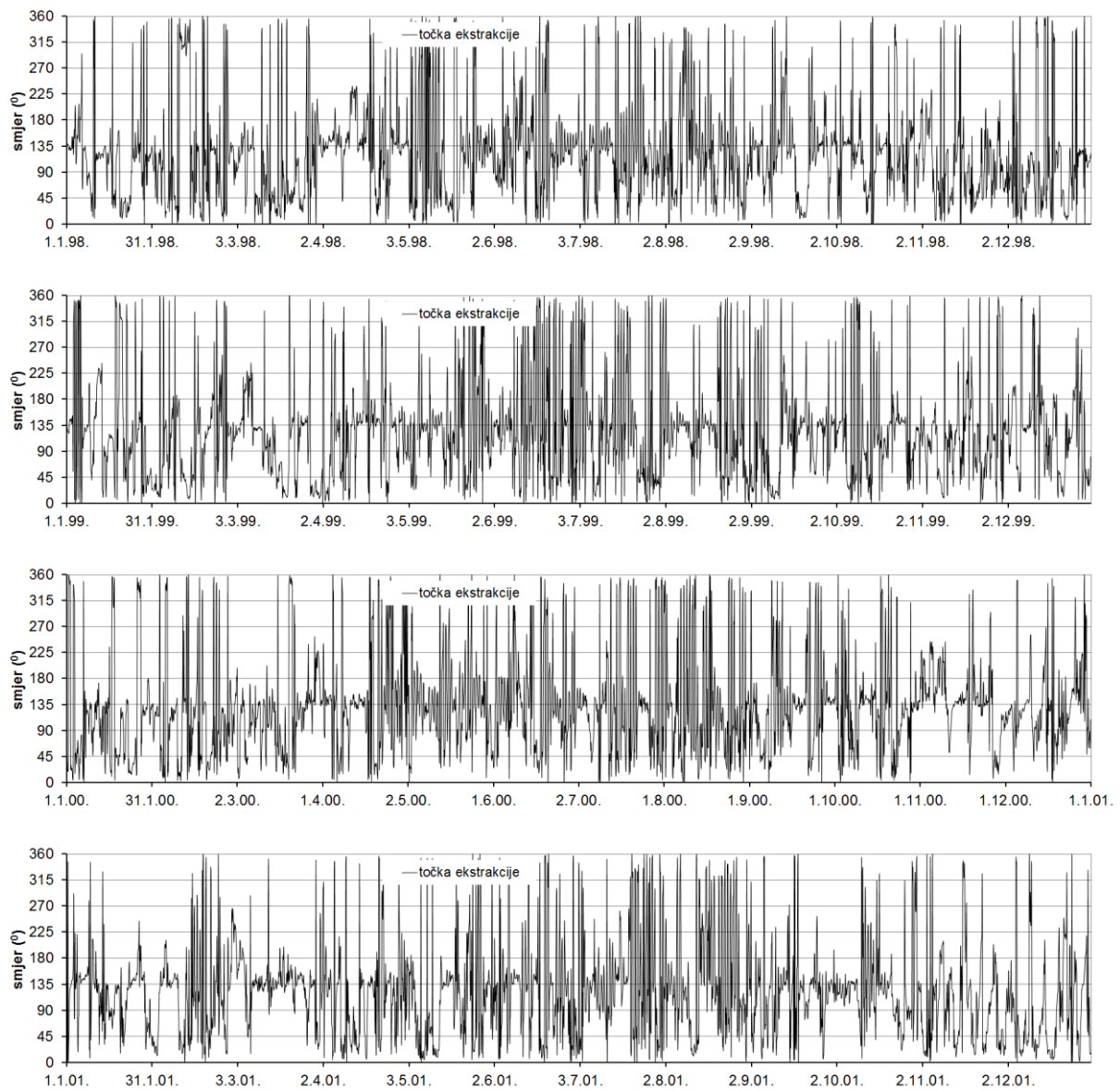
*Slika 3. 1: Primjer rezultatnih polja brzine iz atmosferskog modela Aladin-HR u terminu 16/7/2008 0:00 (lijevo - Vx komponenta brzine vjeta na 10m poviše površine mora; desno - Vy komponenta brzine vjeta na 10m poviše površine mora)*



*Slika 3. 2: Točka ekstrakcije podataka o brzini i smjeru vjeta iz numeričkog atmosferskog modela Aladin-HR na Google podlozi za razdoblje 1.1.1992.-1.1.2002.*



*Slika 3. 3: Komparativne vremenske serije brzine vjetera prema rezultatima numeričkog atmosferskog modela Aladin-Hr za razdoblje 1.1.1998.-1.1.2002. za poziciju točke ekstrakcije*



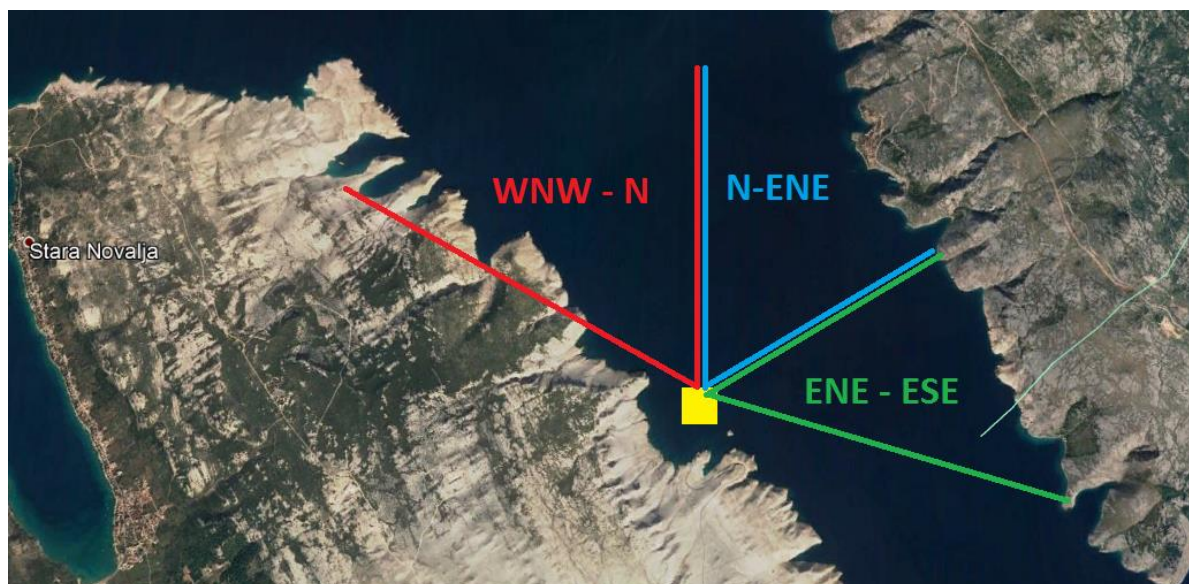
*Slika 3. 4: Komparativne vremenske serije smjera vjetra prema rezultatima numeričkog atmosferskog modela Aladin-Hr za razdoblje 1.1.1998.-1.1.2002. za poziciju točke ekstrakcije*



### 3.2. Anemometarska mjerenja na lokaciji Novalja

Predmetna lokacija (uvala Žigljen) nalazi se u velebitskom kanalu (slika 3.5), te je izložena primarno valovima prvog i četvrtog kvadranta. Vjetrovi prvog kvadranta, posebice vjetrovi u rasponu smjerova NNE - ENE djeluju na relativno kratkom privjetrištu, te generiraju valove kratkih perioda i visoke strmosti. Obalna crta uvale je većim dijelom direktno otvorena prema valovima generiranim vjetrovima u rasponu smjerova NNE-ENE. Južni rt uvale djelomično štiti uvalu od valova generiranih vjetrovima SE/SSE smjera.

Definirana su tri sektora valovanja (sektor I – od WNW do N; sektor II – od N do ENE; sektor III – od ENE do ESE, slika 3.5).



*Slika 3. 5: Makrolokacija s naznačenim vjetrovnim sektorima za dubokovodnu točku ispred uvale Žigljen*

Na raspolaganju su anemografska mjerenja brzine vjetra (1995.-2002.) na lokaciji Novalja. Vjerojatnost istovremenog pojavljivanja različitih smjerova vjetra (%) po klasama brzine vjetra prikazana su u tablicama 3.1 – 3.4.

**Tablica 3. 1:** Vjerojatnost istovremenog pojavljivanja različitih smjerova vjetra (‰) po klasama brzine vjetra (za cijelu godinu na lokaciji Novalja u razdoblju 1995.-2002.)

GODINA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ZBROJ
Brzina (m/s)	0,0-0,2	0,3-1,5	1,6-3,3	3,4-5,4	5,5-7,9	8,0-10,7	10,8-13,8	13,9-17,1	17,2-20,7	20,8-24,4	
N		8.1	29.3	10.3	4.2	0.6	0.02				52.5
NNE		14.7	26.4	6.6	5	1.2	0.2	0.1			54.1
NE		18.9	33.6	19.6	21.7	12.9	5.6	2.1	0.5	0.02	115.1
ENE		9.1	22.4	21.1	18.4	8.7	3.6	0.9	0.1		84.4
E		10.9	55.6	36.2	12.3	2.3	0.6	0.1			118.1
ESE		5.5	51.8	36.2	19	8.8	1.8	0.1			123.1
SE		4.1	15.3	16.9	16.7	7.1	0.9	0.2			61.1
SSE		2.5	7.2	9.4	8.8	3.1	0.5	0.03			31.6
S		3.1	7.2	8	4	0.4	0.02				22.7
SSW		4.5	11.5	10.8	1.7	0.2					28.7
SW		6.4	32.7	14.1	2.7	0.4	0.03				56.4
WSW		5.9	33.9	16.5	2.4	0.1					58.9
W		5	26.3	21	3.1	0.1	0.2	0.1			55.9
WNW		4.5	26.3	14.5	1.7	0.1	0.1	0.2	0.02		47.3
NW		3.6	24	7.9	1.1	0.1	0.02	0.1	0.02		36.7
NNW		5	32.1	8.8	1.8	0.3	0.02				48
C	5.5										5.5
<b>ZBROJ</b>	<b>5.5</b>	<b>111.8</b>	<b>435.7</b>	<b>258</b>	<b>124.7</b>	<b>46.4</b>	<b>13.5</b>	<b>3.8</b>	<b>0.7</b>	<b>0.02</b>	<b>1000</b>

**Tablica 3. 2:** Vjerojatnost istovremenog pojavljivanja različitih smjerova vjetra (‰) po klasama brzine vjetra (za zimu na lokaciji Novalja u razdoblju 1995.-2002.)

Brzina (m/s)	0,0-0,2	0,3-1,5	1,6-3,3	3,4-5,4	5,5-7,9	8,0-10,7	10,8-13,8	13,9-17,1	17,2-20,7	20,8-24,4	ZBROJ
N		8	35.6	12.3	6.1	1.2	0.1				63.2
NNE		12.5	30.1	6	6.1	2.2	0.5	0.3			57.8
NE		22.2	45.3	22.4	26.2	19.7	13.5	6.6	0.7		156.7
ENE		10	31.8	21.2	23.1	13.8	8.7	1.7	0.5		110.9
E		11.4	79	47.4	18.5	5.6	1.4	0.4			163.8
ESE		4.2	57.8	41.7	28.3	13.8	2.6				148.3
SE		3.5	11.8	15.8	13.6	4.3	0.9				49.8
SSE		1.8	6.4	7.7	5	1.2					22
S		1.3	4.3	2.9	0.5	0.1					9.2
SSW		1.4	4.9	2.3	0.8						9.4
SW		3.9	13.2	4.7	2	0.9	0.1				24.8
WSW		3.3	19.5	4.8	0.8	0.1					28.6
W		3.3	18.5	5.1	1.6	0.5	0.7	0.3			30
WNW		3.1	23.4	7.5	0.7	0.3	0.4	0.7	0.1		36.1
NW		2.8	25	8.2	0.7	0.2	0.1	0.3	0.1		37.4
NNW		3.7	36.5	8.7	0.9	0.3					50.2
C	1.8										1.8
<b>ZBROJ</b>	<b>1.8</b>	<b>96.2</b>	<b>443</b>	<b>218.8</b>	<b>135.1</b>	<b>64.3</b>	<b>29</b>	<b>10.3</b>	<b>1.4</b>	<b>0</b>	<b>1000</b>

**Tablica 3. 3:** Vjerojatnost istovremenog pojavljivanja različitih smjerova vjetra (%) po klasama brzine vjetra (za proljeće na lokaciji Novalja u razdoblju 1995.-2002.)

Brzina (m/s)	0,0-0,2	0,3-1,5	1,6-3,3	3,4-5,4	5,5-7,9	8,0-10,7	10,8-13,8	13,9-17,1	17,2-20,7	20,8-24,4	ZBROJ
N		8	25.6	10.1	4.5	0.6					48.9
NNE		13.5	21	7.9	4.9	0.6	0.3	0.1			48.3
NE		15.7	26.8	20.5	22.6	13.4	4.5	1.7	0.8		106.2
ENE		7.4	17	15.7	16.3	7.8	2.4	1.2			67.7
E		10	44.7	34	11.3	1.7	0.2				101.9
ESE		5.5	51.4	42.5	18.3	8.5	1.7				127.9
SE		4.6	17.5	19.1	18.4	6.6	0.6				66.9
SSE		2.3	6.8	9.3	11.1	2.7					32.3
S		4.1	10.2	11.6	8.2	0.6					34.7
SSW		6	14.7	15.7	2.4	0.1					39
SW		8.1	41.3	15.8	2.1	0.1					67.4
WSW		7.5	39.2	18	2.3						67
W		5.8	25.4	21	3.5	0.1					55.9
WNW		4.9	25.2	18.3	2.5						51.1
NW		3.5	21.2	8.5	1	0.1					34.3
NNW		5	26.5	10.3	2.1	0.1					44
C	6.6										6.6
<b>ZBROJ</b>	<b>6.6</b>	<b>112</b>	<b>414.6</b>	<b>278.5</b>	<b>131.9</b>	<b>43</b>	<b>9.7</b>	<b>3</b>	<b>0.8</b>	<b>0</b>	<b>1000</b>

**Tablica 3. 4:** Vjerojatnost istovremenog pojavljivanja različitih smjerova vjetra (%) po klasama brzine vjetra (za ljeto na lokaciji Novalja u razdoblju 1995.-2002.)

Brzina (m/s)	0,0-0,2	0,3-1,5	1,6-3,3	3,4-5,4	5,5-7,9	8,0-10,7	10,8-13,8	13,9-17,1	17,2-20,7	20,8-24,4	ZBROJ
N		9.2	23.9	7.2	2.8	0.4					43.4
NNE		16.1	23.1	5	3.3	0.7					48.2
NE		16.6	25	15.3	17	7.4	1.8	0.1			83.2
ENE		9.5	16.1	22	16	5.3	1	0.1			69.9
E		10.3	37.5	25.4	6.2	0.1	0.1				79.6
ESE		6	42.4	24.7	6.3	2	0.7				82
SE		5.3	15.9	12.4	7.5	2.2	0.1	0.1			43.4
SSE		3.3	6	5.9	4.2	1.7					21.1
S		5.1	8.4	9.8	4.6	0.2					28.2
SSW		7.3	15.7	18	2.1	0.1					43.2
SW		9.7	48.4	27.4	3.5	0.3					89.2
WSW		9.7	52.3	34	5.8	0.1					101.9
W		7.7	38.1	46.7	6.3						98.8
WNW		7.3	32.3	22.6	2.7						65
NW		5.2	26.9	7.4	1.9	0.1					41.5
NNW		6.6	30.9	10.3	2	0.2					50
C	11.4										11.4
<b>ZBROJ</b>	<b>11.4</b>	<b>134.8</b>	<b>442.9</b>	<b>294.1</b>	<b>92.3</b>	<b>20.6</b>	<b>3.7</b>	<b>0.2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1000</b>



### 3.3. Privjetrište po sektoru

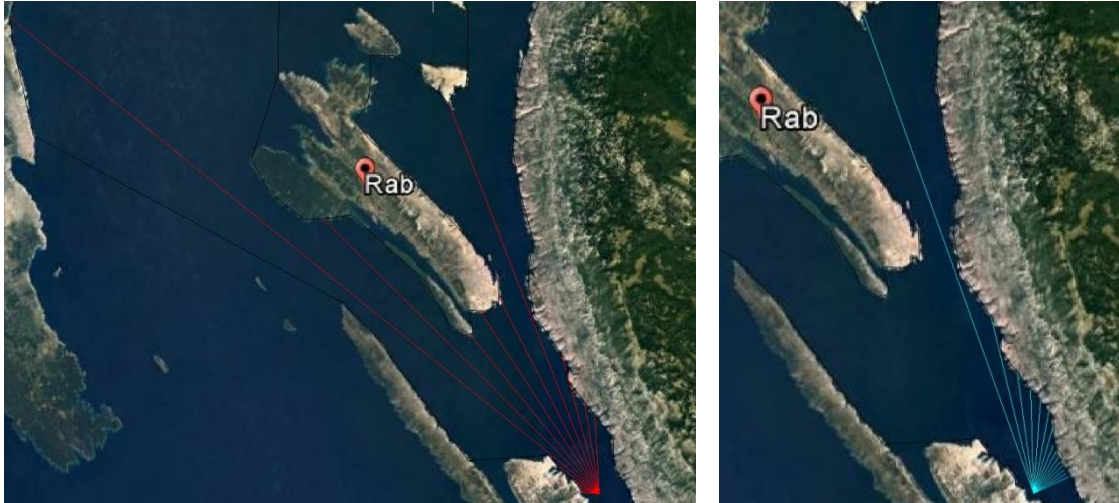
Predmetni akvatorij izložen je valovima iz I. i IV. kvadranta koji se razvijaju na ograničenim privjetrištima (slika 3.5) pa je za ove smjerove načinjena analiza efektivnih duljina privjetrišta kako bi se proračunali i odgovarajuće značajne visine valova  $H_S$ . Sektori iz kojih je predmetno područje izloženo djelovanju gravitacionih vjetrovnih valova određeni su prema dubokovodnoj točki ispred ulaza u uvalu Žigljen.

Kut izloženosti valovima proteže se od NW do ESE smjera:  $315^\circ$ -  $112,5^\circ$ . Kut izloženosti podijeljen je na tri sektora (slika 3.5):

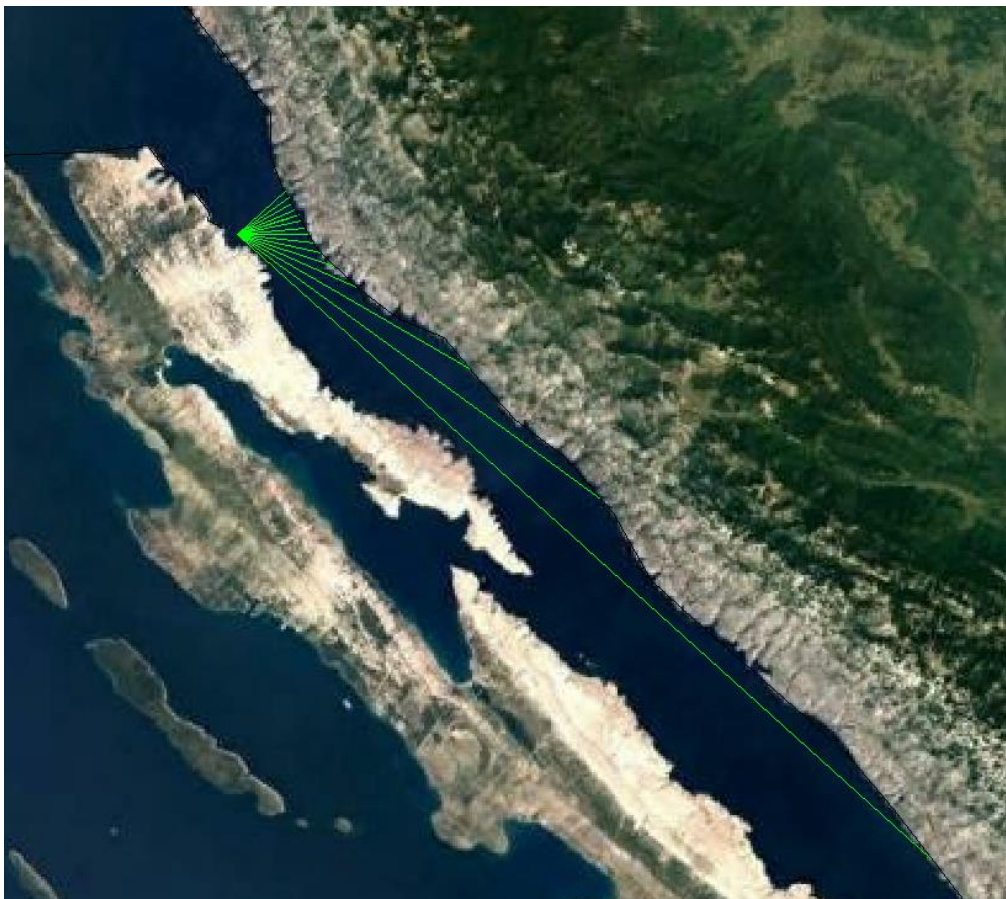
**Sektor I.** – WNW-N ( $197,5^\circ$ - $0^\circ$ ), **Sektor II.** – N-ENE ( $0^\circ$ -  $67,5^\circ$ ), **Sektor III.** - ENE-ESE ( $67,5^\circ$ - $112,5^\circ$ ).

Sektori se razlikuju dužinom privjetrišta; tj dužinom morske površine iznad koje puše vjetar i generira valove. Proračun efektivne duljine privjetrišta je proveden na način da se za odabrane reprezentativne smjerova svakog od sektora (sektor I – smjer NW; sektor II – smjer NNE, sektor III - smjer E) postavi centralna zraka koja kao ishodište ima točku ispred planiranog zahvata. Nakon toga se sa rotacijom od  $6^\circ$  u smjeru kazaljke na satu (do  $+42^\circ$ ) i suprotno od kazaljke na satu (do  $-42^\circ$ ) postavljaju pravci kroz istu ishodišnu točku. Određuju se duljine svake zrake od ishodišta do prve točke obale te se proračunava suma njihovih projekcija na centralnu zraku. Ta suma se dijeli sa sumom sinusa kuteva centralne zrake i ostalih rotiranih zraka a čime se dobiva i vrijednost duljine efektivnog privjetrišta. Na slikama 3.6 i 3.7 dani su grafički prikazi postavljanja centralne zrake kroz smjerove NW, NNE i E te zrake sa korekcijom rotacije  $\pm 6^\circ$  od centralne zrake.

Proračunske vrijednosti spomenutog postupka za određivanje efektivne duljine privjetrišta za svaki pojedini smjer dane su u tablici 3.5. Usvojena efektivna dužina sektora I (centralni NW smjer) je 12,7 km, za sektor II (centralni NNE smjer) je 5,4 km, a za sektor III (centralni E smjer) je 5,6 km (tablica 3.6).



*Slika 3. 6: Centralne zrake kroz smjer NW (lijevo), NNE (desno) i E (dole) te zrake sa korakom rotacije  $\pm 6^\circ$  od centralnih zraka*



*Slika 3. 7: Centralne zrake kroz smjer E te zrake sa korakom rotacije  $\pm 6^\circ$  od centralnih zraka*

**Tablica 3. 5:** Proračunske vrijednosti u postupku za određivanje efektivne duljine privjetrišta za svaki pojedini smjer

<b>središnji kut kroz NW</b>				<b>središnji kut kroz NNE</b>				<b>središnji kut kroz E</b>			
$\alpha$	$\cos \alpha$	$X_i$	$X_i \cos \alpha$	$\alpha$	$\cos \alpha$	$X_i$	$X_i \cos \alpha$	$\alpha$	$\cos \alpha$	$X_i$	$X_i \cos \alpha$
42	0.74	1.2	0.9	42	0.74	2.2	1.6	42	0.74	32.9	24.4
36	0.81	1.3	1.1	36	0.81	2.2	1.8	36	0.81	15.8	12.8
30	0.87	1.4	1.2	30	0.87	2.2	1.9	30	0.87	9.5	8.2
24	0.91	1.6	1.5	24	0.91	2.3	2.1	24	0.91	4.7	4.3
18	0.95	1.9	1.8	18	0.95	2.4	2.3	18	0.95	3.6	3.4
12	0.98	3.3	3.2	12	0.98	2.5	2.4	12	0.98	3.0	2.9
6	0.99	51.2	50.9	6	0.99	2.7	2.7	6	0.99	2.7	2.7
0	1.00	26.1	26.1	0	1.00	3.0	3.0	0	1.00	2.5	2.5
6	0.99	14.3	14.2	6	0.99	4.1	4.1	6	0.99	2.4	2.4
12	0.98	14.7	14.4	12	0.98	4.7	4.6	12	0.98	2.3	2.2
18	0.95	14.8	14.1	18	0.95	5.2	4.9	18	0.95	2.3	2.2
24	0.91	28.1	25.7	24	0.91	5.9	5.4	24	0.91	2.2	2.0
30	0.87	9.6	8.3	30	0.87	6.9	6.0	30	0.87	2.2	1.9
36	0.81	6.1	4.9	36	0.81	10.4	8.4	36	0.81	2.2	1.8
42	0.74	5.2	3.9	42	0.74	29.0	21.6	42	0.74	2.2	1.6
<b>SUM</b>	<b>13.51</b>	<b>222.9</b>	<b>172.1</b>	<b>SUM</b>	<b>13.51</b>	<b>SUM</b>	<b>72.8</b>	<b>SUM</b>	<b>13.51</b>	<b>SUM</b>	<b>75.5</b>
<b>Feff =</b>	<b>12.7 km</b>			<b>Feff =</b>	<b>5.4 km</b>			<b>Feff =</b>	<b>5.6 km</b>		

**Tablica 3. 6:** Usvojene vrijednosti efektivnih duljina privjetrišta za sektore I, II i III

	<b>SEKTOR</b>		
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Privjetrište $F_{efektivno}$ (km)	12,7	5,4	5,6

## 4. NUMERIČKI MODEL VALNOG GENERIRANJA I VALNIH DEFORMACIJA

Primijenjen je spektralni numerički model valnog generiranja i valnih deformacija Mike 21/SW ([www.dhigroup.com](http://www.dhigroup.com); Komen, 1994.; Hercbach i Janssen, 1999.; Lončar i sur., 2010.)

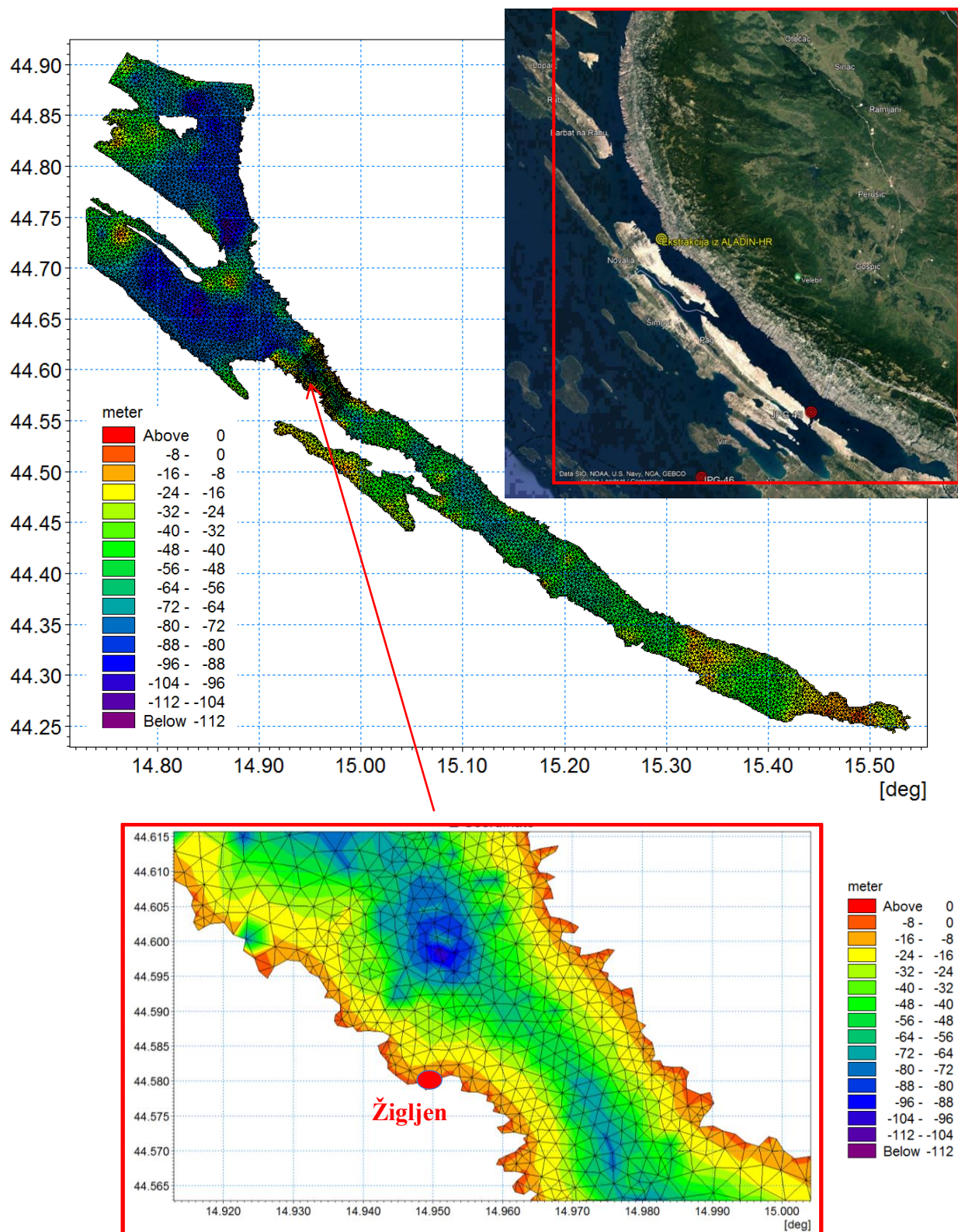
S kojim su dobivene prostorne raspodjele značajnih valnih visina, vršnih valnih perioda i incidentnog smjera valovanja na širem akvatorijalnom području pri djelovanju polja vjetra iz atmosferskog modela Aladin-Hr za razdoblje 1.1.1992.-1.1.2002.

Korištena je puna spektralna formulacija a za spektralnu diskretizaciju frekvencijske domene korištena je logaritamska skala od minimalne frekvencije 0,08 Hz (valni period 12,5 s) do maksimalne frekvencije 0,95 Hz (valni period 1,05 s), kroz 28 diskretnih koraka. Modelom su obuhvaćeni procesi valnog generiranja vjetrom, međusobnih valnih nelinearnih interakcija, refrakcije i utjecaja plićine te disipacijskog procesa pri površinskim lomovima valova. Korišteni su disipacijski koeficijenti s prostorno homogenim vrijednostima 2,5 i 0,5 (Lončar i sur., 2010.).

Na slici 4.1 prikazana je i primijenjena prostorna modelska diskretizacija (proračunska mreža). Udaljenost između numeričkih čvorova, smještenih u težište površine svakog konačnog volumena, je varijabilna i proteže se od 300 m do 50 m. Na području otvorenih modelskih granica korišteni su uvjeti nultog valnog spektra a obalna crta je tretirana kao nereflektivna (apsorbirajuća).

Početni uvjeti definirani su s nultim valnim spektrom, odnosno s odsustvom inicijalnog valnog gibanja na cijelom modeliranom području. Model je forsiran poljem vjetra iz atmosferskog modela Aladin-HR s prostornom rezolucijom od 2 km i vremenskom rezolucijom od 3 sata.

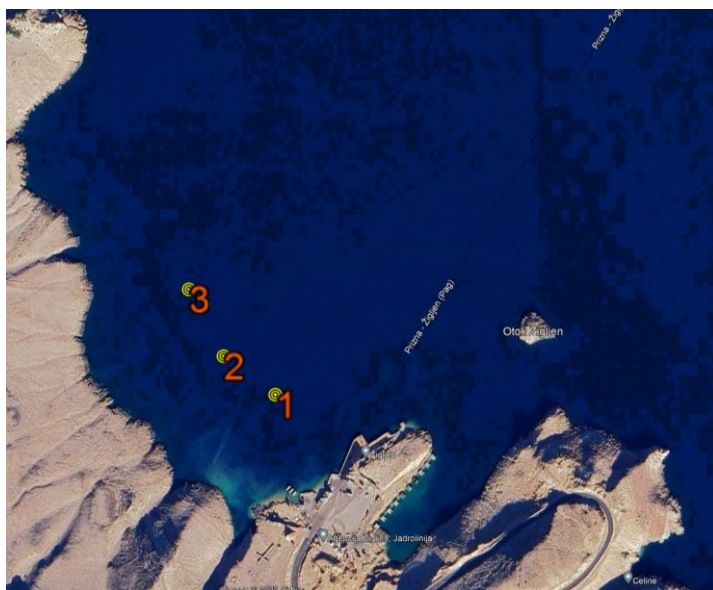




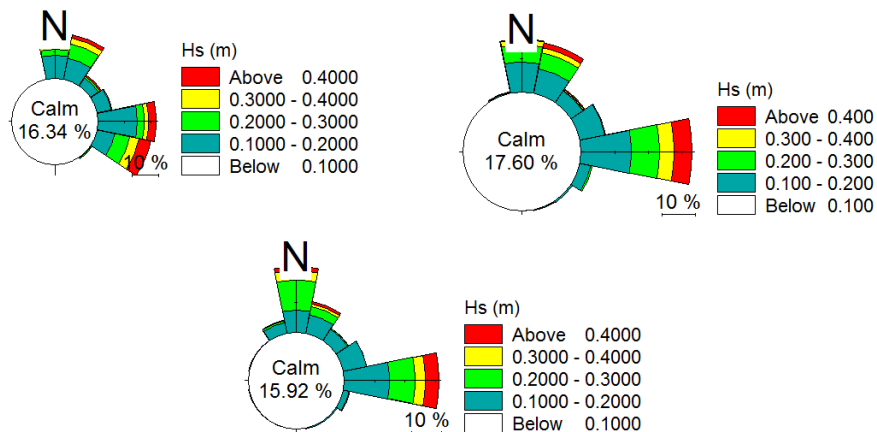
*Slika 4. 1: Prostorna domena numeričkog modela valnog generiranja i valnih deformacija sa diskretizacijom u vidu nestrukturirane mreže konačnih volumena (proračunska mreža) na batimetrijskoj podlozi*

## 5. REZULTATI NUMERIČKOG MODELA VALNOG GENERIRANJA I VALNIH DEFORMACIJA

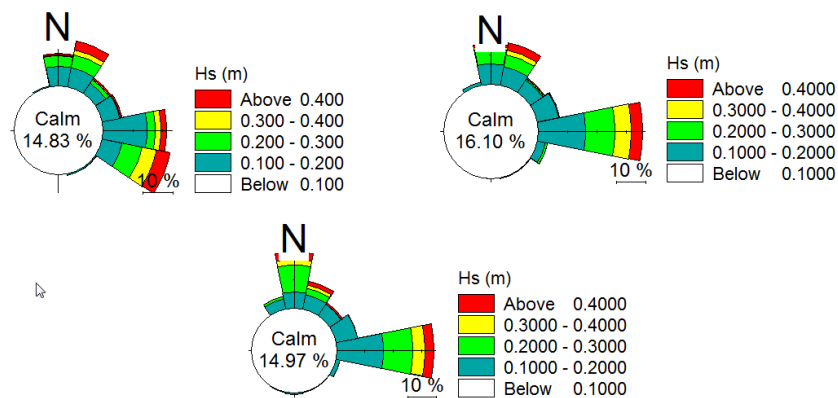
Na slici (5.2 - 5.10) prikazane su ruže značajnih valnih visina  $H_s$  za tri odabrane lokacije (1, 2, 3) u blizini trajektnog pristaništa Žigljen (slika 5.1, udaljenost cca 120m od obale), za simulacijsko razdoblje 1.1.1992.-1.1.2002. Na slici (5.11 – 5.19) prikazane su ruže vršnih spektralnih perioda za iste tri odabrane lokacije u blizini trajektnog pristaništa Žigljen (slika 5.1), za isto simulacijsko razdoblje 1.1.1992.-1.1.2002. Na slici (5.20 – 5.28) prikazane su ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\pi)$ ) za iste tri odabrane lokacije u blizini trajektnog pristaništa Žigljen (slika 5.1), za isto simulacijsko razdoblje 1.1.1992.-1.1.2002.



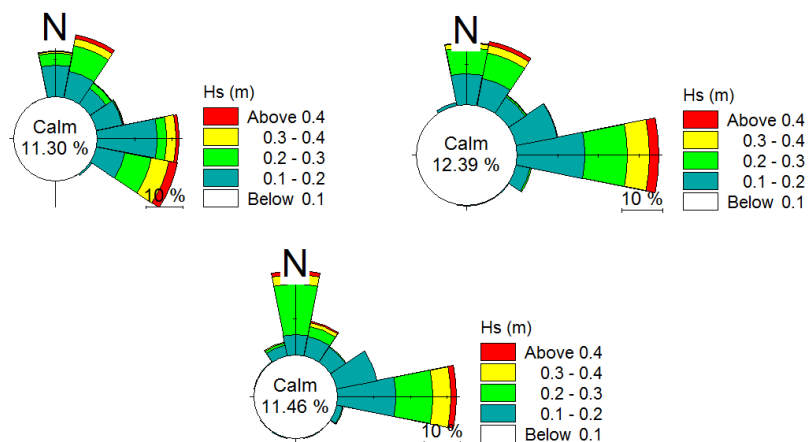
*Slika 5. 1: Odabrane lokacije „1, 2, 3“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen, za koje se prikazuju rezultati numeričkog modela valnog generiranja i valnih deformacija ( $H_s$ ,  $T_p$  i incidentni smjer valovanja) tijekom simulacijskog razdoblja 1.1.1992.-1.1.2002.*



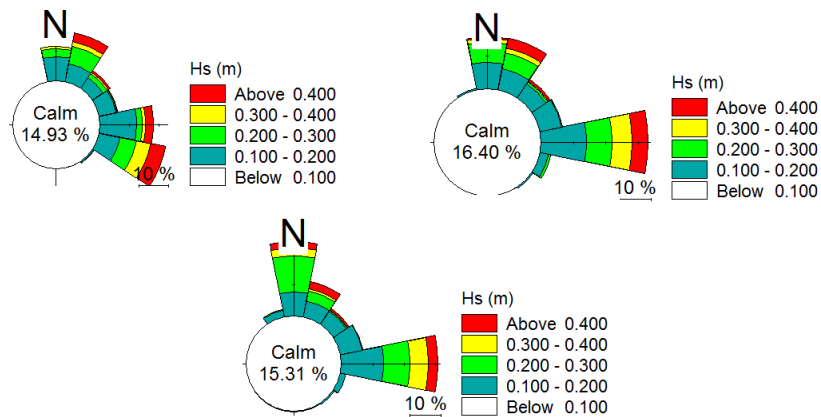
Slika 5. 2: Ruže značajnih valnih visina  $H_s$  za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1992.



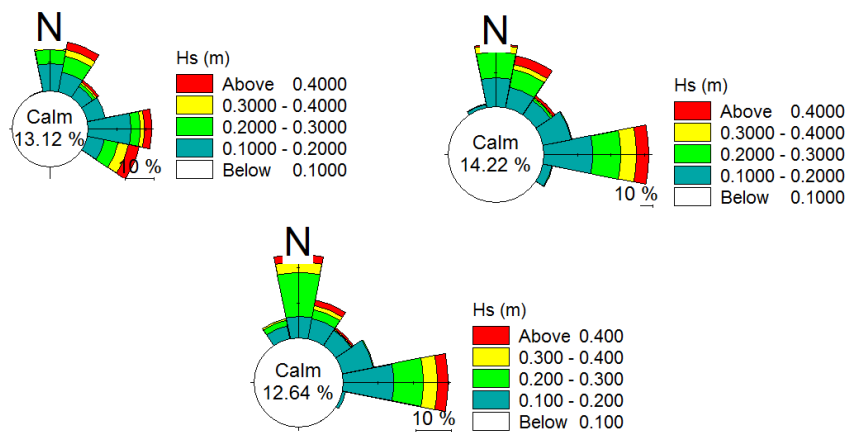
Slika 5. 3: Ruže značajnih valnih visina  $H_s$  za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1993.



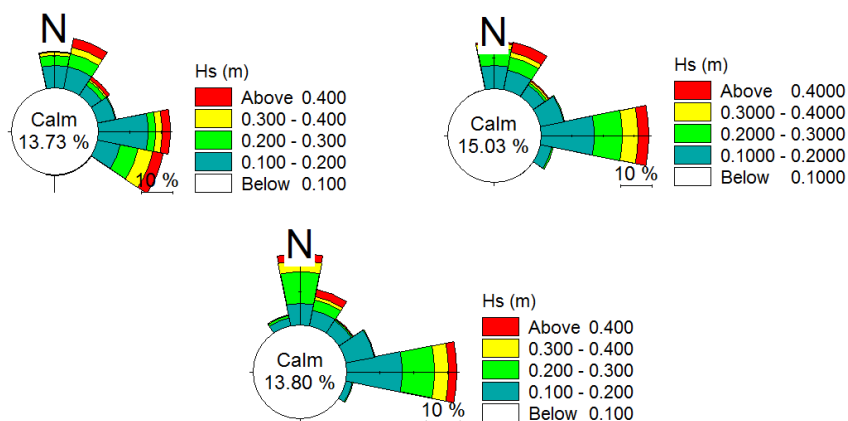
Slika 5. 4: Ruže značajnih valnih visina Hs za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1994.



Slika 5. 5: Ruže značajnih valnih visina Hs za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1995.

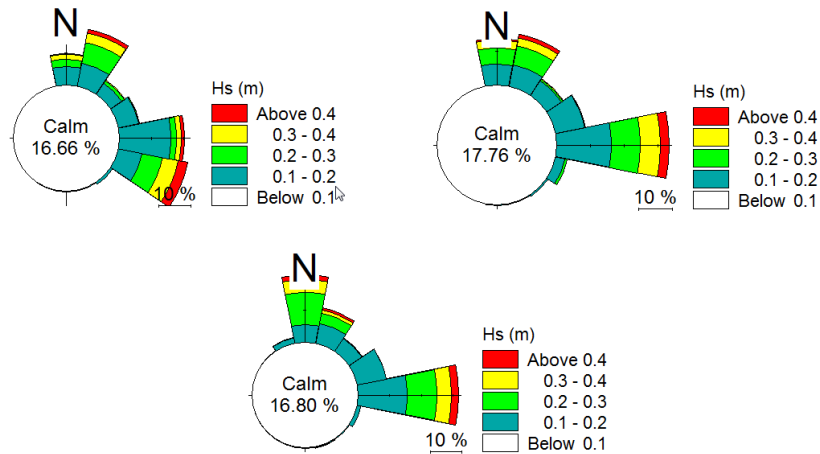


Slika 5. 6: Ruže značajnih valnih visina Hs za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1997.

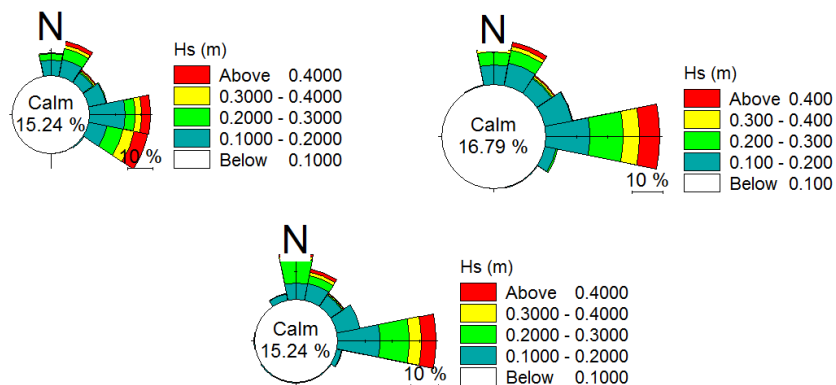




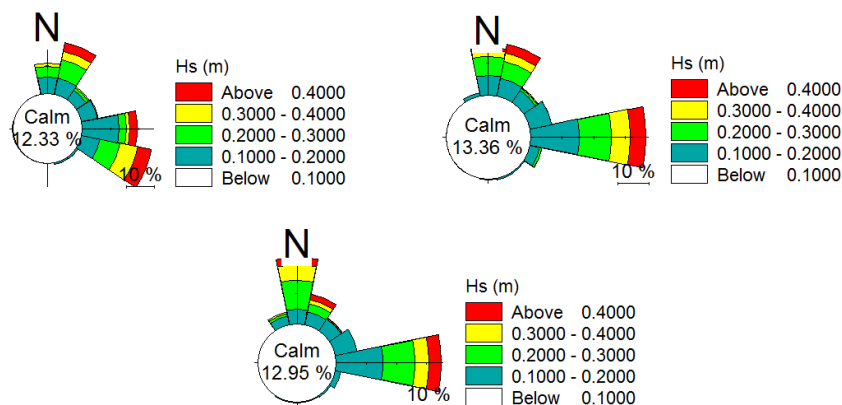
*Slika 5. 7: Ruže značajnih valnih visina  $H_s$  za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1998.*



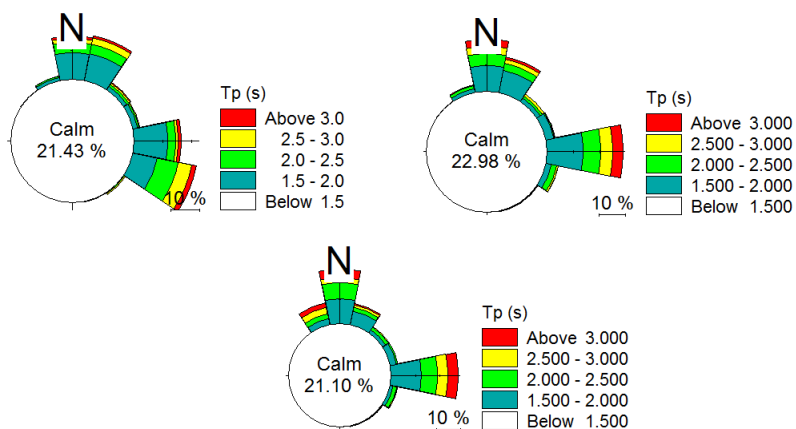
*Slika 5. 8: Ruže značajnih valnih visina  $H_s$  za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1999.*



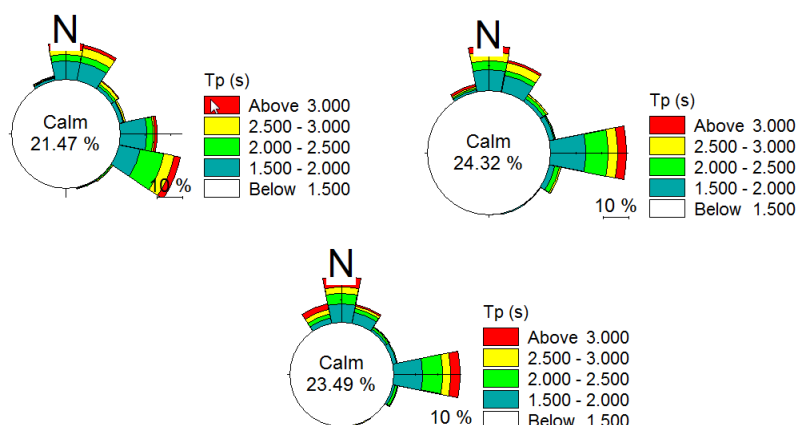
*Slika 5. 9: Ruže značajnih valnih visina  $H_s$  za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 2000.*



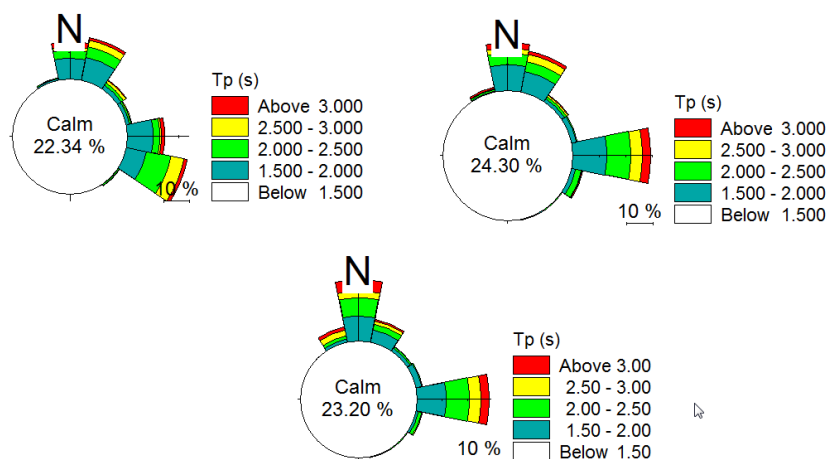
Slika 5. 10: Ruže značajnih valnih visina  $H_s$  za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 2001.



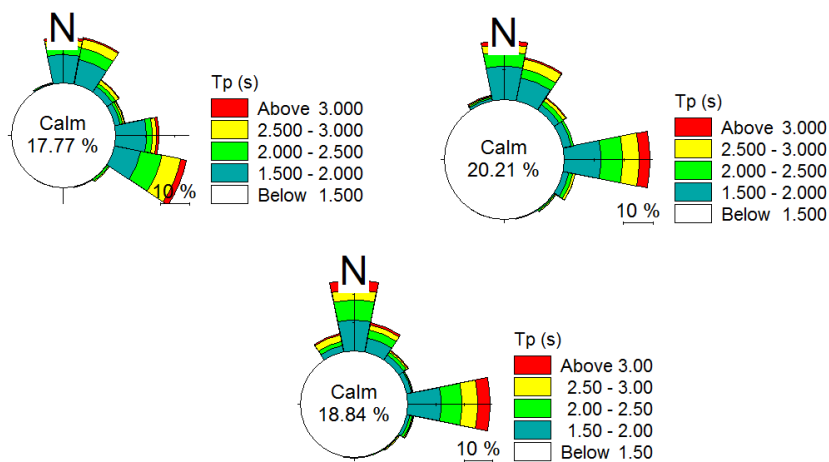
Slika 5. 11: Ruže vršnih valnih perioda  $T_p$  za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1992.



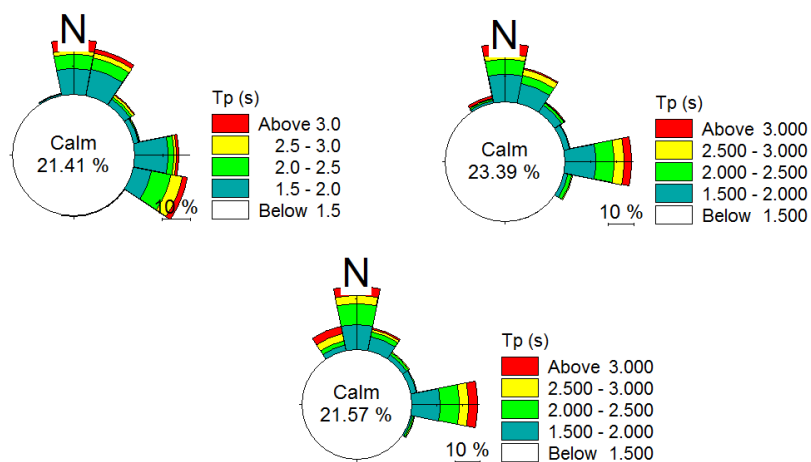
Slika 5. 12: Ruže vršnih valnih perioda  $T_p$  za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1993.



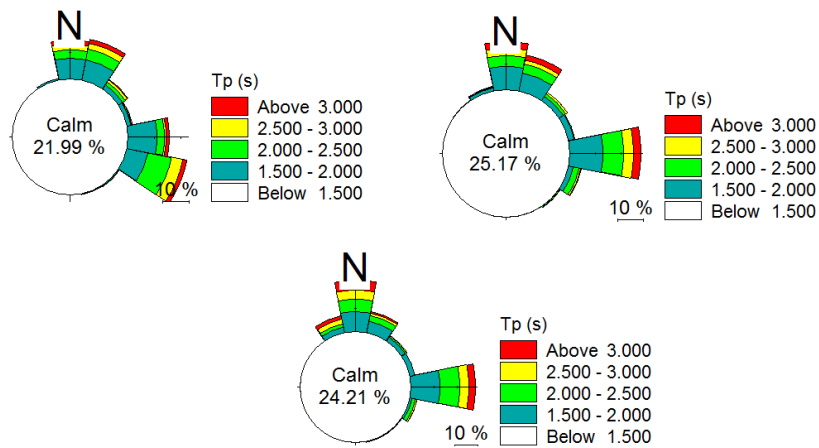
Slika 5. 13: Ruže vršnih valnih perioda  $T_p$  za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1994.



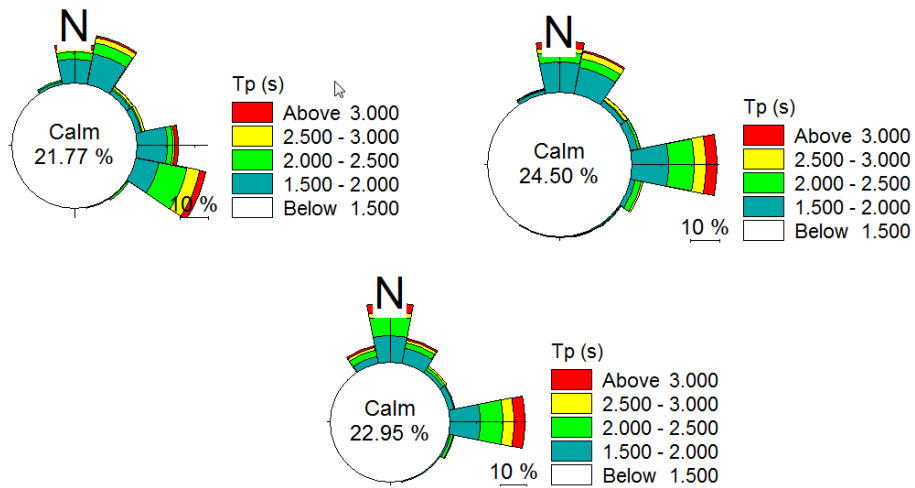
Slika 5. 14: Ruže vršnih valnih perioda  $T_p$  za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1995.



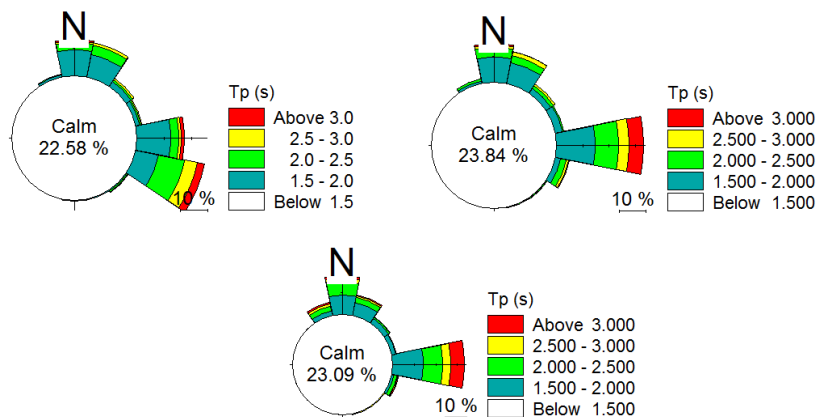
Slika 5. 15: Ruže vršnih valnih perioda  $T_p$  za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1997.



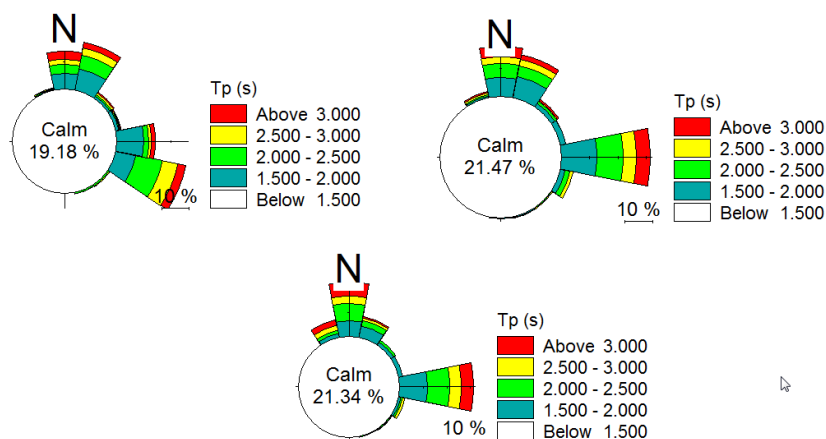
Slika 5. 16: Ruže vršnih valnih perioda  $T_p$  za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1998.



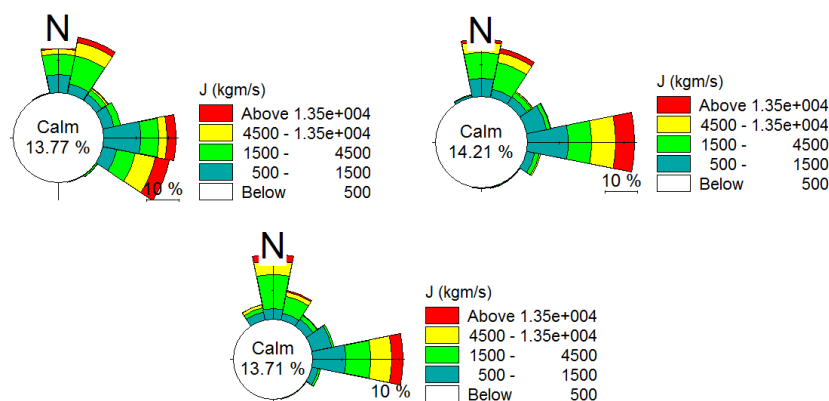
Slika 5. 17: Ruže vršnih valnih perioda  $T_p$  za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1999.



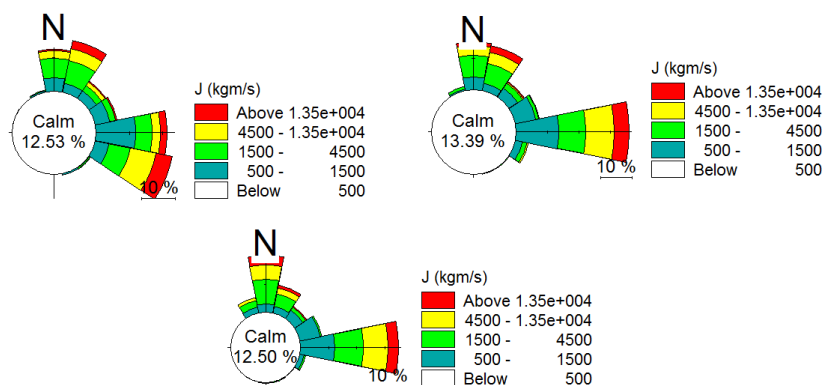
Slika 5. 18: Ruže vršnih valnih perioda  $T_p$  za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 2000.



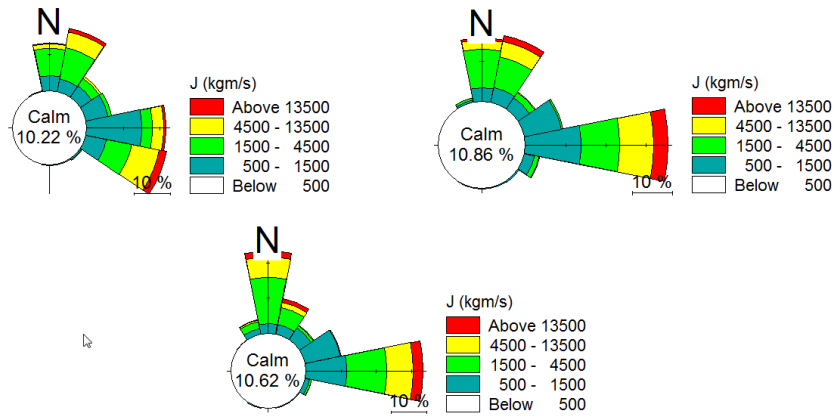
Slika 5. 19: Ruže vršnih valnih perioda  $T_p$  za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 2001.



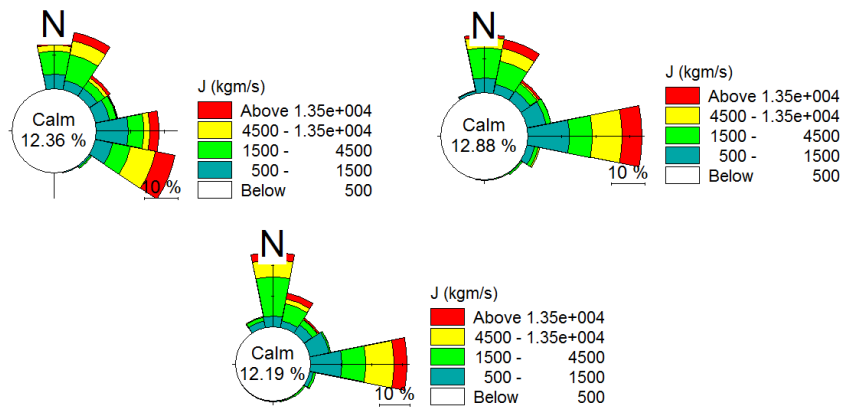
Slika 5. 20: Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1992.



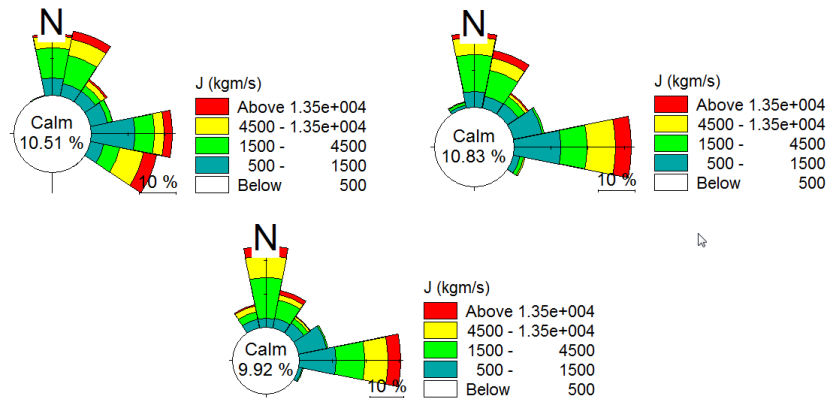
Slika 5. 21: Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1993.



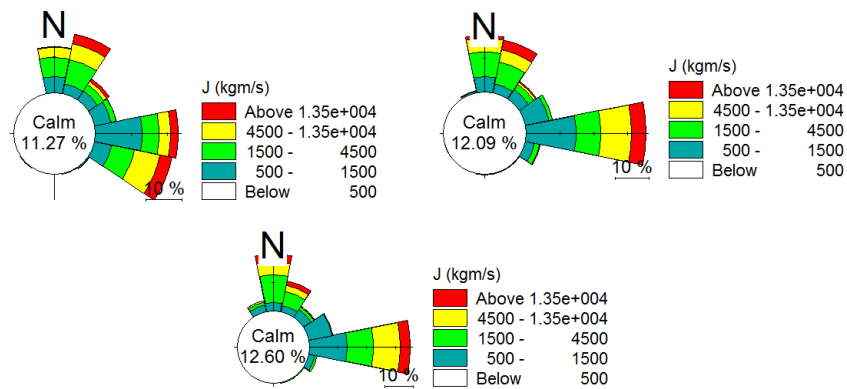
Slika 5. 22: Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1994.



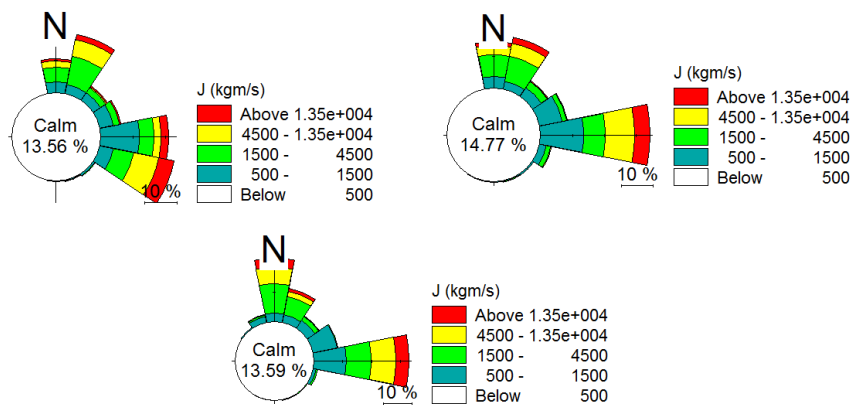
Slika 5. 23: Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1995.



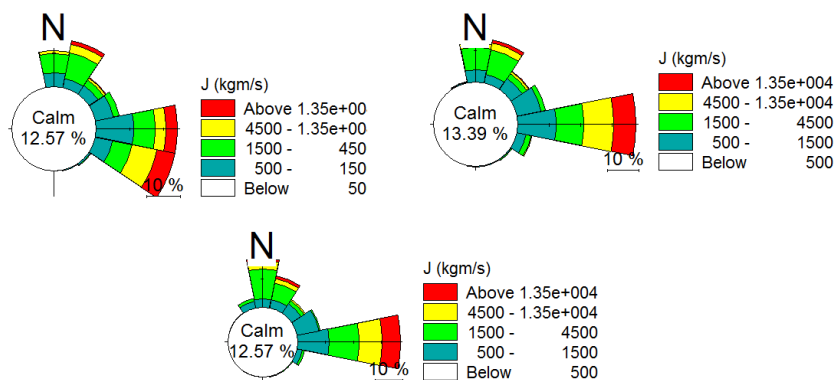
Slika 5. 24: Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1997.



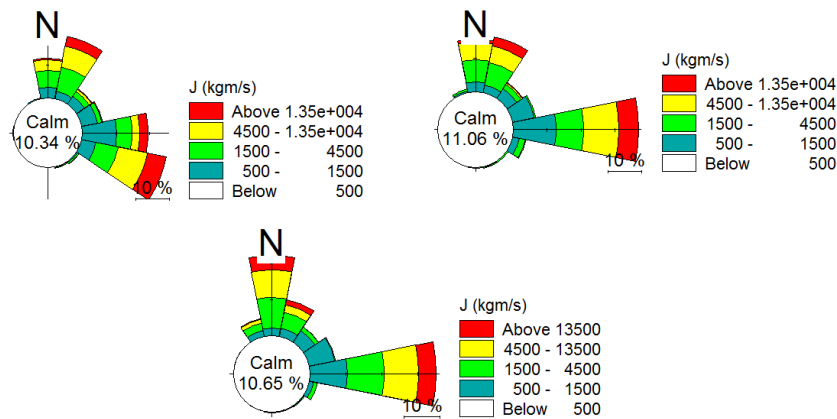
Slika 5. 25: Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1998.



Slika 5. 26: Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1999.



Slika 5. 27: Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 2000.



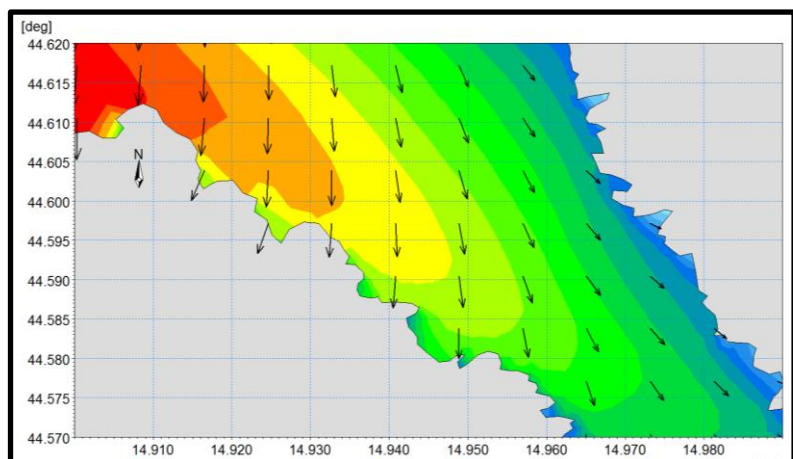
*Slika 5. 28: Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 2001.*

Na slikama 5.29 i 5.30 prikazana su satno usrednjena polja značajnih valnih visina  $H_s$  na modeliranom području u nekoliko termina tijekom 1999.

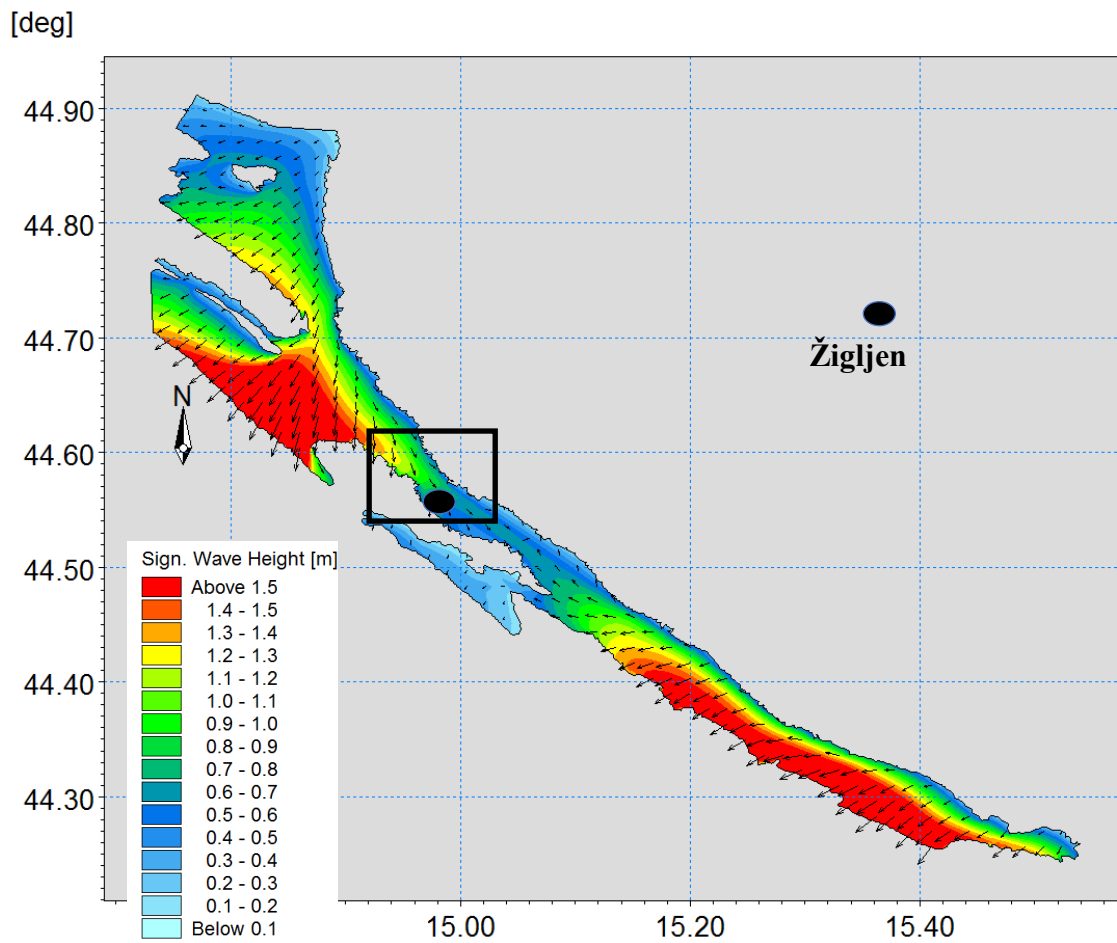
Na slici 5.31 prikazana su satno usrednjena polja fluksa valne snage  $J$  na modeliranom području u istim termina tijekom 1999.

Na slikama 5.32 – 5.40 prikazana su polja fluksa valne snage  $J$  usrednjena za kalendarsku godinu tijekom razdoblja 1992.-2002.

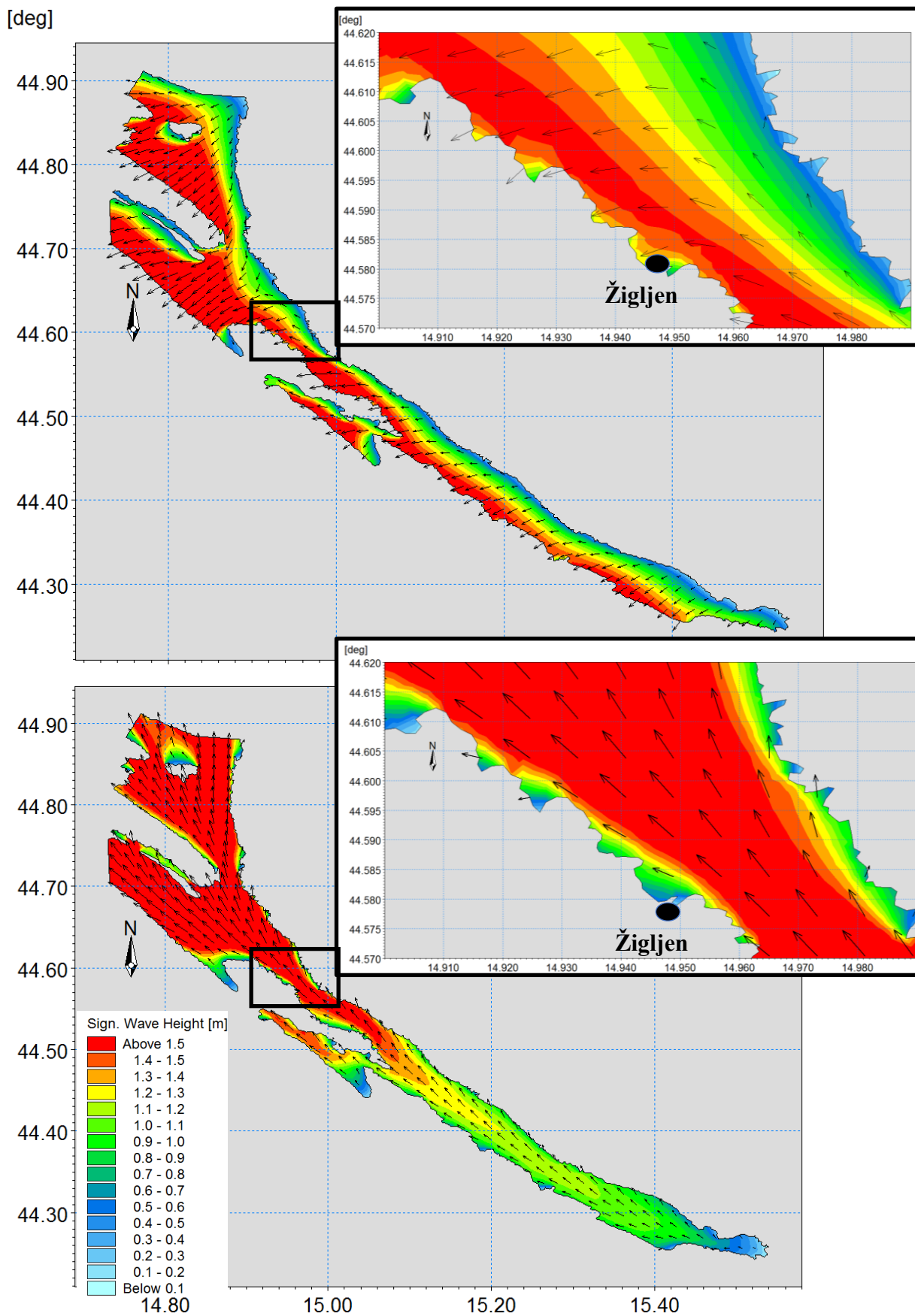
Rezultati prikazani na slikama 5.32 - 5.40 jasno pokazuju da prethodno analizirane pozicije 1,2,3 sa slike 5.1 ne predstavljaju optimalni izbor lokacije za postavljanje konvertora, te se za poziciju postavljanja konvertora predlaže lokacija prikazana na slici 5.41.



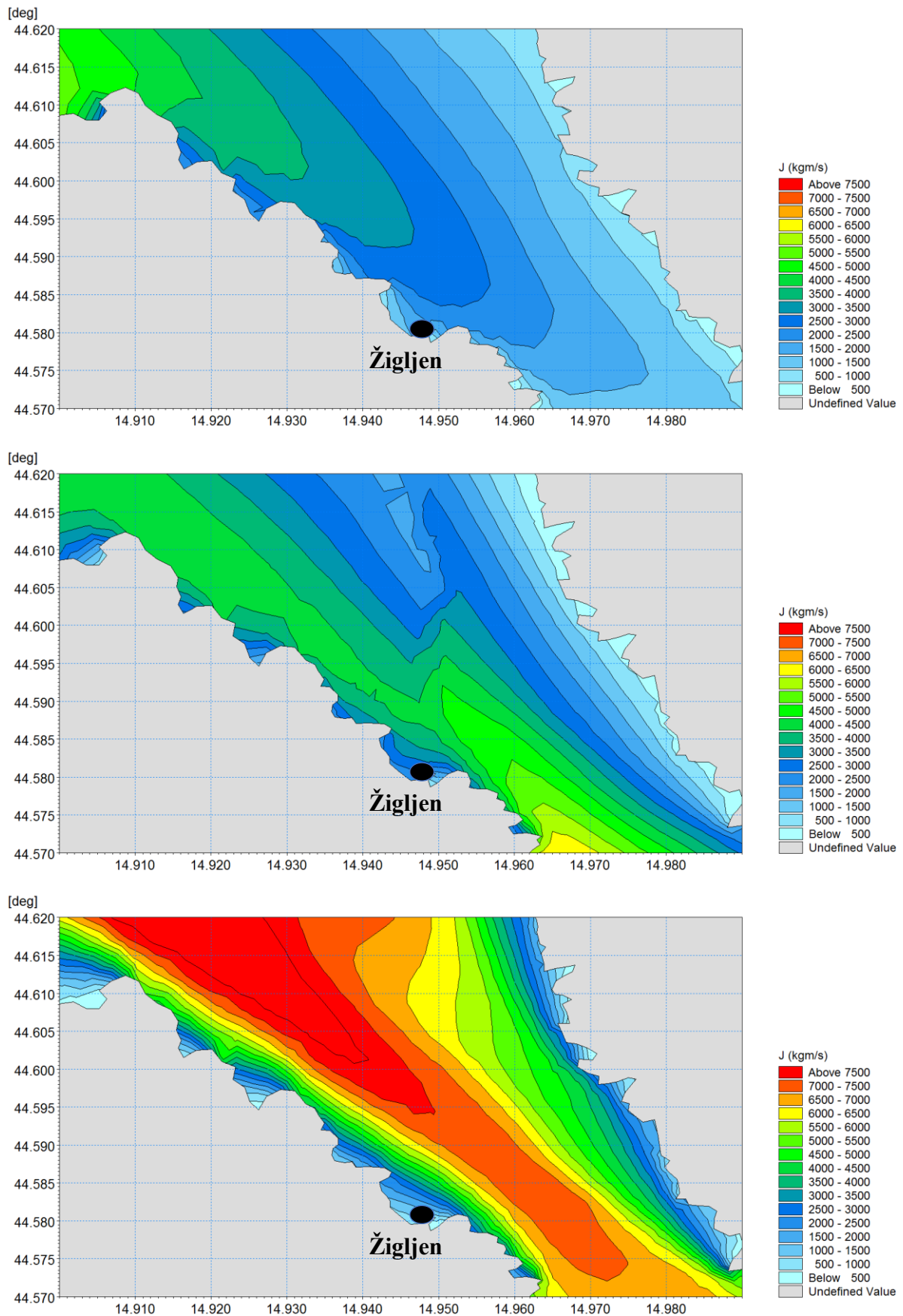




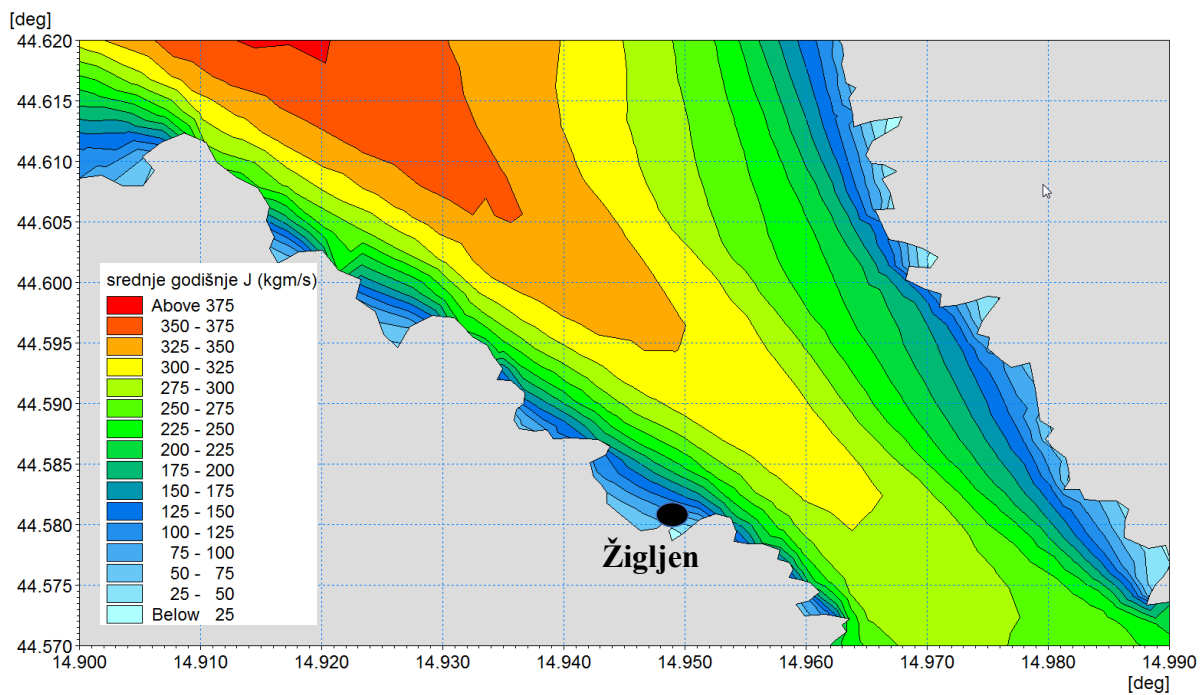
*Slika 5. 29: Satno usrednjena polja značajnih valnih visina HS na modeliranom području u nekoliko (31.1.1999. 15:00)*



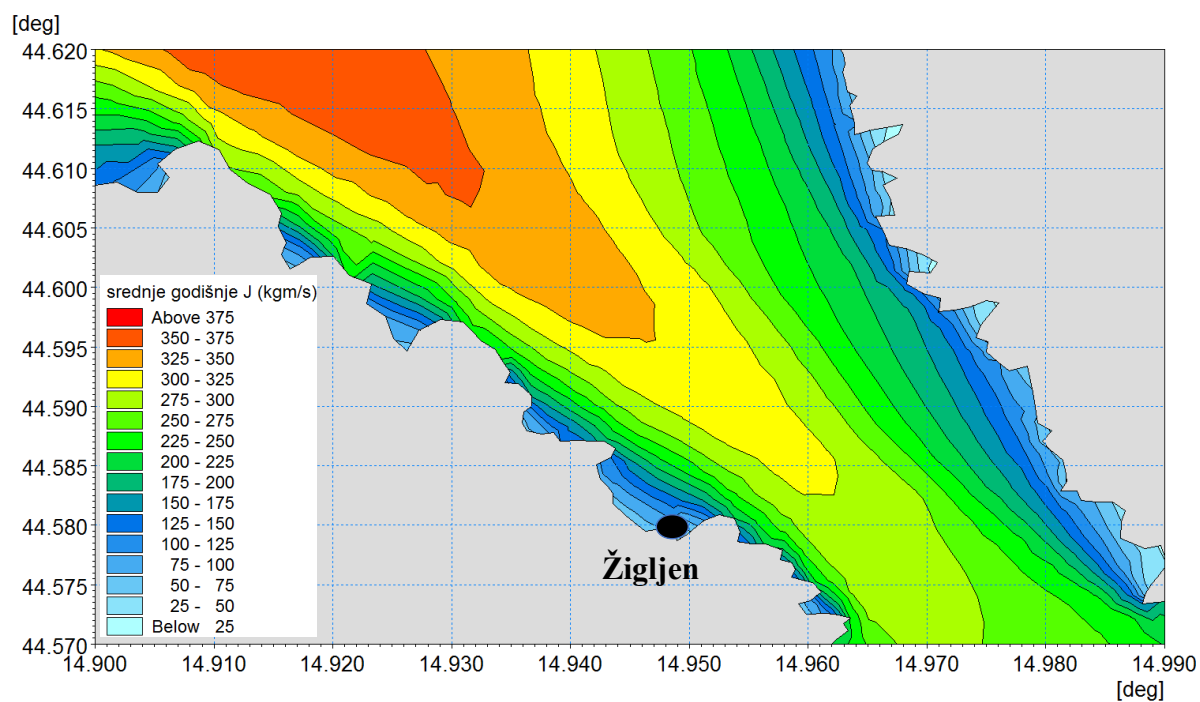
*Slika 5. 30: Satno usrednjena polja značajnih valnih visina HS na modeliranom području u nekoliko (gore - 18.3.1999. 3:00, dole - 16.04.1999. 3:00)*



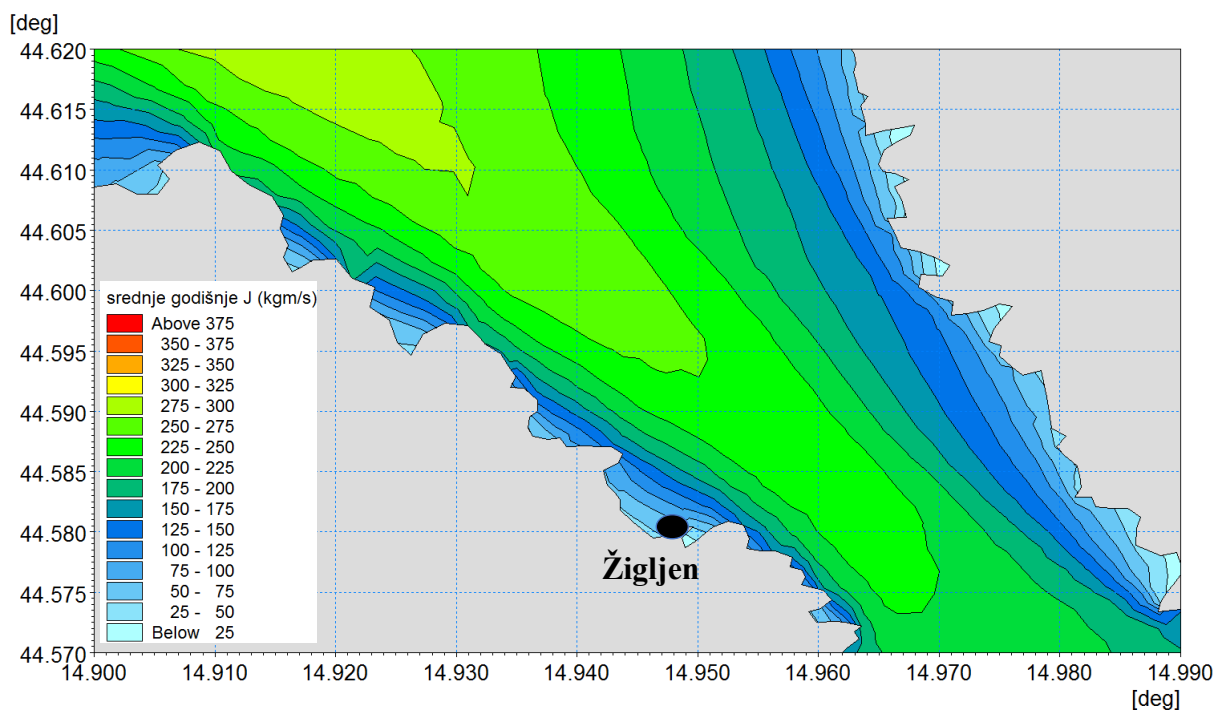
**Slika 5. 31:** Satno usrednjena polja fluksa valne snage  $J$  na modeliranom području u nekoliko termina tijekom 1999. (gore – 31.1.1999. 15:00 ; sredina - 18.3.1999. 3:00, dole – 16.04.1999. 3:00)



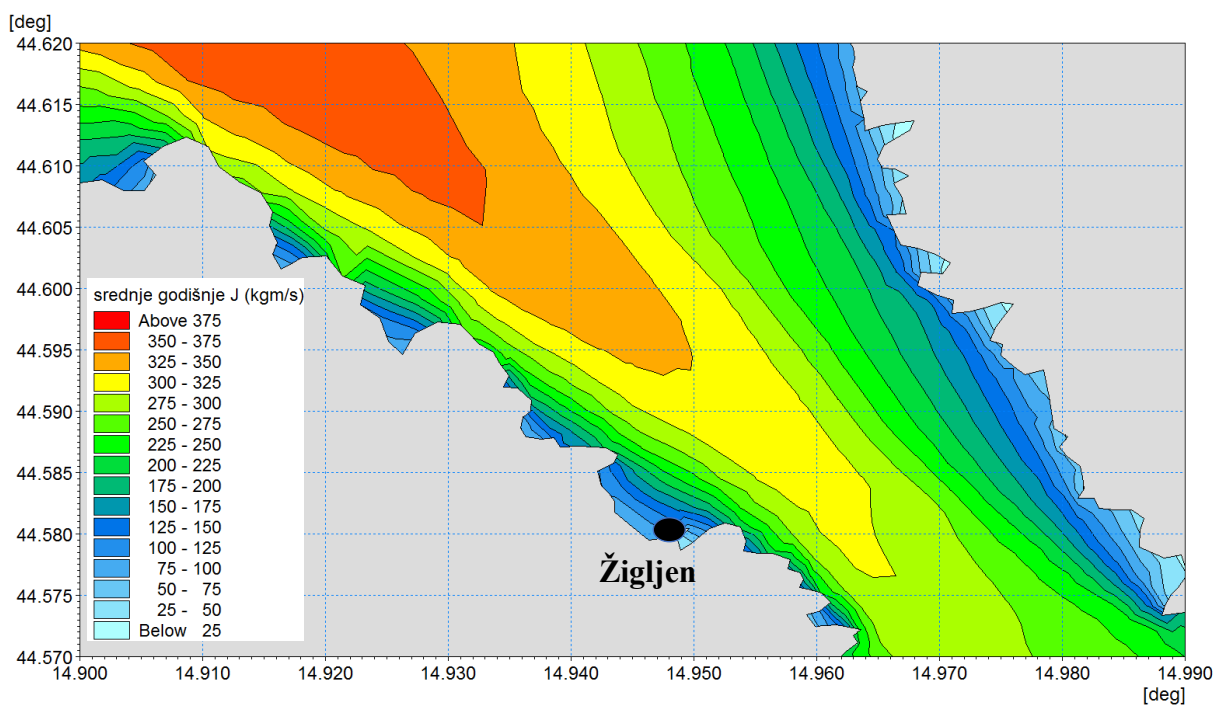
*Slika 5. 32: Polje fluksa valne snage J usrednjena za 1992. Godinu*



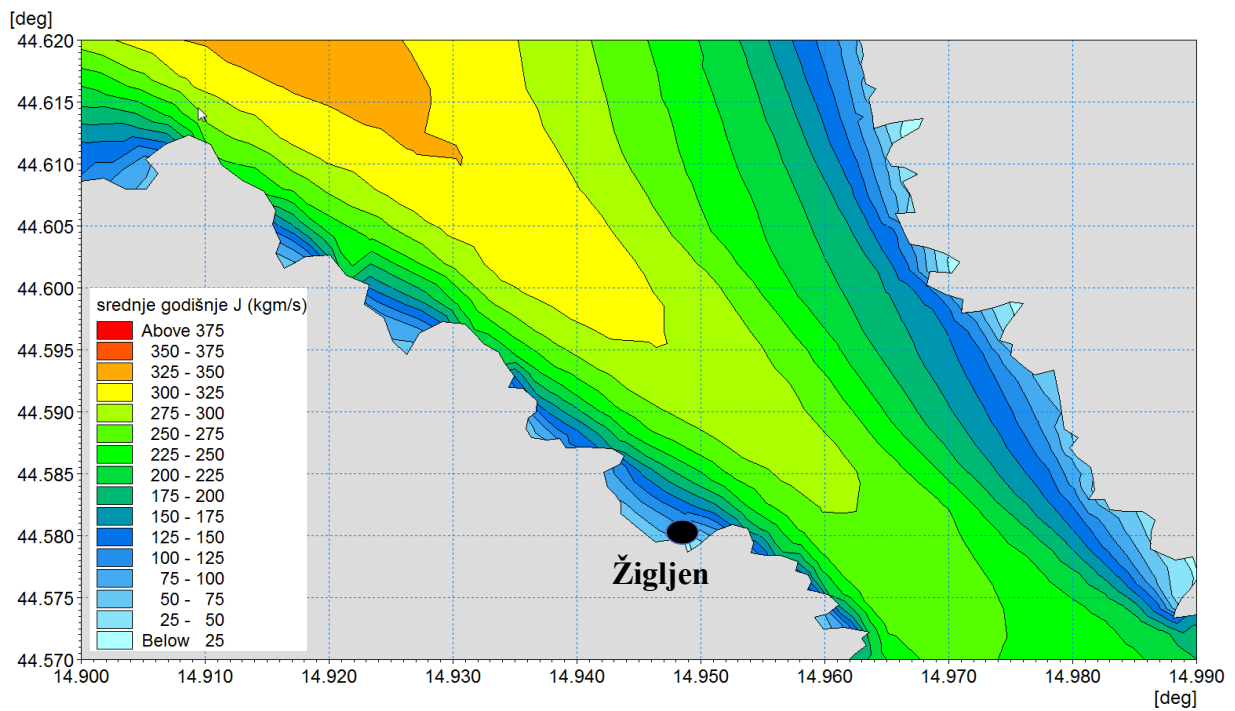
*Slika 5. 33: Polje fluksa valne snage J usrednjena za 1993. godinu*



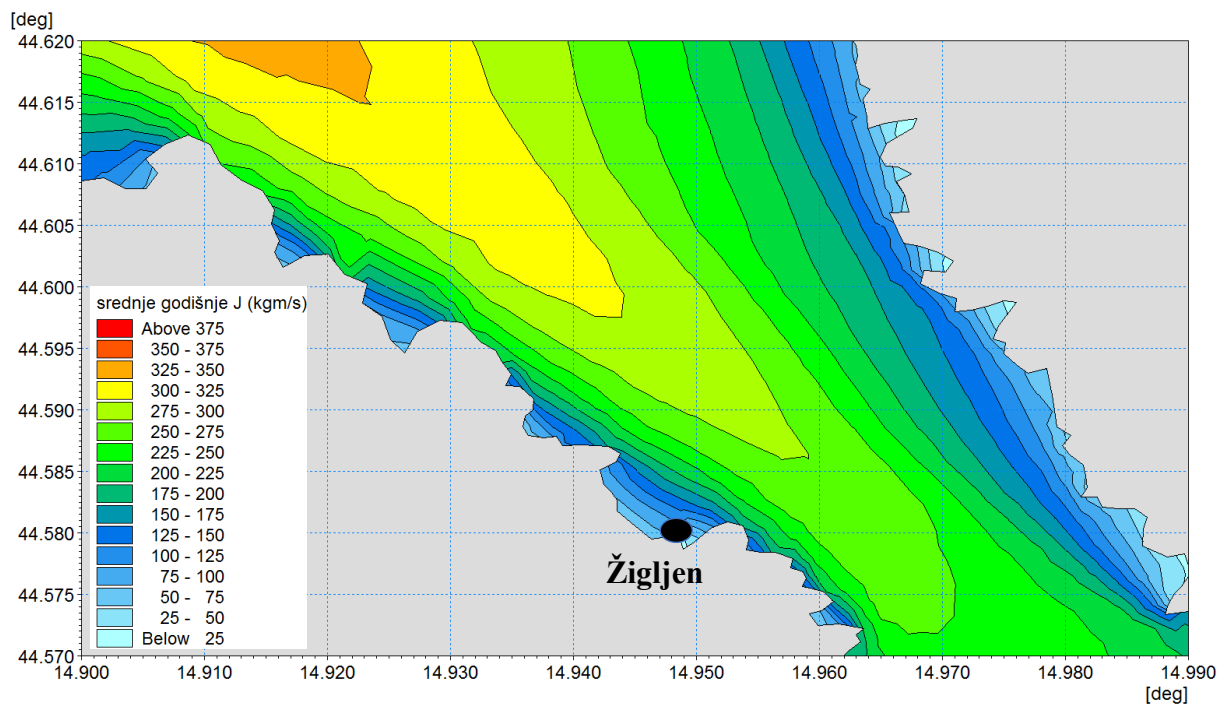
*Slika 5. 34: Polje fluksa valne snage J usrednjena za 1994. Godinu*



*Slika 5. 35: Polje fluksa valne snage J usrednjena za 1995. Godinu*

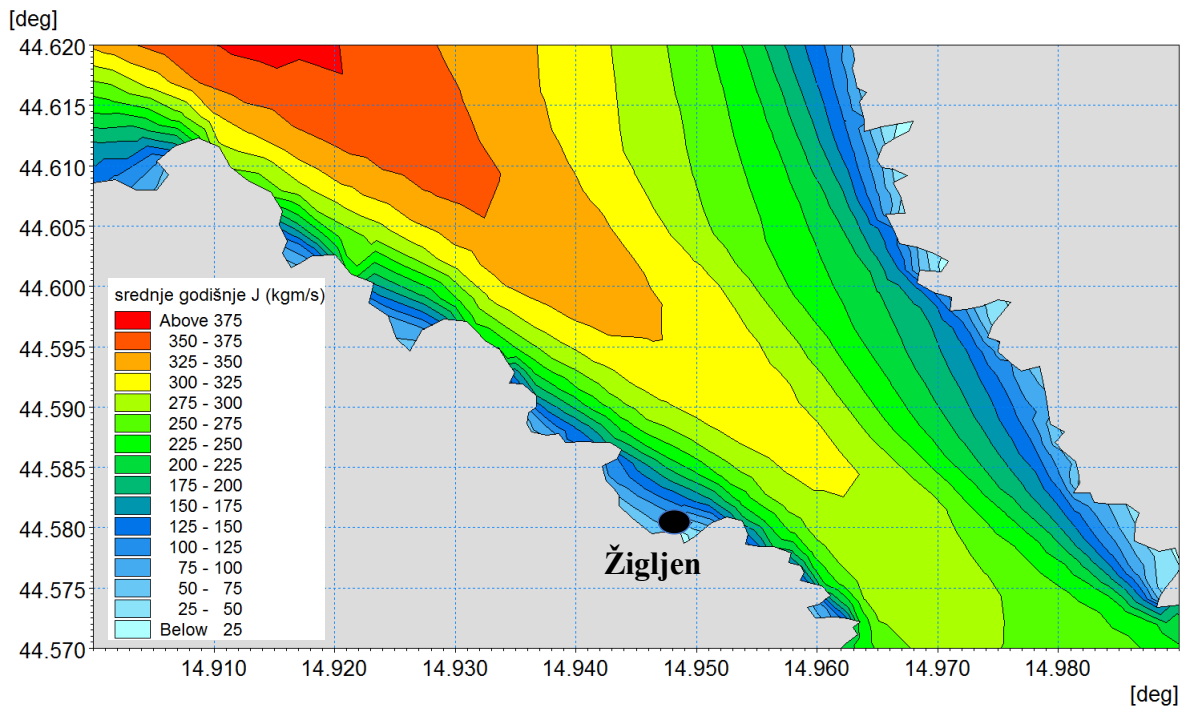


*Slika 5. 36: Polje fluksa valne snage J usrednjena za 1997. godinu*

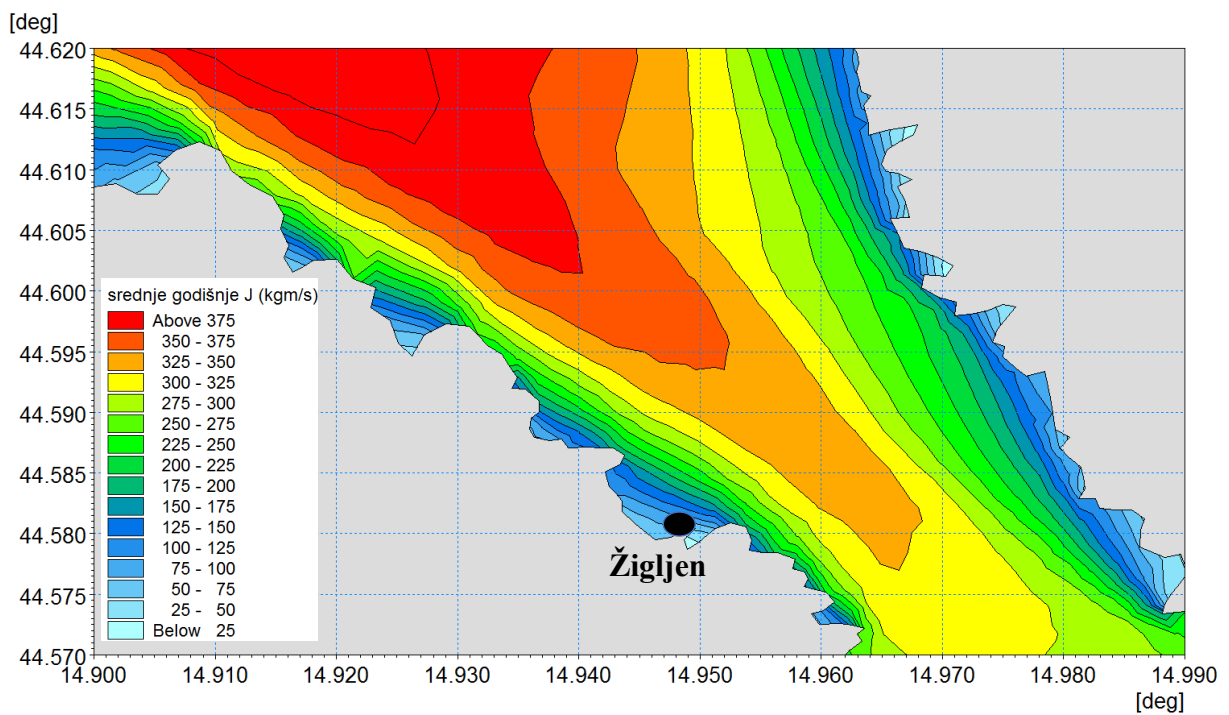


*Slika 5. 37: Polje fluksa valne snage J usrednjena za 1998. godinu*

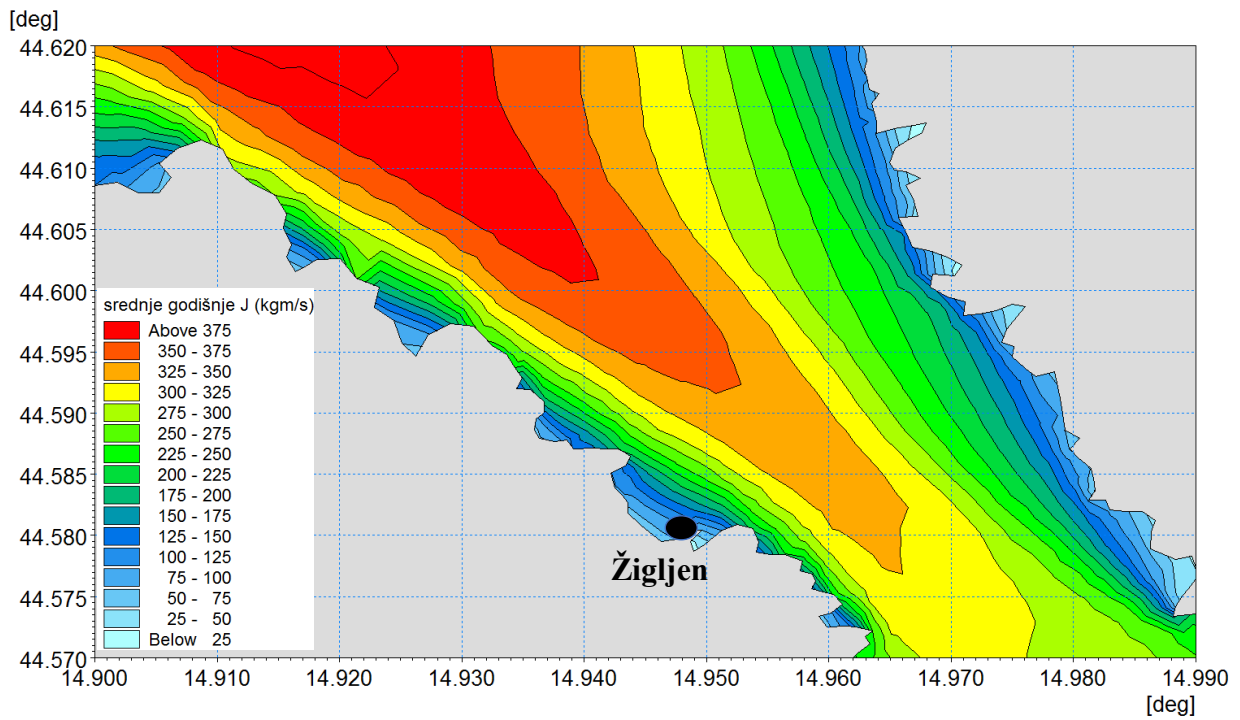




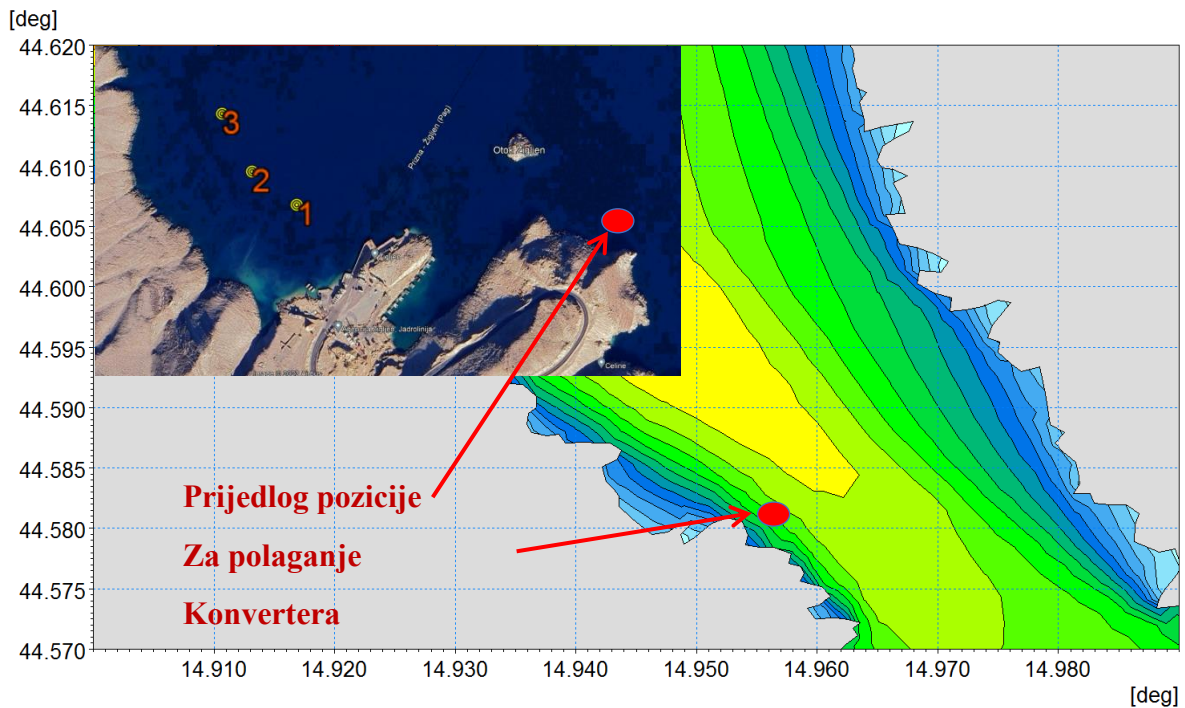
*Slika 5. 38: Polje fluksa valne snage J usrednjena za 1999. Godinu*



*Slika 5. 39: Polje fluksa valne snage J usrednjena za 2000. Godinu*

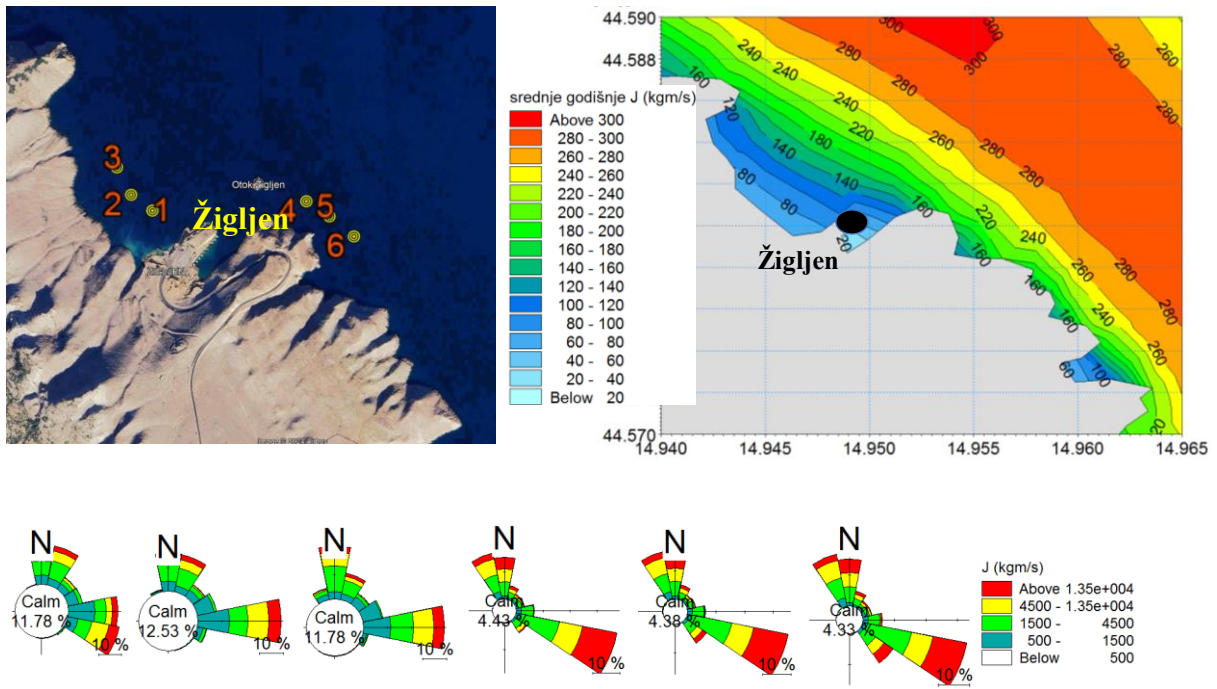


Slika 5. 40: Polje fluksa valne snage J usrednjena za 2001. Godinu



Slika 5. 41: Prijedlog lokacije za postavljanje konvertera valne energije u električnu energiju





*Slika 5. 42: Potencijalne mikrolokacije za postavljenje GVK u okolini luke Žigljen (prva - točke 1-3, druga 4-6) sa pripadnim ružama valne snage za simulacijsko razdoblje 1992-2002*

## 6. ZAKLJUČAK

Proračun potencijalne koncesijske “mikro” lokacije provodio se između dva izbora (1-3 i 4-6) na udaljenosti cca 120 m od obale. Kao podloge vjetra korišten je numerički atmosferski model Aladin-Hr s prostornom rezolucijom 2 km i vremenskom rezolucijom rezultata od 3 sata. Efektivna duljina privjetrišta podijeljena je na tri sektora: smjer NW, smjer NNE i smjer E koja iznose 12.7, 5.4 i 5.6 km. Za proračun valnog generiranja i valnih deformacija korišten je numerički model Mike 21/SW. Nakon dobivenih rezultata simulacijskog razdoblja 1. 1. 1992. – 1. 1. 2002. za postavljanja grupe valnih konvertera (GVK), prikazane su ruže značajnih valnih visina  $H_s$ , ruže spektralnih perioda  $T_p$ , te ruže fluksa valne snage  $J$ . Kao spektralna diskretizacija korištena je logaritamska skala od minimalne frekvencije 0,08 Hz do maksimalne 0.95 Hz u 28 koraka, dok za spektralnu formulaciju korištena je puna.

Rezultati modela ne razlikuju se previše po godinama te jasno prikazuju da se na lokaciji (4-6) može dobiti skoro dupla valna snaga nego na lokaciji (1-3). Za nastavak istraživanja bitno je napomenuti da se na dijelu akvatorija oko luke Žigljen mora proračunati detaljniji model koji bi s boljom rezolucijom dao točnije i preciznije podatke polja valova, te bi se također sama “mikro” lokacija preciznije odredila za postavljanje grupe valnih konvertera.

## POPIS LITERATURE

- [1] Guterres, A.: Carbon Neutrality by 2050: the World's most urgent mission. (United Nations Secretary General, 2020.) <https://www.un.org/sg/en/content/sg/articles/2020-12-11/carbon-neutrality-2050-theworld%E2%80%99s-most-urgent-mission> (2020). Accessed 10 Feb 2021
- [2] IEA: World Energy Outlook 2019. International Energy Agency, Paris (2019)
- [3] IRENA: Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050 (2020)
- [4] Reguero, B.G., Losada, I.J., Méndez, F.J.: A global wave power resource and its seasonal, interannual and long-term variability. *Appl. Energy* 148, 366–380 (2015)
- [5] Mork, G., Barstow, S., Kabuth, A. & Pontes, T.: Assessing the global wave energy potential. In: International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, pp. 447–454. Shanghai, China (2010)
- [6] Gunn, K., Stock Williams, C.: Quantifying the global wave power resource. *Renew. Energy* 44, 296–304 (2012)
- [7] OES: An International Vision for Ocean Energy (2017)
- [8] IRENA: Innovation Outlook: Ocean Energy Technologies (2020)
- [9] IEA: Electricity Information Overview 2020 Edition. International Energy Agency. <https://webstore.iea.org/electricity-information-overview-2020-edition> (2020). Accessed 10 Feb 2021
- [10] McCormick, M.E.: *Ocean Wave Energy Conversion*. Wiley, New York (1981)
- [11] López, I., Andreu, J., Ceballos, S., De Alegría, I.M., Kortabarria, I.: Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 27, 413–434 (2013)
- [12] Langhamer, O., Haikonen, K., Sundberg, J.: Wave power–Sustainable energy or environmentally costly? A review with special emphasis on linear wave energy converters. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14(4), 1329–1335 (2010)
- [13] Copping, A.E., Hemery, L.G., Overhus, D.M., Garavelli, L., Freeman, M.C., Whiting, J.M., et al.: Potential environmental effects of marine renewable energy development–the state of the science. *J. Mar. Sci. Eng.* 8(11), 879 (2020)
- [14] Fusco, F., Nolan, G., Ringwood, J.V.: Variability reduction through optimal combination of wind/wave resources–An Irish case study. *Energy* 35(1), 314–325 (2010)
- [15] Pérez Collazo, C., Greaves, D., Iglesias, G.: A review of combined wave and offshore wind energy. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 42, 141–153 (2015)
- [16] Widén, J., Carpman, N., Castellucci, V., Lingfors, D., Olauson, J., Remouit, F., et al.: Variability assessment and forecasting of renewables: a review for solar, wind, wave and tidal resources. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 44, 356–375 (2015)
- [17] Gallagher, S., Tiron, R., Whelan, E., Gleeson, E., Dias, F., McGrath, R.: The nearshore wind and wave energy potential of Ireland: a high resolution assessment of availability and accessibility. *Renew. Energy* 88, 494–516 (2016)

- [18] Kalogeri, C., Galanis, G., Spyrou, C., Diamantis, D., Baladima, F., Koukoula, M., et al.: Assessing the European offshore wind and wave energy resource for combined exploitation. *Renew. Energy* 101, 244–264 (2017)
- [19] Weiss, C., Guanche, R., Ondiviela, B., Castellanos, O.F., Juanes, J.: Marine renewable energy potential: a global perspective for offshore wind and wave exploitation. *Energy Convers. Manage.* 177, 43–54 (2018)
- [20] Fernandez Chozas, J., Soerensen, H.C., Kofoed, J.: Predictability and variability of wave and wind: wave and wind forecasting and diversified energy systems in the Danish North Sea. Technical Report (2013)
- [21] Sasaki, W.: Predictability of global offshore wind and wave power. *Int. J. Mar. Energy* 17, 98–109 (2017)
- [22] IRENA: Fostering a blue economy: offshore renewable energy. International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/publications/2020/Dec/Fostering-a-blue-economy-Offshore-renewable-energy> (2020). Accessed 10 Feb 2021.
- [23] Koca, K., Kortenhaus, A., Oumeraci, H., Zanuttigh, B., Angelelli, E. & Cantu, M. et al.: Recent advances in the development of wave energy converters. In: *European Wave and Tidal Energy Conference*, pp. 1–10. Aalborg, Denmark (2013)
- [24] Stansby, P., Moreno, E.C., Stallard, T.: Large capacity multi-float configurations for the wave energy converter M4 using a time-domain linear diffraction model. *Appl. Ocean Res.* 68, 53–64 (2017)
- [25] Moreno, E.C., Stansby, P.: The 6-float wave energy converter m4: ocean basin tests giving capture width, response and energy yield for several sites. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 104, 307–318 (2019)
- [26] Cordonnier, J., Gorintin, F., De Cagny, A., Clément, A.H., Babarit, A.: SEAREV: case study of the development of a wave energy converter. *Renew. Energy* 80, 40–52 (2015)
- [27] Giorgi, G., Penalba, M. & Ringwood, J.V.: Nonlinear hydrodynamic models for heaving buoy wave energy converters. In: *Asian Wave and Tidal Energy Conference*, pp. 1–10. Marina Bay Sands, Singapore (2016)
- [28] Davidson, J., Windt, C., Giorgi, G., Genest, R. & Ringwood, J.V.: Evaluation of energy maximising control systems for wave energy converters using OpenFOAM. In: Nóbrega, J., Jasak, H. (eds.) *OpenFOAM Workshop*, pp. 157–171. Springer, Cham (2019)
- [29] Smith, H.C., Haverson, D., Smith, G.H.: A wave energy resource assessment case study: review, analysis and lessons learnt. *Renew. Energy* 60, 510–521 (2013)
- [30] Lavidas, G., Venugopal, V.: Application of numerical wave models at European coastlines: a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 92, 489–500 (2018)
- [31] Guillou, N., Lavidas, G., Chapalain, G.: Wave energy resource assessment for exploitation-a review. *J. Mar. Sci. Eng.* 8(9), 705 (2020)
- [32] Thorpe, T.: A brief review of wave energy. A report produced for UK Department of Trade and Industry (1999)
- [33] Falnes, J.: A review of wave-energy extraction. *Mar. Struct.* 20(4), 185–201 (2007)
- [34] Drew, B., Plummer, A., Sahinkaya, M.: A review of wave energy converter technology. *P. I. Mech. Eng. A-J. Pow.* 223(8), 887–902 (2009)

- [35] Falcão, A.: Wave energy utilization: a review of the technologies. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14(3), 899–918 (2010)
- [36] Falcão, A., Henriques, J.: Oscillating-water-column wave energy converters and air turbines: a review. *Renew. Energy* 85, 1391–1424 (2016)
- [37] Portillo, J., Reis, P., Henriques, J., Gato, L., Falcão, A.: Backward bent-duct buoy or frontward bent-duct buoy? Review, assessment and optimisation. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 112, 353–368 (2019)
- [38] Sheng, W.: Wave energy conversion and hydrodynamics modelling technologies: a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 109, 482–498 (2019)
- [39] Babarit, A., Hals, J., Muliawan, M.J., Kurniawan, A., Moan, T., Krokstad, J.: Numerical benchmarking study of a selection of wave energy converters. *Renew. Energy* 41, 44–63 (2012)
- [40] Folley, M., Babarit, A., Child, B., Forehand, D., Boyle, L. & Silverthorne, K. et al.: A review of numerical modelling of wave energy converter arrays. In: *International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, pp. 535–545. ASME, Rio de Janeiro, Brazil (2012)
- [41] Li, Y., Yu, Y.H.: A synthesis of numerical methods for modeling wave energy converter-point absorbers. *Renew. Sust. Energy Rev.* 16(6), 4352–4364 (2012)
- [42] Penalba Retes, M., Giorgi, G. & Ringwood, J.V.: A review of non-linear approaches for wave energy converter modelling. In: *European Wave and Tidal Energy Conference*, pp. 1–10. Nantes, France (2015)
- [43] Penalba, M., Ringwood, J.V.: A review of wave-to-wire models for wave energy converters. *Energies* 9(7), 506 (2016)
- [44] Folley, M.: *Numerical Modelling of Wave Energy Converters: State-of-the-Art Techniques for Single Devices and Arrays*. Academic Press, Cambridge, MA (2016)
- [45] Penalba, M., Giorgi, G., Ringwood, J.V.: Mathematical modelling of wave energy converters: A review of nonlinear approaches. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 78, 1188–1207 (2017)
- [46] Windt, C., Davidson, J., Ringwood, J.V.: High-fidelity numerical modelling of ocean wave energy systems: a review of computational fluid dynamics based numerical wave tanks. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 93, 610–630 (2018)
- [47] Papillon, L., Costello, R., Ringwood, J.V.: Boundary element and integral methods in potential flow theory: a review with a focus on wave energy applications. *J. Ocean Eng. Mar. Energy* 6, 303–337 (2020)
- [48] Bard, J., Kracht, P.: *Linear generator systems for wave energy converters*. Dissertation, Louisiana State University (2013)
- [49] Lin, Y., Bao, J., Liu, H., Li, W., Tu, L., Zhang, D.: Review of hydraulic transmission technologies for wave power generation. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 50, 194–203 (2015)
- [50] Ahamed, R., McKee, K., Howard, I.: Advancements of wave energy converters based on power take off (PTO) systems: a review. *Ocean Eng.* 204, 107248 (2020)
- [51] Ringwood, J.V., Bacelli, G., Fusco, F.: Energy-maximizing control of wave-energy converters: the development of control system technology to optimize their operation. *IEEE Control Syst. Mag.* 34(5), 30–55 (2014)

- [52] Bacelli, G., Ringwood, J.V.: Numerical optimal control of wave energy converters. *IEEE Trans. Sustain. Energy* 6(2), 294–302 (2014)
- [53] Faedo, N., Olaya, S., Ringwood, J.V.: Optimal control, MPC and MPC-like algorithms for wave energy systems: an overview. *IFAC J. Syst. Control* 1, 37–56 (2017)
- [54] Wang, L., Isberg, J., Tedeschi, E.: Review of control strategies for wave energy conversion systems and their validation: the wave-to-wire approach. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 81, 366–379 (2018)
- [55] Ringwood, J.V.: Wave energy control: status and perspectives 2020. *IFAC PapersOnLine* 53, 1–12 (2020)
- [56] Madhi, F., Yeung, R.W.: On survivability of asymmetric wave-energy converters in extreme waves. *Renew. Energy* 119, 891–909 (2018)
- [57] Babarit, A.: A database of capture width ratio of wave energy converters. *Renew. Energy* 80, 610–628 (2015)
- [58] Astariz, S., Iglesias, G.: The economics of wave energy: a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 45, 397–408 (2015)
- [59] OES: International Levelised Cost of Energy for Ocean Energy Technologies (2015)
- [60] Davidson, J., Ringwood, J.V.: Mathematical modelling of mooring systems for wave energy converters—a review. *Energies* 10(5), 666 (2017)
- [61] Garcia Teruel, A., Forehand, D.: A review of geometry optimisation of wave energy converters. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 139, 110593 (2021)
- [62] Guo, B., Ringwood, J.: Geometric optimisation of wave energy conversion devices: a survey. *Appl. Energy* 297, 117100 (2021)
- [63] Teillant, B., Costello, R., Weber, J., Ringwood, J.: Productivity and economic assessment of wave energy projects through operational simulations. *Renew. Energy* 48, 220–230 (2012)
- [64] Babarit, A., Bull, D., Dykes, K., Malins, R., Nielsen, K., Costello, R., et al.: Stakeholder requirements for commercially successful wave energy converter farms. *Renew. Energy* 113, 742–755 (2017)
- [65] Weber, J.W., Laird, D., Costello, R., Roberts, J., Bull, D. & Babarit, A. et al.: Cost, time, and risk assessment of different wave energy converter technology development trajectories. In: *European Wave and Tidal Energy Conference*, pp. 1–8. Cork, Ireland (2017)
- [66] OES: An International Evaluation and Guidance Framework for Ocean Energy Technology (2021)
- [67] Pecher, A., Peter Kofod, J.: *Handbook of Ocean Wave Energy*. Springer Nature, Basingstoke (2017)
- [68] Falnes, J.: *Ocean Waves and Oscillating Systems: Linear Interactions Including Wave-Energy Extraction*. Cambridge University Press, Cambridge (2002)
- [69] Stansberg, C., Contento, G., Hong, S., Irani, M., Ishida, S. & Mercier, R. et al.: The specialist committee on waves final report and recommendations to the 23rd ITTC. In: *International Towing Tank Conference*, pp. 505–551. Venice, Italy (2002)
- [70] Pierson, W.J., Moskowitz, L.: A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of SA Kitaigorodskii. *J. Geophys. Res.* 69(24), 5181–5190 (1964)

- [71] Hasselmann, K., Barnett, T., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D., Enke, K., et al.: Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Ergänzungsheft zur Deut. Hydrogr. Z. Reihe A* 8(12), 1–95 (1973)
- [72] Monárdez, P., Acuna, H., Scott, D.: Evaluation of the potential of wave energy in Chile. *Proc. Int. Conf. Offshore Mech. Arct. Eng.* 48234, 801–809, (2008)
- [73] Atan, R., Goggins, J., Nash, S.: A detailed assessment of the wave energy resource at the Atlantic Marine Energy Test Site. *Energies* 9(11), 1–29 (2016)
- [74] Rusu, L., Onea, F.: The performance of some state-of-the-art wave energy converters in locations with the worldwide highest wave power. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 75, 1348–1362 (2017)
- [75] Bozzi, S., Besio, G., Passoni, G.: Wave power technologies for the Mediterranean offshore: scaling and performance analysis. *Coast Eng.* 136, 130–146 (2018)
- [76] Courtier, P. C., Freydier, J.F., Geleyn, F., Rochas, M.: The ARPEGE project at METEO- FRANCE", *Proceedings from the ECMWF workshop on numerical methods in atmospheric models*, Vol. 2, Reading, England, str. 193-231, (1991.)
- [77] Cordoneanu, E., Geleyn, J.F.: Application to local circulation above the Carpathian-Black Sea area of a NWP-type meso-scale model", *Contributions to Atmospheric Physics*, Vol. 71, str. 191-212, (1998.)
- [78] Brzović, N.: Factors affecting the Adriatic cyclone and associated windstorms, *Contributions to Atmospheric Physics*, Vol. 72, str. 51-65, (1999.)
- [79] Brzović, N., Strelec-Mahović, N.: Cyclonic activity and severe jugo in the Adriatic, *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, Vol. 24, str. 653-657, (1999.)
- [80] Ivatek-Sahdan, S., Tudor, M.: Use of high-resolution dynamical adaptation in operational suite and research impact studies, *Meteorol. Z.*, Vol. 13, str. 99-108, (2004.)
- [81] Komen, G., J., Cavaleri, M., Donelan, K., Hasselman, S., Hasselman, K., Janssen, P., A., E., M.: *Modelling of dynamic of ocean surface waves*, Cambridge university press, Cambridge, 532 str, (1994.)
- [82] Herzbach, H., Janssen, P., A., E.: Improvement of the short-fetch behaviour in the Wave Ocean Model (WAM), *J. Atmos and Ocean Tech.*, 16, str. 884-892, (1999.)
- [83] Lončar, G., Ocvirk, E., Andročec, V.: Usporedba modeliranih i mjerenih površinskih vjetrovnih valova na području Jadrana, *Građevinar*, 62(3), str. 45-55, (2010.)

## POPIS SLIKA

<b>Slika 2. 1:</b> Globalna distribucija valnih resursa, podaci iz [6].....	8
<b>Slika 2. 2:</b> Prostorna varijabilnost duž čileanske obale, podaci iz [72].....	9
<b>Slika 2. 3:</b> Utjecaj varijacije razine snage vala i dubina vode na faktor kapaciteta WEC (Wave Energy Converter), podaci iz [72].....	9
<b>Slika 3. 1:</b> Primjer rezultatnih polja brzine iz atmosferskog modela Aladin-HR u terminu 16/7/2008 0:00 (lijevo - Vx komponenta brzine vjetra na 10m poviše površine mora; desno - Vy komponenta brzine vjetra na 10m poviše površine mora).....	11
<b>Slika 3. 2:</b> Točka ekstrakcije podataka o brzini i smjeru vjetra iz numeričkog atmosferskog modela Aladin-HR na Google podlozi za razdoblje 1.1.1992.-1.1.2002. ....	11
<b>Slika 3. 3:</b> Komparativne vremenske serije brzine vjetra prema rezultatima numeričkog atmosferskog modela Aladin-Hr za razdoblje 1.1.1998.-1.1.2002. za poziciju točke ekstrakcije.....	12
<b>Slika 3. 4:</b> Komparativne vremenske serije smjera vjetra prema rezultatima numeričkog atmosferskog modela Aladin-Hr za razdoblje 1.1.1998.-1.1.2002. za poziciju točke ekstrakcije.....	13
<b>Slika 3. 5:</b> Makrolokacija s naznačenim vjetrovnim sektorima za dubokovodnu točku ispred uvale Žigljen.....	14
<b>Slika 3. 6:</b> Centralne zrake kroz smjer NW (lijevo), NNE (desno) i E (dole) te zrake sa korakom rotacije $\pm 6^\circ$ od centralnih zraka.....	18
<b>Slika 3. 7:</b> Centralne zrake kroz smjer E te zrake sa korakom rotacije $\pm 6^\circ$ od centralnih zraka.....	18
<b>Slika 4. 1:</b> Prostorna domena numeričkog modela valnog generiranja i valnih deformacija sa diskretizacijom u vidu nestrukturirane mreže konačnih volumena (proračunska mreža) na batimetrijskoj podlozi.....	21
<b>Slika 5. 1:</b> Odabrane lokacije „1, 2, 3“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen, za koje se prikazuju rezultati numeričkog modela valnog generiranja i valnih deformacija (Hs, Tp i incidentni smjer valovanja) tijekom simulacijskog razdoblja 1.1.1992.-1.1.2002.....	22
<b>Slika 5. 2:</b> Ruže značajnih valnih visina Hs za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1992. ....	23
<b>Slika 5. 3:</b> Ruže značajnih valnih visina Hs za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1993. ....	23
<b>Slika 5. 4:</b> Ruže značajnih valnih visina Hs za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1994. ....	24
<b>Slika 5. 5:</b> Ruže značajnih valnih visina Hs za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1995. ....	24
<b>Slika 5. 6:</b> Ruže značajnih valnih visina Hs za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1997. ....	24
<b>Slika 5. 7:</b> Ruže značajnih valnih visina Hs za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1998. ....	25



<b>Slika 5. 8:</b> Ruže značajnih valnih visina $H_s$ za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1999. ....	25
<b>Slika 5. 9:</b> Ruže značajnih valnih visina $H_s$ za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 2000. ....	25
<b>Slika 5. 10:</b> Ruže značajnih valnih visina $H_s$ za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 2001. ....	26
<b>Slika 5. 11:</b> Ruže vršnih valnih perioda $T_p$ za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1992. ....	26
<b>Slika 5. 12:</b> Ruže vršnih valnih perioda $T_p$ za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1993. ....	26
<b>Slika 5. 13:</b> Ruže vršnih valnih perioda $T_p$ za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1994. ....	27
<b>Slika 5. 14:</b> Ruže vršnih valnih perioda $T_p$ za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1995. ....	27
<b>Slika 5. 15:</b> Ruže vršnih valnih perioda $T_p$ za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1997. ....	27
<b>Slika 5. 16:</b> Ruže vršnih valnih perioda $T_p$ za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1998. ....	28
<b>Slika 5. 17:</b> Ruže vršnih valnih perioda $T_p$ za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1999. ....	28
<b>Slika 5. 18:</b> Ruže vršnih valnih perioda $T_p$ za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 2000. ....	28
<b>Slika 5. 19:</b> Ruže vršnih valnih perioda $T_p$ za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 2001. ....	29
<b>Slika 5. 20:</b> Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1992. ....	29
<b>Slika 5. 21:</b> Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1993. ....	29
<b>Slika 5. 22:</b> Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1994. ....	30
<b>Slika 5. 23:</b> Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1995. ....	30
<b>Slika 5. 24:</b> Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1997. ....	30
<b>Slika 5. 25:</b> Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1998. ....	31
<b>Slika 5. 26:</b> Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 1999. ....	31
<b>Slika 5. 27:</b> Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 2000. ....	31
<b>Slika 5. 28:</b> Ruže fluksa valne snage ( $J = \rho g^2 H_s^2 T_p / (64\Pi)$ ) za odabrane lokacije „1 (gore lijevo), 2 (gore desno), 3 (dole)“ u blizini trajektnog pristaništa Žigljen za 2001. ....	32
<b>Slika 5. 29:</b> Satno usrednjena polja značajnih valnih visina $H_S$ na modeliranom području u nekoliko (31.1.1999. 15:00) .....	33

<b>Slika 5. 30:</b> Satno usrednjena polja značajnih valnih visina HS na modeliranom području u nekoliko (gore - 18.3.1999. 3:00, dole – 16.04.1999. 3:00).....	34
<b>Slika 5. 31:</b> Satno usrednjena polja fluksa valne snage J na modeliranom području u nekoliko termina tijekom 1999. (gore – 31.1.1999. 15:00 ; sredina - 18.3.1999. 3:00, dole – 16.04.1999. 3:00) .....	35
<b>Slika 5. 32:</b> Polje fluksa valne snage J usrednjena za 1992. Godinu.....	36
<b>Slika 5. 33:</b> Polje fluksa valne snage J usrednjena za 1993. godinu.....	36
<b>Slika 5. 34:</b> Polje fluksa valne snage J usrednjena za 1994. Godinu.....	37
<b>Slika 5. 35:</b> Polje fluksa valne snage J usrednjena za 1995. Godinu.....	37
<b>Slika 5. 36:</b> Polje fluksa valne snage J usrednjena za 1997. godinu.....	38
<b>Slika 5. 37:</b> Polje fluksa valne snage J usrednjena za 1998. godinu.....	38
<b>Slika 5. 38:</b> Polje fluksa valne snage J usrednjena za 1999. Godinu.....	39
<b>Slika 5. 39:</b> Polje fluksa valne snage J usrednjena za 2000. Godinu.....	39
<b>Slika 5. 40:</b> Polje fluksa valne snage J usrednjena za 2001. Godinu.....	40
<b>Slika 5. 41:</b> Prijedlog lokacije za postavljanje konvertora valne energije u električnu energiju .....	40
<b>Slika 5. 42:</b> Potencijalne mikorlokacije za postavljanje GVK u okolici luke Žigljen (prva - točke 1-3, druga 4-6) sa pripadnim ružama valne snage za simulacijsko razdoblje 1992-2002 .....	41

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 3. 1:</b> Vjerojatnost istovremenog pojavljivanja različitih smjerova vjetra (‰) po klasama brzine vjetra (za cijelu godinu na lokaciji Novalja u razdoblju 1995.-2002.).....	15
<b>Tablica 3. 2:</b> Vjerojatnost istovremenog pojavljivanja različitih smjerova vjetra (‰) po klasama brzine vjetra (za zimu na lokaciji Novalja u razdoblju 1995.-2002.).....	15
<b>Tablica 3. 3:</b> Vjerojatnost istovremenog pojavljivanja različitih smjerova vjetra (‰) po klasama brzine vjetra (za proljeće na lokaciji Novalja u razdoblju 1995.-2002.).....	16
<b>Tablica 3. 4:</b> Vjerojatnost istovremenog pojavljivanja različitih smjerova vjetra (‰) po klasama brzine vjetra (za ljeto na lokaciji Novalja u razdoblju 1995.-2002.).....	16
<b>Tablica 3. 5:</b> Proračunske vrijednosti u postupku za određivanje efektivne duljine privjetrišta za svaki pojedini smjer .....	19
<b>Tablica 3. 6:</b> Usvojene vrijednosti efektivnih duljina privjetrišta za sektore I , II i III.....	19