

Analiza vremenskih razlika u ekstremnim visinama značajnih valova za razumijevanje uskalđenosti između modeliranih i mjernih podataka

Batelić, Anton

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:237:998331>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-23**

Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Anton Batelić

**ANALIZA VREMENSKIH RAZLIKA U
EKSTREMNIM VISINAMA ZNAČAJNIH VALOVA
ZA RAZUMIJEVANJE USKLAĐENOSTI IZMEĐU
MODELIRANIH I MJERENIH PODATAKA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

ANTON BATELIĆ

**ANALIZA VREMENSKIH RAZLIKA U
EKSTREMNIM VISINAMA ZNAČAJNIH VALOVA
ZA RAZUMIJEVANJE USKLAĐENOSTI IZMEĐU
MODELIRANIH I MJERENIH PODATAKA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: doc. dr. sc. Damjan Bujak, mag. ing. aedif.

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ANTON BATELIĆ

**Analysis of Temporal Differences in Extreme
Significant Wave Heights for Understanding
the Alignment Between Modeled and
Measured Data**

MASTER THESIS

Supervisor: doc. dr. sc. Damjan Bujak, mag. ing. aedif.

Zagreb, 2024.

ZAHVALE

Želim se zahvaliti svojim roditeljima i sestri na bezuvjetnoj podršci i razumijevanju u svim lijepim i manje lijepim trenucima koje akademski život nosi. Bez njihovih savjeta i razgovora, vjerojatnost da dođem do trenutka pisanja ovog rada bila bi značajno manja.

SAŽETAK

S obzirom na sve veći utjecaj klimatskih promjena i opću vremensku nestabilnost, sve je češća rasprava o procjeni rizika i opasnosti njihovih posljedica. Jedna od takvih posljedica su obalne poplave, s kojima se na Jadranu često susrećemo. Kako će u budućnosti mnogi procesi, uključujući mjere zaštite, postati sve više modelirani, time će se znatno olakšati i ubrzati postupci. Već postoje modeli koji procjenjuju značajne valne visine u svakoj točki Jadrana za različite kategorije, a za njihovo unapređivanje potrebno ih je uspoređivati sa stvarnim mjerenjima. U ovom radu usporedit će se vremenska nepodudaranja mjerenja značajnih valnih visina dvaju modela COEXMED i MEDSEA na tri lokacije u Jadranu (platforma Ivana, Rijeka i Split) na tjednoj i mjesečnoj bazi te za vrijeme olujnih događaja. Koriste se različite vrste dijagrama od dijagrama vremenske serije mjerenih i simuliranih ekstrema, histograma vremenske nepodudarnosti, dijagrami usporedbe mjerene i simulirane valne visine te boxplot dijagrami s kategorijama nepodudaranja ekstrema. Kada se sumarno svi rezultati usporedbe, model COEXMED je pokazao bolje poklapanje kada su u pitanju mjesečni ekstremi, no MEDSEA je uglavnom točniji u slučaju maksimuma olujnih događaja. Iz perspektive lokacije, vremenska nepodudaranja su općenito manja za Rijeku, u odnosu na Split i Istru, posebno u slučaju mjesečnih ekstrema.

Ključne riječi: Klimatske promjene, obalne poplave, COEXMED, MEDSEA, vremensko nepodudaranje

SUMMARY

Considering the growing impact of climate change and increasing weather instability, discussions about assessing the risks and potential consequences have become more frequent. Coastal flooding, a phenomenon commonly experienced along the Adriatic coast, is one such consequence. As more processes, including protective measures, are expected to become model-based in the future, this will significantly streamline and accelerate certain procedures. Currently, there are models that assess significant wave heights at various points along the Adriatic for different categories. To enhance the accuracy and reliability of these models, it is necessary to validate them against real-life measurements. This thesis examines the time discrepancies in significant wave height measurements between two models, COEXMED and MEDSEA, across three locations in the Adriatic (Ivana platform, Rijeka, and Split) on weekly and monthly scales, as well as during storm events. A variety of diagrams are used in this analysis, including time series of measured and simulated extremes, time discrepancy histograms, comparison diagrams of measured and simulated wave heights, and boxplot diagrams indicating categories of discrepancies in extremes. The comparative analysis reveals that the COEXMED model aligns more closely with monthly extreme events, while the MEDSEA model generally demonstrates greater accuracy during maximum storm events. Geographically, Rijeka experiences fewer weather discrepancies compared to Split and Istria, especially in the context of monthly extremes.

Key words: Climate change, coastal flooding, COEXMED, MEDSEA, time disparity

SADRŽAJ

ZAHVALE (NEOBAVEZNO)	i
SAŽETAK	ii
SUMMARY	iii
SADRŽAJ	iv
1 UVOD	6
1.1 Obalne poplave	6
1.2 Potreba za vremenski preciznim informacijama o valovima u svrhu određivanja istovremenosti	8
2 METODOLOGIJA	11
2.1 Mjereni podaci	12
2.2 Baza modeliranih valnih parametara - MEDSEA.....	13
2.3 Baza modeliranih valnih parametara - COEXMED	14
2.4 Analiza vremenskih razlika u ekstremnim visinama značajnih valova	16
2.4.1 Tjedni maksimumi.....	16
2.4.2 Mjesečni maksimum	16
2.4.3 Olujni događaj.....	16
3 REZULTATI	17
3.1 Platforma Ivana (Istra)	17
3.1.1 Tjedni maksimumi.....	17
3.1.1.1 Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka	17
3.1.1.2 Usporedba između COEXMED i mjernih podataka.....	22
3.1.2 Mjesečni maksimum	26
3.1.2.1 Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka	26
3.1.2.2 Usporedba između COEXMED i mjernih podataka.....	31
3.1.3 Olujni događaj.....	36
3.1.3.1 Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka	36
3.1.3.2 Usporedba između COEXMED i mjernih podataka.....	38
3.2 Rijeka.....	41
3.2.1 Tjedni maksimumi.....	41
3.2.1.1 Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka	41
3.2.1.2 Usporedba između COEXMED i mjernih podataka.....	45
3.2.2 Mjesečni maksimum	48
3.2.2.1 Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka	48
3.2.2.2 Usporedba između COEXMED i mjernih podataka.....	53
3.2.3 Olujni događaj.....	56
3.2.3.1 Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka	56
3.2.3.2 Usporedba između COEXMED i mjernih podataka.....	59

3.3	Split	62
3.3.1	Tjedni maksimumi.....	62
3.3.1.1	Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka	62
3.3.1.2	Usporedba između COEXMED i mjernih podataka.....	67
3.3.2	Mjesečni maksimum	71
3.3.2.1	Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka	71
3.3.2.2	Usporedba između COEXMED i mjernih podataka.....	76
3.3.3	Olujni događaj.....	80
3.3.3.1	Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka	80
3.3.3.2	Usporedba između COEXMED i mjernih podataka.....	82
4	DISKUSIJA	85
5	ZAKLJUČAK	87
	POPIS LITERATURE	88
	POPIS SLIKA	92
	POPIS TABLICA.....	96

1 UVOD

1.1 Obalne poplave

Sve ozbiljniji problem u mnogim djelovima svijeta, uključujući i obale Jadranskog mora, su obalne poplave. One proizlaze iz kombinacije različitih atmosferskih i oceanskih uzroka kao što su plime, riječni tokovi, oborine, valovi, olujni valovi i promjena razine mora. Istovremena pojava dva ili više takvih mehanizama prouzrokuje značajno povećanje jačine poplave.

Ključni pokretači obalnih poplava prema [1] i [2] su promjene srednje razine mora, plima, olujni valovi i riječna erozija. Kombinacija padalina i valova može dodatno pogoršati situaciju, dovodeći do ozbiljnijih poplava na obalnim područjima. [3] i [4]

Ekstremno visoke razine mora koje uzrokuju poplave na sjevernim i istočnim obalama Jadrana analizirane su unutar "Studije upravljanja rizicima od poplava mora – UPRIMO". Poplave u Veneciji koje se zovu "Acqua Alta" [5], [6] i [7] su najpoznatiji primjer. Vlasti, potaknute razornim posljedicama poplava i nerijetko smrtnim slučajevima, izgradile su sustav brana za zaštitu od poplava, poznat kao "Mose" koji je prvi put uspješno aktiviran 2020. godine. [8]

Poplave također predstavljaju značajan problem na istočnoj hrvatskoj obali Jadranskog mora. Olujni uspori i meteorološki tsunamiji često su uzroci tih poplava [9], [10], [11] i [12]. Meteorološki tsunamiji nastaju kao posljedica mezosklanih poremećaja atmosferskog tlaka, a olujni uspori zbog prolaska dubokih ciklona nad Jadranom.

Jedan od problema obalnih poplava su ekološke posljedice koje su značajne. Kao gubitak staništa za razne organizme, dovođenje do erozije obale i promjene u ekosustavima. Smanjivanje biodiverziteta i produktivnosti ekosustava kao posljedica prodiranja slane vode u obalna područja i oštećenja poljoprivrednog zemljišta i slatkovodnih resursa [7]. Još su prisutne i socioekonomske posljedice, kao gubitak imovine, infrastrukture i ljudskih života i uzrokuju značajne financijske troškove za obnovu i sanaciju šteta. U područjima gdje je turizam glavni izvor prihoda, kao npr. Venecija, visoka voda često uzrokuje prekide u turističkoj sezoni [8]. Takve situacije se nerijetko događaju i na hrvatskoj obali Jadrana [14]. Uz sve navedene posljedice možda i najvažnije su zdravstvene. Pogođeno stanovništvo često pati od mentalnih problema i stresa kao i problemi zbog kontaminacije pitke vode i širenja raznih bolesti. Nagli porast razine mora kao posljedica meteorološkog tsunamija, iako kratkog trajanja može uzrokovati ozbiljne ozljede i smrtne slučajeve [9].

Nasipi, brane i sustavi za odvodnju sastavni su dio infrastrukture za zaštitu od obalnih poplava. Primjer uspješnog infrastrukturnog projekta za zaštitu grada od obalnih poplava je u Projekt "Mose" u Veneciji [8]. Slične mjere se predlažu i za hrvatsku obalu Jadrana, gdje bi sustavi za odvodnju i zaštitni nasipi mogli smanjiti rizik od poplava [11], [12] i [13]. Ključni su prilagodba i upravljanje rizicima za dugoročnu otpornost obalnih zajednica. Sastavni dio toga

su planiranje urbanih područja na način koji smanjuje rizik od poplava, razvoj sustava ranog upozoravanja i edukaciju stanovništva [14]. Takvi sustavi ranog upozoravanja u Hrvatskoj mogu pomoći u smanjenju rizika i šteta, dok u Veneciji omogućuje pravovremenu reakciju na nadolazeće poplave [7]. Oni apsorbiraju energiju valova i smanjuju utjecaj poplava. Očuvanje obalnih ekosustava može pozitivno utjecati na očuvanje biodiverziteta i smanjenje rizika od poplava u Hrvatskoj [9].

Rješavanje složenog problema obalnih poplava zahtijeva integrirani pristup. Obalne poplave su destruktivne i česte, a njihovi pokretači su oceanski i atmosferski. Raznolike su posljedice tih poplava, uključuju ekološke, zdravstvene i socioekonomske aspekte. Za zaštitu obalnih područja protiv obalnih poplava treba primijeniti kombinaciju ekoloških, prilagodbenih i infrastrukturnih mjera. Moguće je smanjiti štete i rizike kroz pravovremenu izgradnju zaštitnih sustava, očuvanje prirodnih barijera i planiranje, kao što vidimo na primjeru iz Venecije.

1.2 Potreba za vremenski preciznim informacijama o valovima u svrhu određivanja istovremenosti

Ključno kod razumijevanja, predviđanja i upravljanja obalnim poplavama su precizne informacije o valovima. Kako globalne klimatske promjene povećavaju učestalost i intenzitet ekstremnih vremenskih događaja, potreba za vremenski preciznim informacijama o valovima postaje sve važnija. Ovi događaji obično su povezani s istovremenom pojavom visokih razina mora. Stoga je neophodno uzeti u obzir oba parametra pri projektiranju i procjeni obalnih građevina kako bi se osigurala njihova stabilnost i dugovječnost. Relativna važnost velikih valova i visokih razina mora varira ovisno o specifičnom obalnom odgovoru koji se razmatra.

Količina dostupnih podataka o razinama morske vode omogućava relativno pouzdano izračunavanje ekstremnih razina mora, dok je predviđanje ekstremnih uvjeta valova zbog njihove isprekidane prirode i varijabilnosti uvjeta nešto teže i nesigurnije. Povezanost između velikih valova i visokih vodostaja proizlazi iz dva glavna razloga. Prvi razlog odnosi se na meteorološke uvjete, gdje određeni vremenski uvjeti imaju tendenciju proizvesti i velike valove i visoke olujne uspore. Ova korelacija je značajnija u područjima s nižim utjecajem plime i oseke. Drugi razlog je lokaliziran i odnosi se na ponašanje valova u zoni blizu obale, gdje transformacije valova u plitkoj vodi ovise o dubini vode. U takvim uvjetima može postojati jaka korelacija između velikih valova i visokih razina mora. Zajednički ekstremi vjerojatnosti mogu se izračunati i prikazati na moru ili na kopnu. Rezultati na pučini primjenjivi su na većem području, ali se možda trebaju transformirati u uvjete na obali prije daljnje upotrebe.

Predviđanja valova i zajedničke vjerojatnosti s razinama mora često se izračunavaju kao funkcija smjera, što je ključno zbog različite izloženosti valovima i transformacije obale ovisno o smjeru vjetra. Koncept povratnog razdoblja u kontekstu zajedničkih vjerojatnosti je složeniji nego kod pojedinačnih varijabli. Zajednički ekstrem vjerojatnosti definira se kao vjerojatnost da će određena visina vala biti premašena istovremeno s određenom razinom mora. Postoji niz kombinacija visina valova i vodostaja za svako povratno razdoblje, a svaka kombinacija može biti jednako vjerojatna. Procjena zajedničkih vjerojatnosti zahtijeva dobro poznavanje distribucije i ekstrema uvjeta valova i vodostaja.

Potpuna i objektivna procjena zahtijeva kvalitetne podatke, tehnike, znanje stručnjaka te specifične metode. Različite metodologije, uključujući Monte Carlo simulacijski pristup, koriste se za zajedničku analizu vjerojatnosti, prilagođavajući distribucije razini mora, visini i strmini vala te njihovoj međusobnoj ovisnosti. Uzimanje u obzir istovremene pojave velikih valova i visokih razina mora ključno je za učinkovito projektiranje obalnih građevina. Značajan čimbenik u nastanku obalnih poplava su olujni uspori. Oluje uzrokuju pad atmosferskog tlaka i jake vjetrove, što podiže razinu mora i uzrokuje olujne uspore. Povećanje razine mora zbog smanjenog atmosferskog tlaka i efekata vjetra uzrokuju atmosferski olujni uspori [15]. Olujni uspori mogu uzrokovati značajno povećanje razine mora, koje često premašuje predviđene razine plime, čime povećavaju rizik od obalnih poplava. Na otvorenim obalama, olujni uspori

su posebno opasni jer su ta područja najizloženija efektima jakih vjetrova i niskog tlaka. Ključnu ulogu u obalnim poplavama također igraju valovi. Porast razine mora uzrokovan valovima predstavlja dodatno povećanje srednje razine mora zbog efekata valova, dok uspinjanje valova označava visinu do koje valovi dosežu na obali. Efekti valova, uključujući porast razine mora uzrokovan valovima (eng. wave setup) i uspinjanje valova (eng. wave runup), značajno doprinose ekstremnim razinama mora (eng. total water level) tijekom olujnih događaja [15]. Ovi efekti variraju u intenzitetu ovisno o lokalnom oblikovanju obalne, što naglašava potrebu za preciznim lokalnim podacima o valovima. Značajno povećanje razine mora tijekom olujnih uvjeta, posljedica je ovih pojava, čineći obalne poplave ozbiljnijima.

Lokalni obalni uvjeti, uključujući topografiju i batimetriju, također utječu na razinu obalnih poplava. Više izložene efektima valova su strme podmorske padine i otvorene obale, dok značajni porasta razine mora uzorkovanim valovima također se mogu dogoditi na zaklonjenim područjima [16], [17] i [18]. Podcjenjivanje ekstremnih razina mora i njihovih učestalosti kao posljedica ignoriranja ovih lokalnih uvjeta, može imati ozbiljne posljedice za procjenu rizika od poplava. Kada se ekstremni uvjeti, poput olujnih uspora i visokih valova, pojave istovremeno, dolazi do zajedničkog efekta koji može značajno povećati rizik od obalnih poplava. Zajednička pojava ovih događaja, zbog statističke zavisnosti kroz zajedničke atmosferske mehanizme, povećava vjerojatnost pojave ekstremnih uvjeta [15].

Ovo povećanje rizika zahtijeva precizne informacije o valovima kako bi se točnije procijenili rizici od obalnih poplava. Zavisnost između olujnih uspora i visokih valova može značajno povećati vjerojatnost obalnih poplava. Ako se ti događaji razmatraju zasebno, rizik može biti podcijenjen. Međutim, njihova zajednička pojava povećava rizik zbog kombiniranih efekata koji mogu dovesti do većih i češćih poplava. Precizne informacije o vremenu pojave valova i olujnih uspora omogućuju bolje razumijevanje i procjenu rizika. Studija [15] predstavlja prvu globalnu procjenu zavisnosti između ekstremnih olujnih uspora i visokih valova duž svjetskih obala. Koristeći numeričke simulacije olujnih uspora i valova, autori su identificirali obalne regije gdje ekstremni olujni uspori i visoki valovi imaju tendenciju da se javljaju istovremeno. Rezultati ove studije ključni su za razumijevanje globalnih obrazaca rizika od obalnih poplava i naglašavaju potrebu za preciznim, lokalno prilagođenim podacima o valovima. Globalna procjena omogućuje identifikaciju regija koje su najviše izložene riziku od zajedničke pojave olujnih uspora i visokih valova. To je ključno za međunarodne i nacionalne strategije upravljanja rizicima od poplava. Korištenjem ovih podataka, moguće je razviti učinkovitije planove za zaštitu obalnih područja i smanjenje šteta od poplava.

Infrastrukture na obali, poput brana, nasipa i sustava za odvodnju, igraju ključnu ulogu u zaštiti od obalnih poplava. Ove strukture učinkovito smanjuju prijetnje od valova, olujnih uspora i plime, disipirajući energiju i štiteći kritičnu infrastrukturu kao što su transportni sustavi i energetske stanice [19]. Dizajn ovih struktura mora uzeti u obzir očekivane ekstremne uvjete kako bi se osigurala njihova pouzdanost, funkcionalnost i operativnost. Prilagodba i upravljanje rizicima od obalnih poplava zahtijevaju primjenu naprednih statističkih tehnika i klimatoloških modela kako bi se točno procijenili ekstremni uvjeti i njihove učestalosti. Studija [19] ističe

potrebu za visokorezolucijskim klimatskim podacima prilagođenim specifičnim uvjetima lokacije kako bi se podržali projekti zelenih i smeđih područja (greenfield i brownfield projekti). Ovi podaci su ključni za procjenu pouzdanosti, funkcionalnosti i operativnosti obalnih građevina u dugoročnim klimatskim uvjetima. Prilagodba uključuje mjere poput nadogradnje postojećih obalnih građevina kako bi se smanjio rizik od poplava. To zahtijeva detaljnu analizu klimatskih podataka i predviđanja budućih uvjeta kako bi se osigurala otpornost infrastrukture na ekstremne događaje. Upravljanje rizicima uključuje strategije poput evakuacije, edukacije stanovništva i razvoja planova za hitne intervencije.

Razvoj naprednih multivarijantnih statističkih tehnika, poput copula funkcija i autoregresivnih modela, omogućava preciznu procjenu vjerojatnosti i ozbiljnosti ekstremnih događaja [20], [21], [22], [23] i [24]. Ove tehnike su ključne za razumijevanje zajedničkih efekata olujnih uspora i valova, što je bitno za dizajn i upravljanje obalnim strukturama. Statističke tehnike omogućuju bolje razumijevanje i predviđanje složenih klimatskih uvjeta koji utječu na obalne poplave. Copula funkcije omogućuju modeliranje zavisnosti između različitih klimatskih varijabli, dok autoregresivni modeli pomažu u predviđanju budućih uvjeta na temelju prošlih promjena. Kombinacija ovih tehnika omogućuje procjenu vjerojatnosti zajedničke pojave ekstremnih olujnih uspora i visokih valova, što je ključno za razvoj pouzdanih strategija zaštite obalnih područja.

Ukratko, potreba za vremenski preciznim informacijama o valovima je ključna za razumijevanje, predviđanje i upravljanje obalnim poplavama. Faktori poput olujnih uspora, visokih valova i lokalnih obalnih uvjeta imaju značajan utjecaj na rizik od obalnih poplava. Integrirani pristup koji uključuje napredne statističke tehnike, klimatološke modele i lokalno prilagođene podatke o valovima ključan je za razvoj učinkovitih strategija upravljanja rizicima od poplava. Studije poput [15] i [19] pružaju važne uvide u kompleksnost obalnih poplava i potrebu za preciznim informacijama o valovima. Ovaj rad dublje će istražiti ovu problematiku, posebno se usredotočujući na vremensku usklađenost između dostupnih modeliranih i stvarnih podataka o visinama valova u području istočnog Jadranskog mora. S obzirom da se mjerenja valova rade sporadično, za procjenu istovremenosti valova s drugim poplavnim čimbenicima, potrebno se osloniti na numeričke modele valovanja. Kroz analizu vremenskih razlika, bit će moguće bolje razumjeti koliko su modeli valova pouzdani i korisni u predviđanju ekstremnih događaja. Razmatranje vremenskih razlika između modeliranih i stvarnih podataka bit će ključno za procjenu pouzdanosti modela valova i procjenu istovremenosti s drugim faktorima poput olujnog uspora. Ova analiza omogućit će bolje razumijevanje usklađenosti između predviđenih i stvarnih ekstremnih visina valova, što će biti od vitalnog značaja za razvoj efikasnih strategija upravljanja rizicima od obalnih poplava.

2 METODOLOGIJA

U svrhu analize vremenske usklađenosti između mjerenih podataka (poglavlje 2.1) i simuliranih podataka (poglavlja 2.2 i 2.3) obratila se pozornost na 3 lokacije (platforma Ivana, Rijeka i Split) za koje su dostupni mjereni podaci. Opis i definiranje ekstremnih događaja valova koje će analizirati je prikazan u poglavlju 2.4.

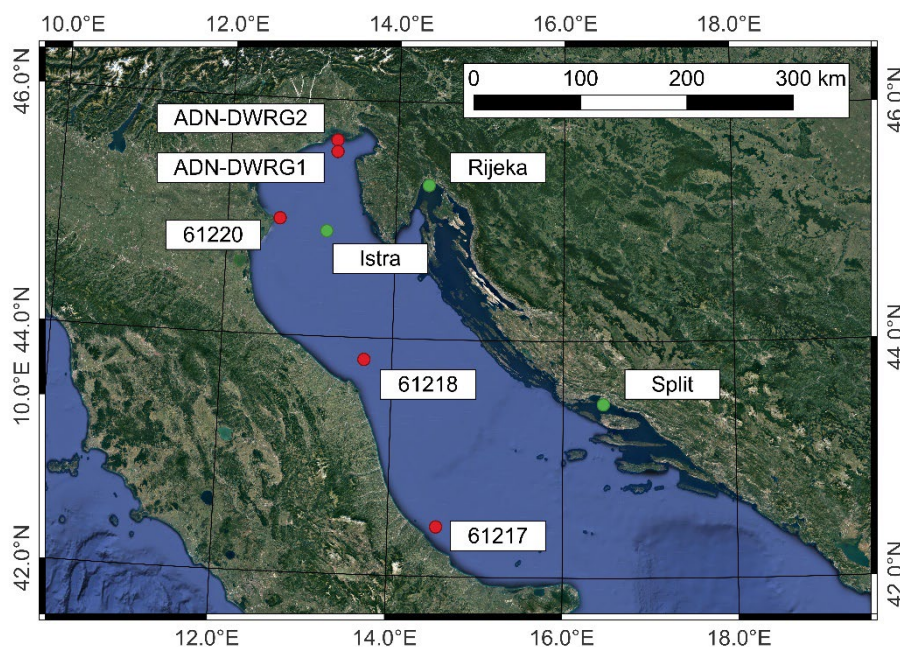
Općenito, sredozemno more predstavlja izazovno okruženje za modeliranje i analizu valova i ekstremnih razina mora, zbog kompleksnih interakcija između atmosferskih uvjeta i oceanskog sustava.

2.1 Mjereni podaci

Mjerenja su izvršena pomoću poznatog DATAWELL Waverider DWR MKIII, koji je usidren u suradnji s Hrvatskim hidrografskim institutom. Usidrena plutača mjeri smjer valova, visinu valova i dominantni period. Izmjereni podaci pohranjuju se na unutarnji podatkovni zapisivač plutače, a također se putem HF antene na plutači podaci prenose na RX - C prijamnik na obali. Prijamnik je povezan s računalom sa softverskim paketom potrebnim za prikupljanje i analizu podataka. Plutača je također opremljena GPS sustavom za pozicioniranje i praćenje. Baterije visokog kapaciteta unutar Waveridera omogućuju rad do jedne godine bez zamjene baterija.

Tablica 1: Imena, lokacije i period mjerjenja valnih parametara na plutačama

Br	Ime	Period mjerjenja	Geografska širina	Geografska dužina
1	Rijeka	1.7.2009-30.6.2011	45.33° N	14.39° E
2	Split	1.11.2007-15.11.2008	43.49° N	13.17° E
3	Istra (Platforma Ivana)	1.11.2007-31.12.2008	44.74° N	16.47° E



Slika 1 Pozicije i nazivi valnih plutača gdje su provedena mjerjenja (zelene točke) te plutače korištene za validaciju MEDSEA modela (poglavlje 2.2) prikazane u Tablici 1 (crvene točke).

2.2 Baza modeliranih valnih parametara - MEDSEA

MEDSEA_MULTIYEAR_WAV_006_012 je proizvod sustava za prognozu valova Sredozemnog mora (Med-WAV) koji obuhvaća višegodišnje podatke. Uključuje skup ponovne analize, privremeni skup podataka koji pokriva razdoblje nakon ponovne analize do mjesec dana prije sadašnjosti te mjesečni klimatološki skup podataka (referentno razdoblje 1993-2016). Skup ponovne analize predstavlja višegodišnju ponovnu analizu valova koja započinje u siječnju 1993. godine, sastavljenu od satnih parametara valova s horizontalnom rezolucijom od $1/24^\circ$, pokrivajući Sredozemno more i protežući se do 18.125° W u Atlantski ocean. Med-WAV sustav modeliranja temelji se na modelu valova WAM 4.6.2 i razvijen je kao ugniježđena sekvenca dviju računalnih mreža (grube i fine) kako bi se osiguralo ispravno ulazak dugih valova koji dolaze iz Sjevernog Atlantika (NA) prema Gibraltarskom tjesnacu u Sredozemno more. Gruba mreža pokriva Sjeverni Atlantski ocean od 75° W do 10° E i od 70° N do 10° S s rezolucijom od $1/6^\circ$, dok ugniježđena fina mreža pokriva Sredozemno more od 18.125° W do 36.2917° E i od 30.1875° N do 45.9792° N s rezolucijom od $1/24^\circ$. Sustav modeliranja rješava prognostički dio spektra valova s 24 smjerna i 32 logaritamski distribuirana frekvencijska spremnika. Sustav valova također uključuje shemu optimalne interpolacije za asimilaciju koja integrira značajnu visinu vala na temelju satelitskih promatranja dostupnih putem CMEMS-a, a prisiljen je s dnevno prosječnim strujama iz Med-Physics te s ERA5 ponovnom analizom vjetrova na visini od 10 m iznad morske površine s rezolucijom od 0.25° u horizontali i vremenskom rezolucijom od 1 sat iz ECMWF-a [25].

2.3 Baza modeliranih valnih parametara - COEXMED

U Sredozemnom moru ekstremne razine mora uz obalu uglavnom su uzrokovane olujnim usporima potaknutim atmosferskim tlakom i površinskim vjetrovima iz izvantropskih ciklona. Osim toga, vjetrovni valovi generirani istim atmosferskim poremećajima također mogu pridonijeti ekstremima uz obalu kroz porast razine mora uslijed vala (privremeni porast iznad srednje razine mora zbog disipacije i lomljenja valova u plitkim vodama blizu obale). Studija [26] istražuje prostornu i vremensku varijabilnost ekstremnih razina mora uz obalu u Sredozemnom bazenu, koristeći novu ponovnu analizu oceana generiranu s povezanim hidrodinamičkim-valnim modelom koji simulira olujne uspore i vjetrovne valove. Numerička simulacija pokriva razdoblje od 1950. do 2021. godine s visokim vremenskim uzorkovanjem (1h) i bez presedana prostornom rezolucijom za analizu na razini bazena, koja doseže 200 m uzduž obala. Olujni uspori i visine valova uz obalu validirani su s dostupnim opažanjima (plimne mjere, valni plutači i sateliti). Usporedba s plimnim mjerачima pokazuje prosječan *RMSE* od 7,5 cm (7,7 cm za ekstremne događaje) i srednju linearnu korelaciju od 0,64 za cijelo razdoblje. Slično, usporedba simulirane i promatrane značajne visine valova pokazuje dobro slaganje, s *RMSE* manjim od 0,25 m i koeficijentom korelacije do 0,95. Rezultati potvrđuju da su ekstremne razine mora uz obalu vjerojatnije u regijama s širokim kontinentalnim plićinama koji pogoduje doprinosu vjetra u olujnim usporima, zajedno s plitkim vodama koje pogoduju porastu razine mora uslijed lomljenja valova. Doprinos valova ekstremnim razinama mora uz obalu kvantificiran je korištenjem ponovne analize u kombinaciji s nepovezanim simulacijom i pokazao se značajnim, s procijenjenim prostornim tragom porasta razine mora uslijed valova na regionalnoj razini te promatranim maksimalnim razinama mora povećanim do 120% u prisutnosti valova [26].

Potpuno povezani hidrodinamički i model valova SCHISM [27], unaprijeđena verzija originalnog SELFE modela [28], koristi se za generiranje i propagaciju olujnih udara i vjetrovnih valova preko Sredozemnog mora. Model omogućuje izvođenje simulacija s njegovim 2DH barotropnim modom (hidrodinamička simulacija) i potpuno povezanom simulacijom (povezana hidrodinamičko-valna simulacija) sa spektralnim modelom valova WWMIII [29]. Oba modula dijele istu nestrukturiranu mrežu koja pokriva cijeli bazen Sredozemnog mora, s otvorenom granicom definirano kao polukrug od 15° koji se proteže zapadno od Gibraltarskog tjesnaca. Tjesnac igra ključnu ulogu u razmjeni vode između Sredozemnog mora (npr. plimni tokovi, uzdužni vjetrovi) i Atlantskog oceana; uzimanje u obzir ovih procesa važno je za točno simuliranje varijacija u razini morske površine unutar bazena, posebno za duža vremenska razdoblja. Naime, razlike u pritisku s obje strane tjesnaca analizirane u ranijim radovima otkrile su ulogu Atlantskog oceana na razinu i cirkulaciju Sredozemnog mora, te posebno utjecaj subinercijalnih frekvencija barotropnog toka Gibraltarskog tjesnaca [30], [31] i [32].

Domena modela uključuje zapadnu stranu Gibraltarskog tjesnaca kako bi se obuhvatila regija u kojoj uzdužni vjetrovi uzrokuju razlike u razini mora između Atlantika i Sredozemnog mora [33]. Na otvorenoj granici, razina morske površine prisiljena je formulacijom hidrostatske

ravnoteže (takozvani efekt inverznog barometra), budući da je atmosferski tlak glavni pokretač barotropnih varijacija razine mora u otvorenom oceanu. Na cijeloj domeni, SCHISM model prisiljen je s poljima vjetra na visini od 10 m iznad razine mora i srednjim tlakom razine mora (prostorna rezolucija $1/4^\circ$) koja su dobivena iz ERA5 reanalize za razdoblje 1979-2021 [34] i njezinog nedavno objavljenog preliminarnog proširenja za razdoblje od 1950. do 1978 [35].

Nestrukturirana računalna mreža sastoji se od 379,762 čvorova koje dijeli 649,326 elemenata, s horizontalnom rezolucijom mreže koja varira od oko 20 km u otvorenom oceanu do oko 200 m na obali. Koristi se EMODnet Batimetrija (2018) s rezolucijom mreže od $1/16 \times 1/16$ lučnih minuta (oko 115×115 m). Takva fina prostorna rezolucija omogućuje pouzdano prikazivanje procesa uzrokovanih valovima, uzimajući u obzir razmjere područja istraživanja, dok se osigurava razumno vrijeme računanja. Za oba hidrodinamička i valna modula, računalni vremenski korak postavljen je na 10 minuta, a izlazi se pohranjuju svaki sat na svim točkama mreže. Za trenje dna pretpostavljamo vrijednost 0.02 za Manningov koeficijent. Ukupna spektralna energija valova raspoređena je na 24 frekvencije u rasponu od 0.04 do 1 Hz i 24 smjera od 0 do 360° (rezolucija od 15°). Povijesna simulacija je provedena koristeći Finisterrae II iz objekta Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA). Svaka godina je pokrenuta zasebno s razdobljem zagrijavanja od 15 dana, koristeći 2 čvora za ukupno 48 procesora [26].

2.4 Analiza vremenskih razlika u ekstremnim visinama značajnih valova

2.4.1 Tjedni maksimumi

Za svaki tjedan u razmatranom periodu uzeo se maksimalni mjereni H_s i maksimalni simulirani H_s . Analizirana je razlika u vremenu između trenutaka pojave tih dva maksimuma kako bi se definirala vremenska razlika između ekstremnih događaja u mjerenoj i simuliranoj vremenskoj seriji. Greška u simuliranim i mjerenim tjednim maksimumima se definira:

$$t_e = (t_{\max\text{-tjedan-hs-simulirano}} - t_{\max\text{-tjedan-hs-mjereno}}); [h] \quad (1)$$

2.4.2 Mjesečni maksimum

Za svaki mjesec u razmatranom periodu uzeo se maksimalni mjereni H_s i maksimalni simulirani H_s . Analizirana je razlika u vremenu između trenutaka pojave tih dva maksimuma kako bi se definirala vremenska razlika između ekstremnih događaja u mjerenoj i simuliranoj vremenskoj seriji. Greška u simuliranim i mjerenim mjesečnim maksimumima se definira:

$$t_e = (t_{\max\text{-mjesec-hs-simulirano}} - t_{\max\text{-mjesec-hs-mjereno}}); [h] \quad (2)$$

2.4.3 Olujni događaj

Kada koristimo satne značajne visine valova, H_s , valovi se smatraju olujnim događajem ako zadovoljava sljedeće uvjete:

- vrijednosti H_s su iznad 95. percentila svih izmjerenih značajnih visina valova, H_{thresh} . Ovaj parametar se mijenja ovisno o lokaciji (lokacije prikazane u poglavlju 2.1),
- su dio olujnog događaja minimalnog trajanja, D , od 3 sata,
- su vremenski izdvojeni od drugih olujnih događaja za najmanje 24 sata. Ovo je kriterij takozvane meteorološke neovisnosti, I

Greška u simuliranim i mjerenim maksimumima olujnih događaja se definira:

$$t_e = (t_{\max\text{-oluja-hs-simulirano}} - t_{\max\text{-oluja-hs-mjereno}}); [h] \quad (3)$$

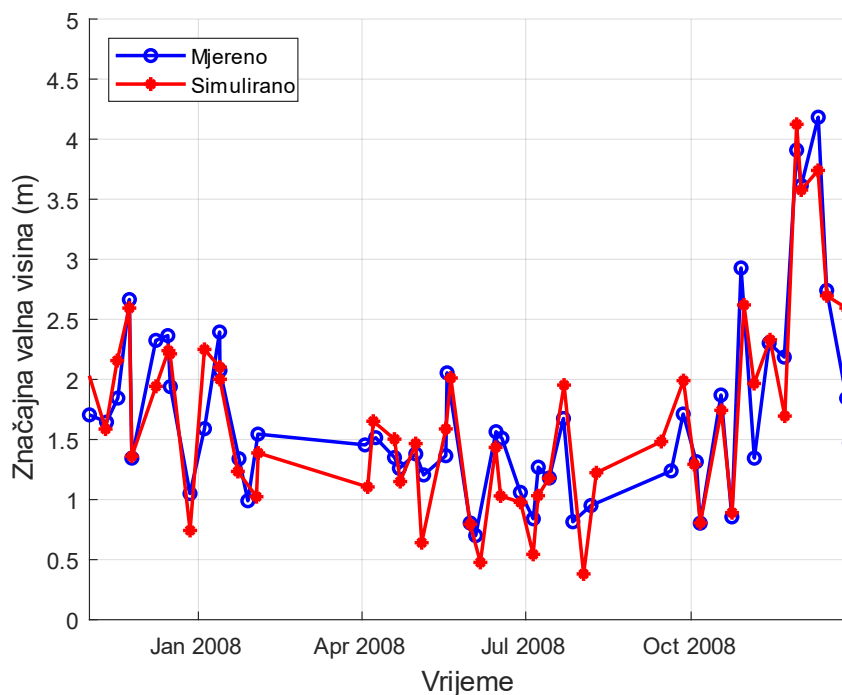
3 REZULTATI

3.1 Platforma Ivana (Istra)

3.1.1 Tjedni maksimumi

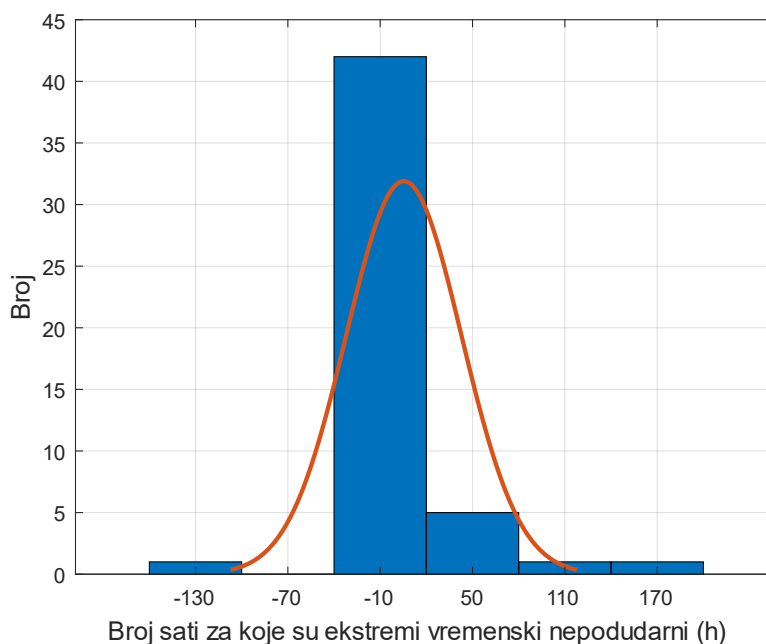
3.1.1.1 Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka

Slika 2 prikazuje usporedbu značajnih valnih visina (u metrima) u razdoblju od siječnja do prosinca 2008. godine, pri čemu su plavom bojom predstavljeni mjereni podaci, a crvenom simulirani podaci. Na osi *y* prikazana je značajna valna visina, koja varira između 0 i 5 metara, dok os *x* prikazuje vrijeme u mjesečnim intervalima tijekom 2008. godine. Simulirani podaci (crvena linija) dobro prate mjerenja (plava linija) tijekom cijelog razdoblja 2008. godine, što ukazuje na visoku razinu vremenske podudarnosti, osobito u smirenijim periodima bez ekstremnih uvjeta. To znači da model učinkovito replicira opći trend značajnih valnih visina, što je važno za dugoročne prognoze i procjene morskih uvjeta. Međutim, mogu se primijetiti određena odstupanja u kratkotrajnim vršnim vrijednostima, osobito tijekom razdoblja s naglim promjenama valne visine, poput onih u siječnju, veljači, te krajem godine, u studenom i prosincu. U tim slučajevima, model ponekad precjenjuje ili podcjenjuje brzinu i intenzitet promjena, što sugerira da, iako je vremenska podudarnost općenito dobra, model možda ne uspijeva savršeno simulirati ekstremne vremenske uvjete i njihove učinke na valove. U razdobljima smirenijih vremenskih uvjeta, primjerice u proljeće i rano ljeto (travanj-srpanj), vremenska podudarnost između simuliranih i mjerenih podataka je vrlo visoka. U tim fazama, simulirane vrijednosti gotovo savršeno prate mjerenja, s minimalnim odstupanjima. To ukazuje na visoku učinkovitost modela u repliciranju uobičajenih morskih uvjeta, gdje su atmosferski čimbenici manje dinamični.



Slika 2 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (MEDSEA) tjednih maksimuma u periodu mjerenja

Histogram (Slika 3) prikazuje vremenske razlike između događaja ekstremne visine vala. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje kašnjenje od oko -10 sati, što znači da simulirani podaci rane za stvarno izmjerenim događajima u prosjeku za 10 sati. Osim toga, postoje neke ekstremne razlike, s manjim brojem događaja koji pokazuju odgode ili vremenske odmake do -130 ili +170 sati. Histogram jasno ističe da većina simuliranih ekstremnih događaja ima relativno male razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima, uglavnom urani 10 sati. Prema podacima, razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je 5,34 h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 5 h kasne u odnosu na izmjerene vrijednosti (Tablica 2). Iznos standardne devijacije (σ) od 37,51 sati znači da postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti [-5,32, 16,00] znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je između -5 i 16 sati, a relativno veliku raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju [31,34, 46,75].



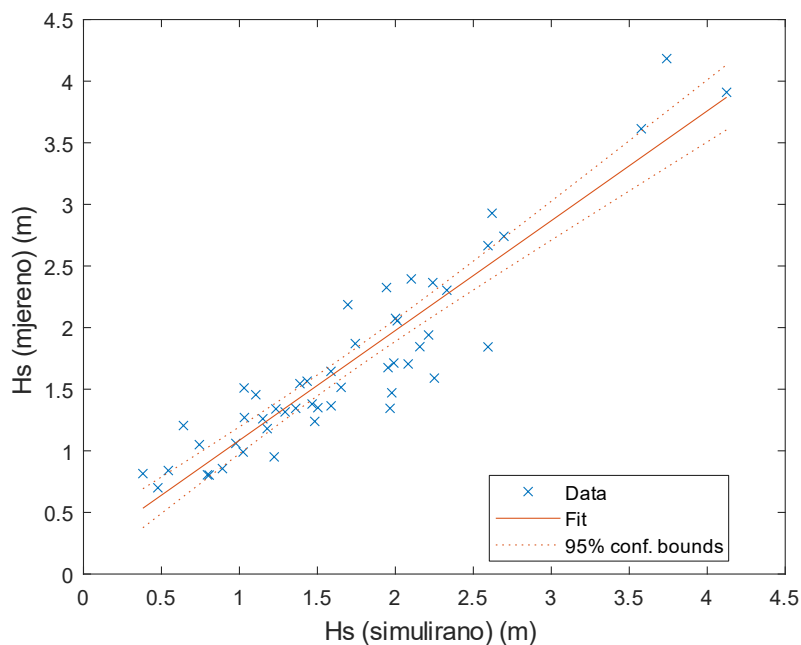
Slika 3 Histogram vremenske nepodudarnosti između tjednih ekstremnih događaja valnih visina (MEDSEA)

Tablica 2 Vrijednosti parametara normalne distribucije za podatke prikazane na **Slika 3**

Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	mu	5.34	[-5.32, 16.00]
2	sigma	37.51	[31.34, 46.75]

Dijagram (Slika 4) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenije pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (4) opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba (0,89) pokazuje da se simulirana visina vala diže malo sporije od izmjerene visine vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,194) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi imala malu osnovnu vrijednost. $R^2 = 0,86$; koeficijent pokazuje da se 86% varijabilnosti izmjerenih visina valova može objasniti simuliranim podacima. R^2 blizu 1 ukazuje na dobro slaganje između

simulacija i mjerenja, dok preostalih 14% varijabilnosti može biti posljedica netočnosti modela, pogrešaka mjerenja ili nepredviđenih čimbenika okoline.



Slika 4 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za tjedne ekstreme MEDSEA

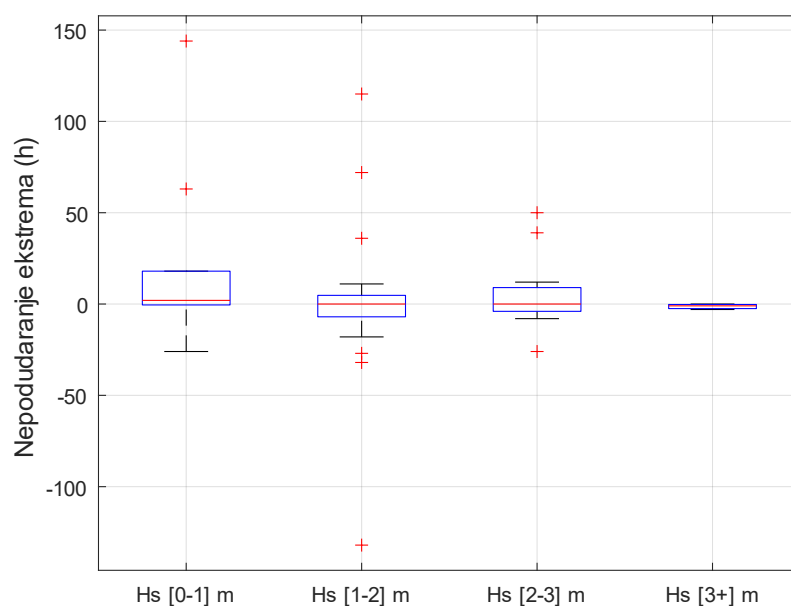
$$H_{s,mj} = 0.89 \cdot H_{s,sim} + 0.194 \quad (4)$$

Tablica 3 Kategorije nepodudaranja ekstrema za MEDSEA

Kategorija H_s u metrima	Broj mjerenja	Prosječno nepodudaranje	Standardna devijacija
0-1	9	20.88	51.82
1-2	25	0.48	40.79
2-3	13	5.46	19.64
3+	3	-1.33	1.53

Na boxplot (Slika 5) dijagramu koji istražuje vremenska nepodudaranja ekstrema za različite kategorije značajnih visina valova (H_s) uočili smo podatke koji su dodatno potkrijepljeni s Tablica 3 koja prikazuje broj mjerenja, srednje vrijednosti nepodudaranja i standardne devijacije za svaku kategoriju. Kategorije H_s grupirane su u četiri grupe: H_s [0-1] m, H_s [1-2] m,

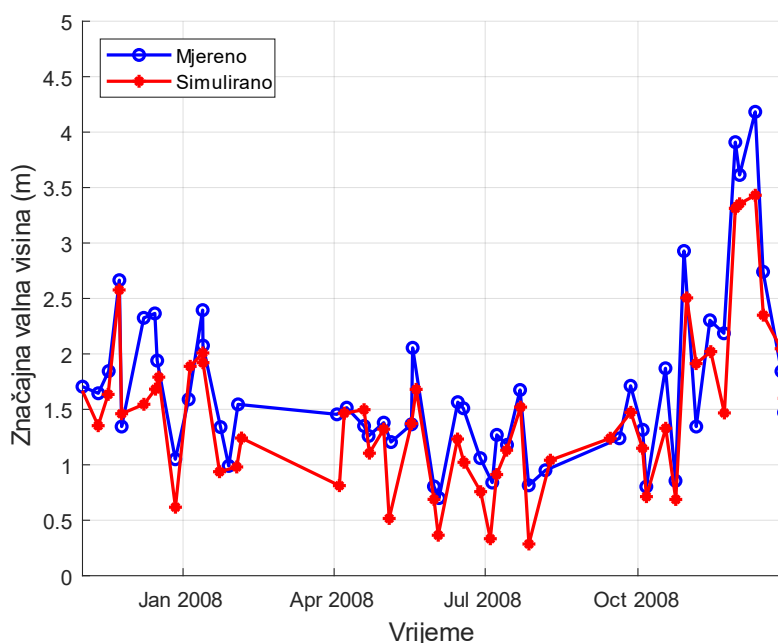
H_s [2-3] m i H_s [3+] m. Kategorija H_s [0-1] m obuhvaća valove visine 0 do 1 metra. Zabilježeno je 9 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od 20,89 sati i visokom standardnom devijacijom od 51,82 sata, što ukazuje na velika odstupanja u ekstrema. Kategorija H_s [1-2] m uključuje 25 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od 0,48 sati i standardnom devijacijom od 40,80 sati, što ukazuje na smanjenje odstupanja u odnosu na manju kategoriju. Iako su prisutni "outlieri", model za ovu kategoriju pokazuje veću točnost. Kategorija H_s [2-3] m, s 13 mjerenja, ima prosječno nepodudaranje od 5,46 sati i značajno nižu standardnu devijaciju od 19,64 sata. Boxplot prikazuje manji raspon odstupanja i manji broj "outliera", što ukazuje na točnija predviđanja. Posljednja kategorija, H_s [3+] m, ima samo 3 mjerenja, no pokazuje minimalna odstupanja s prosječnim nepodudaranjem od -1,33 sati i standardnom devijacijom od 1,53 sata. Ova kategorija prikazuje vrlo točne rezultate, s gotovo zanemarivim odstupanjima. Veći valovi pokazuju stabilnija i preciznija predviđanja, dok manji valovi izazivaju veća odstupanja zbog složenosti i fluktuacija. Standardna devijacija opada s porastom visine valova, što potvrđuje veću preciznost modela za veće valove.



Slika 5 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja tjednih ekstrema valnih visina MEDSEA

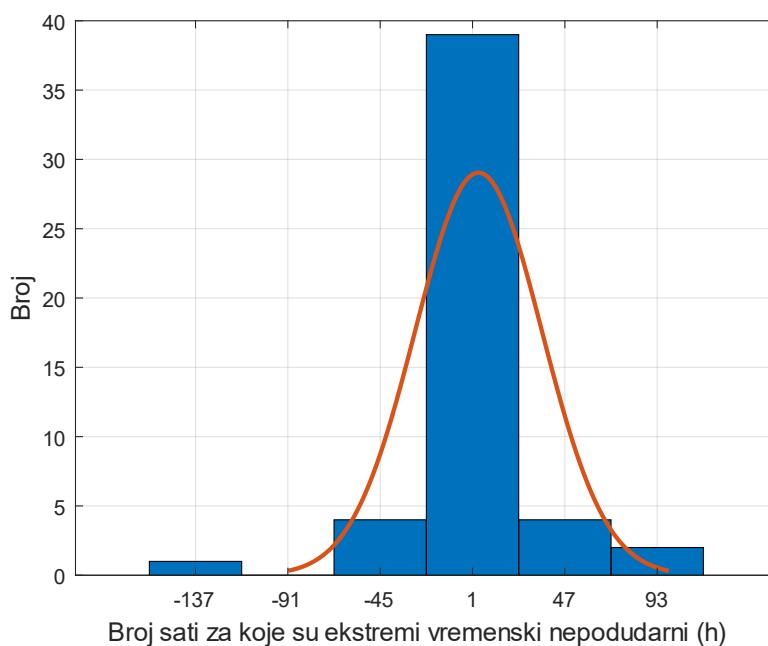
3.1.1.2 Usporedba između COEXMED i mjernih podataka

Slika 6 prikazuje usporedbu značajnih valnih visina (u metrima) u razdoblju od siječnja do prosinca 2008. godine, pri čemu su plavom bojom predstavljeni mjereni podaci, a crvenom simulirani podaci. Na osi **y** prikazana je značajna valna visina, koja varira između 0 i 5 metara, dok os **x** prikazuje vrijeme u mjesečnim intervalima tijekom 2008. godine. Simulirani podaci (crvena linija) dobro prate mjerenja (plava linija) tijekom cijelog razdoblja 2008. godine, što ukazuje na visoku razinu vremenske podudarnosti, osobito u smirenijim periodima bez ekstremnih uvjeta. To znači da model učinkovito replicira opći trend značajnih valnih visina, što je važno za dugoročne prognoze i procjene morskih uvjeta. Međutim, mogu se primijetiti određena odstupanja u kratkotrajnim vršnim vrijednostima, osobito tijekom razdoblja s naglim promjenama valne visine, poput onih u siječnju, veljači, te krajem godine, u studenom i prosincu. U tim slučajevima, model ponekad precjenjuje ili podcjenjuje brzinu i intenzitet promjena, što sugerira da, iako je vremenska podudarnost općenito dobra, model možda ne uspijeva savršeno simulirati ekstremne vremenske uvjete i njihove učinke na valove. U razdobljima smirenijih vremenskih uvjeta, primjerice u proljeće i rano ljeto (travanj-srpanj), vremenska podudarnost između simuliranih i mjerenih podataka je vrlo visoka. U tim fazama, simulirane vrijednosti gotovo savršeno prate mjerenja, s minimalnim odstupanjima. To ukazuje na visoku učinkovitost modela u repliciranju uobičajenih morskih uvjeta, gdje su atmosferski čimbenici manje dinamični.



Slika 6 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (COEXMED) tjednih maksimuma u periodu mjerenja

Histogram (Slika 7) prikazuje vremenske razlike između događaja ekstremne visine vala. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje kašnjenje od oko 1 sata, što znači da simulirani podaci kasne za stvarno izmjerenim događajima u prosjeku za 1 sat. Osim toga, postoje neke ekstremne razlike, s manjim brojem događaja koji pokazuju odgode ili vremenske odmake do -137 ili +93 sati. Histogram (Slika 7) jasno ističe da većina simuliranih ekstremnih događaja ima relativno male razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima, uglavnom kašnjenje od 1 sata. Prema podacima iz Tablica 4, razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je 3,98 h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 4 h kasne u odnosu na izmjerene vrijednosti. Iznos standardne devijacije (σ) od 31,59 sati znači da postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti [-4.99, 12.96] znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je između -5 i 13 sati, a relativno veliku raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju [26,39, 39,36].

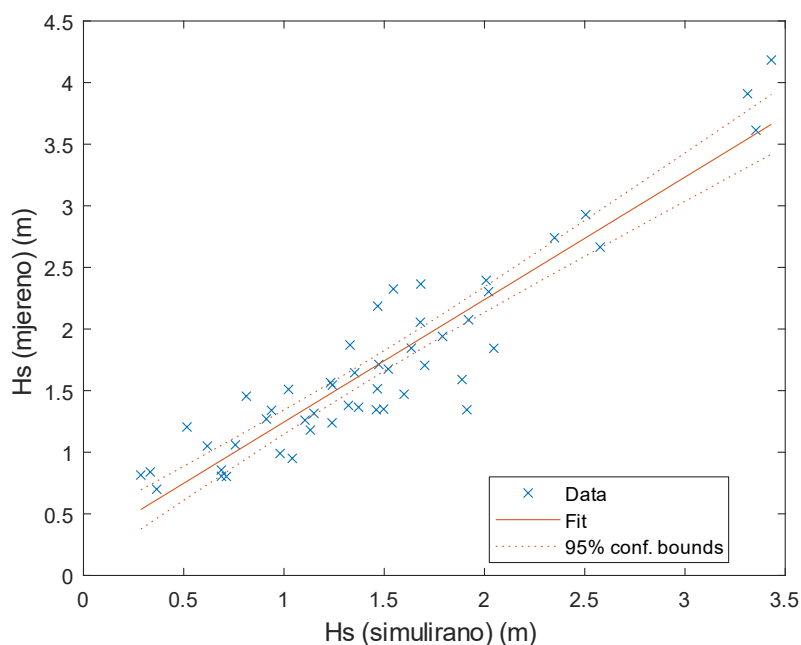


Slika 7 Histogram vremenske nepodudarnosti između tjednih ekstremnih događaja valnih visina COEXMED

Tablica 4 Vrijednosti parametara normalne distribucije za podatke prikazane na

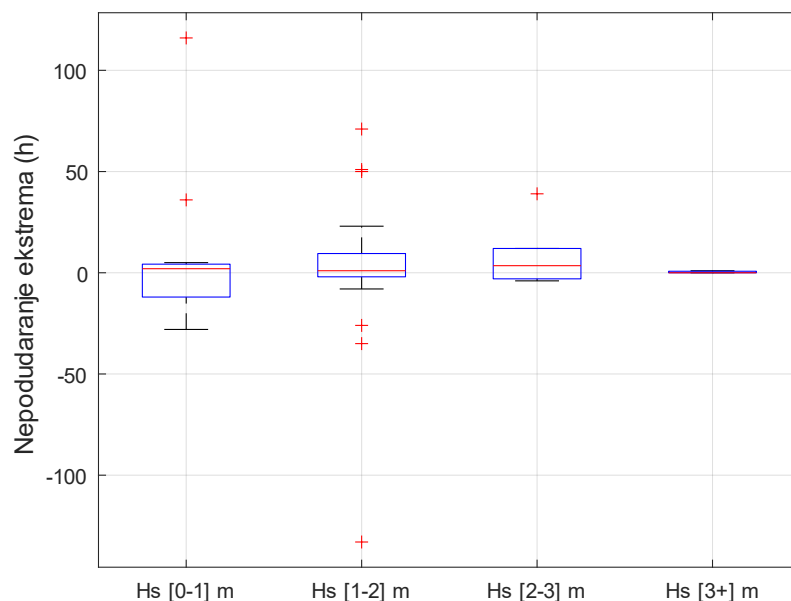
Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	mu	3.98	[-4.99, 12.96]
2	sigma	31.59	[26.39, 39.36]

Dijagram (Slika 8) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (5) $Y = 0,99 * x + 0,251$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba (0,99) pokazuje da se simulirana visina vala diže skoro identično kao izmjerena visina vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,251) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi imala malu osnovnu vrijednost.

**Slika 8** Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za tjedne ekstreme COEXMED

$$H_{s,mj} = 0.99 \cdot H_{s,sim} + 0.251 \quad (5)$$

Na boxplot dijagramu (Slika 9) koji istražuje vremenska nepodudaranja ekstrema za različite kategorije značajnih visina valova (H_s) uočili smo podatke koji su dodatno potkrijepljeni s Tablica 5 koja prikazuje broj mjerenja, srednje vrijednosti nepodudaranja i standardne devijacije za svaku kategoriju. Kategorije H_s grupirane su u četiri grupe Tablica 5: H_s [0-1] m, H_s [1-2] m, H_s [2-3] m i H_s [3+] m. Kategorija H_s [0-1] m obuhvaća valove visine 0 do 1 metra. Zabilježeno je 13 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od 6,69 sati i visokom standardnom devijacijom od 36,56 sata, što ukazuje na velika odstupanja u ekstrema. Boxplot pokazuje širok raspon vrijednosti s mnogim "outlierima", što sugerira nestabilnost podataka. Kategorija H_s [1-2] m uključuje 28 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od 2,14 sati i standardnom devijacijom od 34 sati, što ukazuje na smanjenje odstupanja u odnosu na manju kategoriju. Iako su prisutni "outlieri", modeli za ovu kategoriju pokazuju veću stabilnost. Kategorija H_s [2-3] m, s 6 mjerenja, ima prosječno nepodudaranje od 8,5 sati i značajno nižu standardnu devijaciju od 16 sata. Boxplot prikazuje manji raspon odstupanja i manji broj "outliera", što ukazuje na stabilnija predviđanja. Posljednja kategorija, H_s [3+] m, ima samo 3 mjerenja, no pokazuje minimalna odstupanja s prosječnim nepodudaranjem od 0,33 sati i standardnom devijacijom od 0,58 sata. Ova kategorija prikazuje najstabilnije rezultate, s gotovo zanemarivim odstupanjima. Veći valovi pokazuju stabilnija i preciznija predviđanja, dok manji valovi izazivaju veća odstupanja zbog složenosti i fluktuacija. Standardna devijacija opada s porastom visine valova, što potvrđuje veću stabilnost modela za veće valove.



Slika 9 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja tjednih ekstrema valnih visina COEXMED

Tablica 5 Kategorije vremenskih nepodudaranja ekstrema

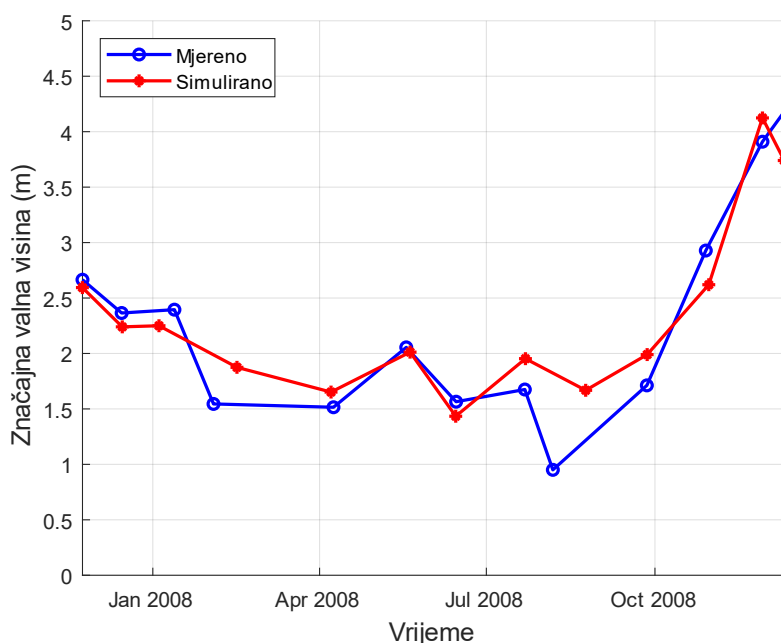
Kategorija	Broj mjerenja	Prosječno nepodudaranje	Standardna devijacija
0-1	13	6.69	36.56
1-2	28	2.14	34
2-3	6	8.5	16
3+	3	0.33	0.58

3.1.2 Mjesečni maksimum

3.1.2.1 Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka

Dijagram (Slika 10) prikazuje usporedbu značajnih valnih visina (u metrima) u razdoblju od siječnja do prosinca 2008. godine, pri čemu su plavom bojom predstavljeni mjereni podaci, a crvenom simulirani podaci. Krivulja mjerenih podataka sastoji se od 12 točaka, a krivulja simuliranih podataka sastoji se od 13 točaka. Na osi y prikazana je značajna valna visina, koja varira između 0 i 5 metara, dok os x prikazuje vrijeme u mjesečnim intervalima tijekom 2008. godine. Simulirani podaci (crvena linija) dobro prate mjerenja (plava linija) tijekom cijelog

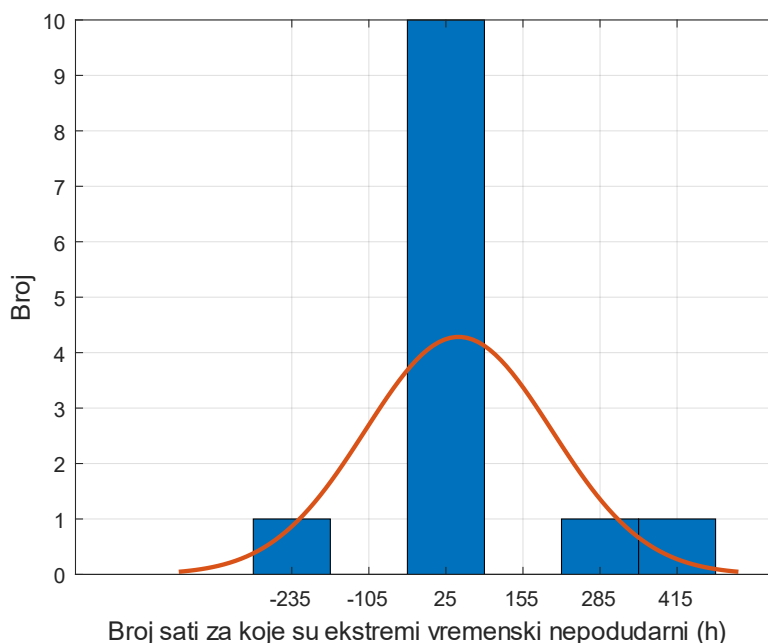
razdoblja 2008. godine, što ukazuje na visoku razinu vremenske podudarnosti, osobito u smirenijim periodima bez ekstremnih uvjeta. To znači da model učinkovito replicira opći trend značajnih valnih visina, što je važno za dugoročne prognoze i procjene morskih uvjeta. Međutim, mogu se primijetiti određena odstupanja, osobito tijekom razdoblja s naglim promjenama valne visine, poput onih u veljači, te u rujnu. U tim slučajevima, model ponekad precjenjuje ili podcjenjuje brzinu i intenzitet promjena, što sugerira da, iako je vremenska podudarnost općenito dobra, model možda ne uspijeva savršeno simulirati ekstremne vremenske uvjete i njihove učinke na valove. U razdobljima smirenijih vremenskih uvjeta, primjerice u proljeće i rano ljeto (travanj-srpanj) te pred kraj godine (studeni-prosinac), vremenska podudarnost između simuliranih i mjerenih podataka je vrlo visoka. U tim fazama, simulirane vrijednosti gotovo savršeno prate mjerenja, s minimalnim odstupanjima. To ukazuje na visoku učinkovitost modela u repliciranju uobičajenih morskih uvjeta, gdje su atmosferski čimbenici manje dinamični.



Slika 10 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (MEDSEA) mjesečnih maksimuma u periodu mjerenja

Histogram (Slika 11) prikazuje vremenske razlike između događaja ekstremne visine vala. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje kašnjenje od oko 25 sati, što znači da simulirani podaci kasne za stvarno izmjerenim

događajima u prosjeku za 25 sati. Osim toga, postoje neke ekstremne razlike, s manjim brojem događaja koji pokazuju odgode ili vremenske odmake do -235 ili +415 sati. Histogram jasno ističe da većina simuliranih ekstremnih događaja ima relativno velike razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima, uglavnom kašnjenje od 25 sati. Prema podacima, razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova relativno prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je 46.38 h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 46 h kasne u odnosu na izmjerene vrijednosti što je poprilična razlika u odnosu na tjedna mjerenja. Iznos standardne devijacije (σ) od 157.38 sati znači da postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti [-48.72, 141.49] znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je između -49 i 142 sata, a relativno veliku raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju [112.852, 259.786] i tu vidimo bitno povećanje u odnosu na tjedna mjerenja (Tablica 6).

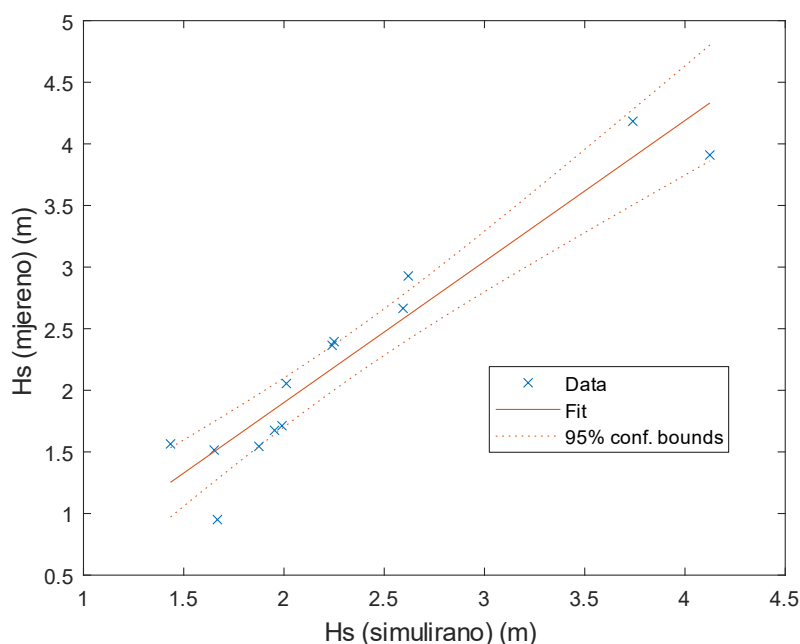


Slika 11 Histogram vremenske nepodudarnosti između mjesečnih ekstremnih događaja valnih visina MEDSEA

Tablica 6 Vrijednosti parametara normalne distribucije za podatke prikazane na **Slika 11**

Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	mu	46.38	[-48.72, 141.486]
2	sigma	157.376	[112.852, 259.786]

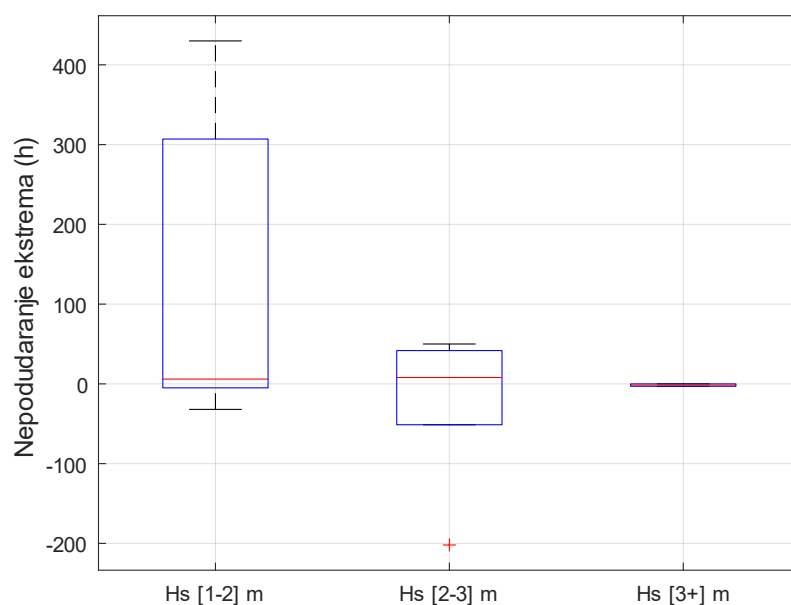
Dijagram (Slika 12) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (6) $Y = 1,14 \cdot x - 0,388$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba (0,909) pokazuje da se simulirana visina vala diže malo sporije od izmjerene visine vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,194) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi imala malu osnovnu vrijednost. $R^2 = 0,909$; koeficijent pokazuje da se 90.9% varijabilnosti izmjerenih visina valova može objasniti simuliranim podacima. R^2 blizu 1 ukazuje na dobro slaganje između simulacija i mjerenja, dok preostalih 9.1% varijabilnosti može biti posljedica netočnosti modela, pogrešaka mjerenja ili nepredviđenih čimbenika okoline.



Slika 12 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za mjesečne ekstreme MEDSEA

$$H_{s,mj} = 1.14 \cdot H_{s,sim} + 0.388 \quad (6)$$

Na boxplot dijagramu (Slika 13) koji istražuje vremenska nepodudaranja ekstrema za različite kategorije značajnih visina valova (H_s) uočili smo podatke koji su dodatno potkrijepljeni u Tablica 7 koja prikazuje broj mjerenja, srednje vrijednosti nepodudaranja i standardne devijacije za svaku kategoriju. Kategorije H_s grupirane su u tri grupe: H_s [0-1] m, H_s [2-3] m i H_s [3+] m. Kategorija H_s [0-1] m obuhvaća valove visine 0 do 1 metra. Zabilježeno je 6 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od 118.67 sati i visokom standardnom devijacijom od 197.88 sati, što ukazuje na puno veća odstupanja u ekstremima nego na tjednoj bazi. Boxplot pokazuje širok raspon vrijednosti s mnogim "outlierima", što sugerira raspršenost podataka. Kategorija H_s [2-3] m, sa 5 mjerenja, ima prosječno nepodudaranje od -21.2 sati i nižu standardnu devijaciju od 103.25 sati. Boxplot prikazuje manji raspon odstupanja i manji broj "outliera", što ukazuje na manju raspršenost predviđanja. Posljednja kategorija, H_s [3+] m, ima samo 2 mjerenja, no pokazuje minimalna odstupanja s prosječnim nepodudaranjem od -1.5 sati i standardnom devijacijom od 2.12 sata. Ova kategorija prikazuje najmanju raspršenost rezultata, s puno manjim odstupanjima. Veći valovi pokazuju stabilnija i preciznija predviđanja, dok manji valovi izazivaju veća odstupanja zbog složenosti i fluktuacija. Standardna devijacija opada s porastom visine valova, što potvrđuje smanjenje raspršenosti modela za veće valove.



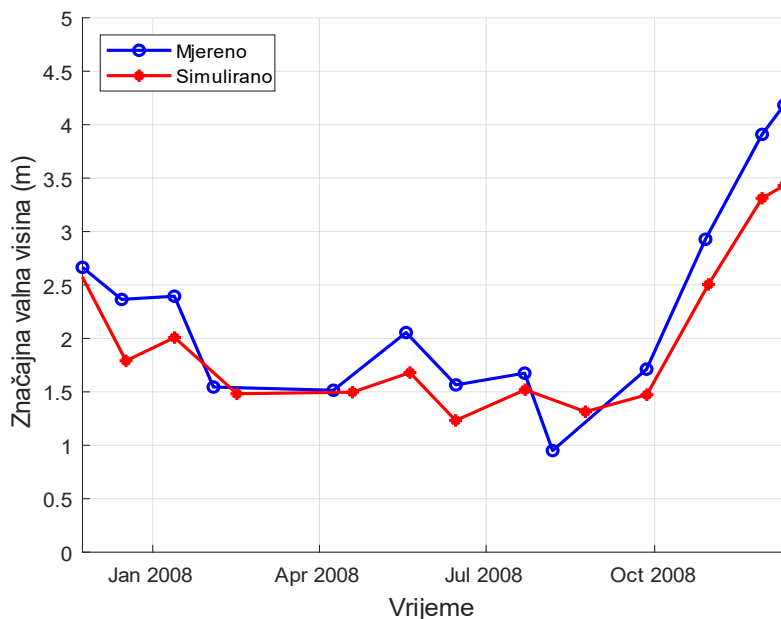
Slika 13 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja mjesečnih ekstrema valnih visina MEDSEA

Tablica 7 Kategorije mjerenja vremenskog nepodudaranja ekstrema

Kategorija	Broj mjerenja	Prosječno nepopudaranje	Standardna devijacija
0-1	6	118.67	197.88
2-3	5	-21.2	103.25
3+	2	-1.5	2.12

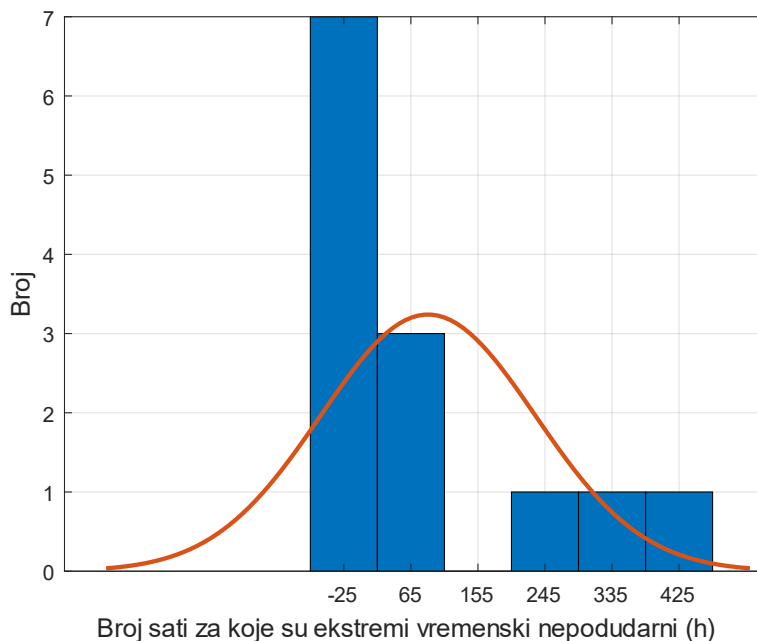
3.1.2.2 Usporedba između COEXMED i mjernih podataka

Dijagram (Slika 14) prikazuje usporedbu značajnih valnih visina (u metrima) u razdoblju od siječnja do prosinca 2008. godine, pri čemu su plavom bojom predstavljeni mjereni podaci, a crvenom simulirani podaci. Krivulja mjerenih podataka sastoji se od 13 točaka, a krivulja simuliranih podataka sastoji se od 12 točaka. Na osi *y* prikazana je značajna valna visina, koja varira između 0 i 5 metara, dok os *x* prikazuje vrijeme u mjesečnim intervalima tijekom 2008. godine. Simulirani podaci (crvena linija) dobro prate mjerenja (plava linija) tijekom cijelog razdoblja 2008. godine, što ukazuje na visoku razinu vremenske podudarnosti, osobito u smirenijim periodima bez ekstremnih uvjeta. To znači da model učinkovito replicira opći trend značajnih valnih visina, što je važno za dugoročne prognoze i procjene morskih uvjeta. Međutim, mogu se primijetiti određena odstupanja u kratkotrajnim vršnim vrijednostima, osobito tijekom razdoblja s naglim promjenama valne visine, poput onih u siječnju, veljači, travnju te jedno veće odstupanje u kolovozu. U tim slučajevima, model ponekad precjenjuje ili podcjenjuje brzinu i intenzitet promjena, što sugerira da, iako je vremenska podudarnost općenito dobra, model možda ne uspijeva savršeno simulirati ekstremne vremenske uvjete i njihove učinke na valove. U razdobljima smirenijih vremenskih uvjeta, primjerice u proljeće i rano ljeto (travanj-srpanj), vremenska podudarnost između simuliranih i mjerenih podataka je vrlo visoka. U tim fazama, simulirane vrijednosti gotovo savršeno prate mjerenja, s minimalnim odstupanjima. To ukazuje na visoku učinkovitost modela u repliciranju uobičajenih morskih uvjeta, gdje su atmosferski čimbenici manje dinamični.



Slika 14 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (COEXMED) mjesečnih maksimuma u periodu mjerenja

Histogram (Slika 15) prikazuje vremenske razlike između događaja ekstremne visine vala. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje uranjivanje od oko 25 sata, što znači da simulirani podaci uranjuju za stvarno izmjerenim događajima u prosjeku za 25 sati. Osim toga, postoje neke ekstremne razlike, s manjim brojem događaja koji pokazuju odgode ili vremenske odmake do -25 ili 425 sati. Histogram jasno ističe da većina simuliranih ekstremnih događaja ima relativno velike razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima, uglavnom uranjivanje od 25 sati. Prema podacima (Tablica 8), razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova u ovom mjerenju ne prati u potpunosti normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je 88 h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 88 h kasne u odnosu na izmjerene vrijednosti. Iznos standardne devijacije (σ) od 144.038 sati znači da postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti [0.96, 175.04] znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je između 1 i 175 sati, a također relativno veliku raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju [103.29, 237.769].



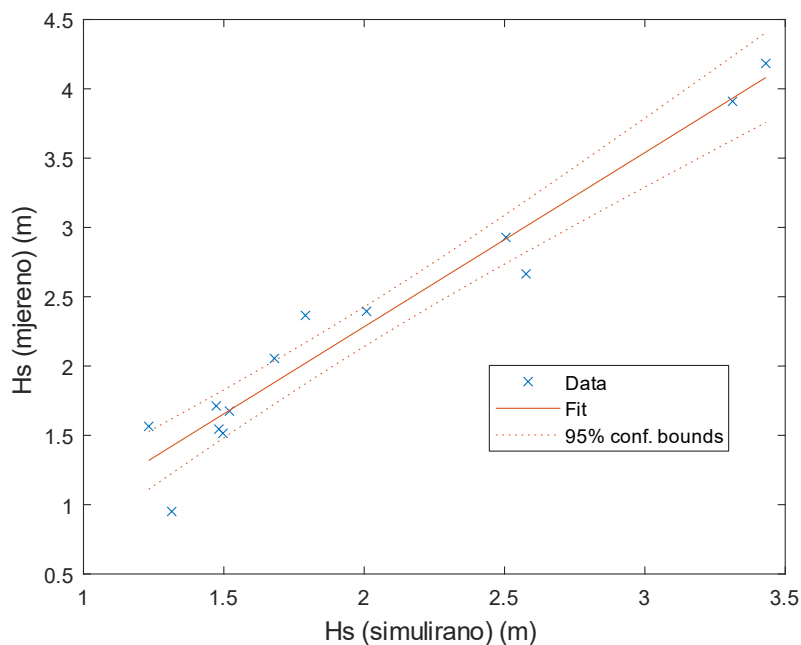
Slika 15 Histogram vremenske nepodudarnosti između mjesečnih ekstremnih događaja valnih visina COEXMED

Tablica 8 Vrijednosti parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na **Slika 15**

Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	mu	88	[0.96, 175.04]
2	sigma	144.038	[103.29, 237.769]

Dijagram (Slika 16) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (7) $Y = 1.26 * x - 0.229$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba (0,945) pokazuje da se simulirana visina vala diže skoro

identično kao izmjerena visina vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,229) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi imala malu osnovnu vrijednost.

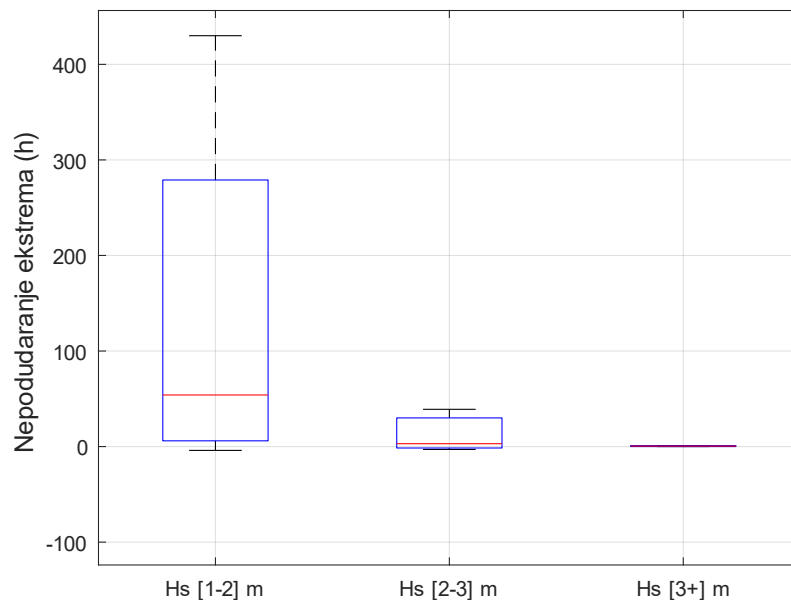


Slika 16 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za mjesečne ekstreme COEXMED

$$H_{s,mj} = 1.26 \cdot H_{s,sim} - 0.229 \quad (7)$$

Na boxplot dijagramu (Slika 17) koji istražuje vremenska nepodudaranja ekstrema za različite kategorije značajnih visina valova (H_s) uočili smo podatke koji su dodatno potkrijepljeni U tablicom (Tablica 9) koja prikazuje broj mjerenja, srednje vrijednosti nepodudaranja i standardne devijacije za svaku kategoriju. Kategorije H_s grupirane su u tri grupe: H_s [0-1] m, H_s [2-3] m i H_s [3+] m. Kategorija H_s [0-1] m obuhvaća valove visine 0 do 1 metra. Zabilježeno je 8 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od 138 sati i visokom standardnom devijacijom od 167.22 sati, što ukazuje na puno veća odstupanja u ekstremima nego na tjednoj bazi. Boxplot pokazuje širok raspon vrijednosti s mnogim "outlierima", što sugerira raspršenost podataka. Kategorija H_s [2-3] m, sa 3 mjerenja, ima prosječno nepodudaranje od 13 sati i nižu standardnu devijaciju od 22.72 sati što je puno manje nego MEDSEA modelom. Boxplot prikazuje manji raspon odstupanja i manji broj "outliera", što ukazuje na stabilnija predviđanja. Posljednja kategorija, H_s [3+] m, ima samo 2 mjerenja, no pokazuje minimalna odstupanja s prosječnim nepodudaranjem od 0.5 sati i standardnom devijacijom od 0.71 sata. Ova kategorija prikazuje najstabilnije rezultate, s puno manjim odstupanjima. Veći valovi pokazuju

manju raspršenost i preciznija predviđanja, dok manji valovi izazivaju veća odstupanja zbog složenosti i fluktuacija. Standardna devijacija opada s porastom visine valova, što potvrđuje manju raspršenost modela za veće valove.



Slika 17 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja mjesečnih ekstrema valnih visina COEXMED

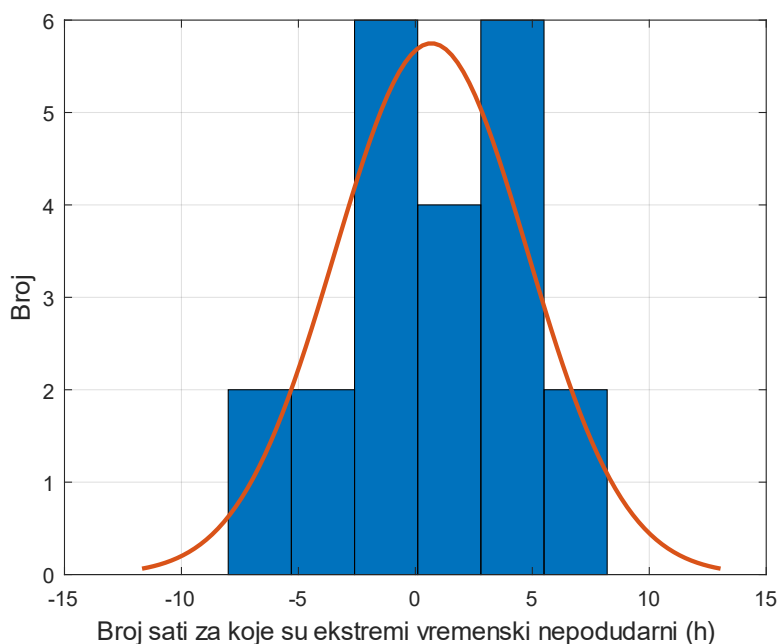
Tablica 9 Kategorije vremenskog nepodudaranja ekstrema

Kategorija	Broj mjerenja	Prosječno nepodudaranje	Standardna devijacija
0-1	8	138	167.22
2-3	3	13	22.72
3+	2	0.5	0.71

3.1.3 Olujni događaj

3.1.3.1 Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka

Histogram (Slika 18) prikazuje vremenske razlike između ekstremne visine vala olujnih događaja. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje kašnjenje između 0 i 5 sati, što znači da simulirani podaci kasne za stvarno izmjerenim događajima u prosjeku za 2.5 sati. Histogram ističe da većina simuliranih ekstremnih događaja nema relativno velike razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima, uglavnom kašnjenje od 2.5 sati. Prema podacima, razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova u ovom mjerenju prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je 0.68 h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 0.68 h kasne u odnosu na izmjerene vrijednosti. Iznos standardne devijacije (σ) od 4.12 sati znači da ne postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti $[-1.15, 2.51]$ znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je između 3 i pol sati, a također relativno malu raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju $[3.17, 5.89]$ (Tablica 10).

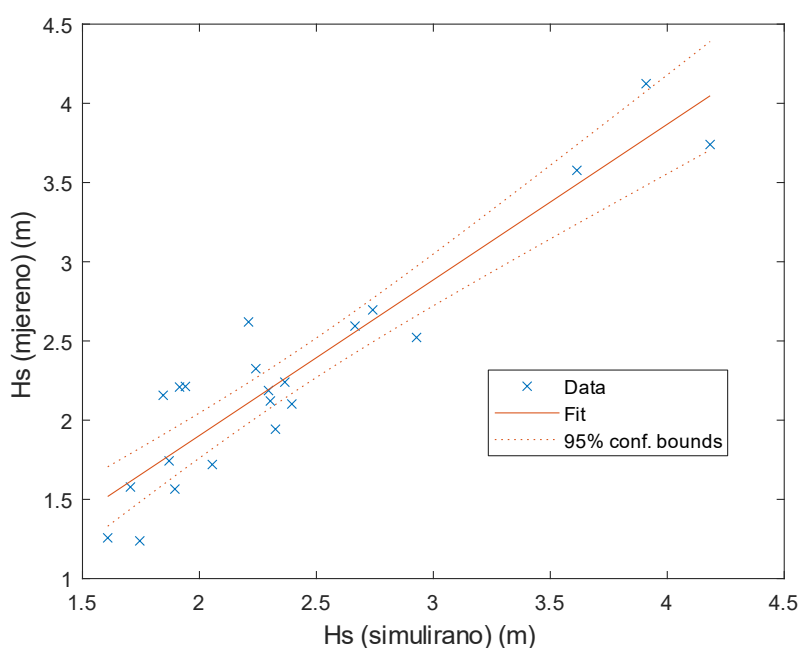


Slika 18 Histogram vremenske nepodudarnosti između olujnih događaja valnih visina MEDSEA

Tablica 10 Vrijednosti parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na **Slika 18**

Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	mu	0.68	[-1.15, 2.51]
2	sigma	4.12	[3.17, 5.89]

Dijagram (Slika 19) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (8) $Y = 0.98 * x - 0.06$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba (0,868) pokazuje da se simulirana visina vala diže sukladno kao izmjerena visina vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,06) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi imala skoro pa istu osnovnu vrijednost.

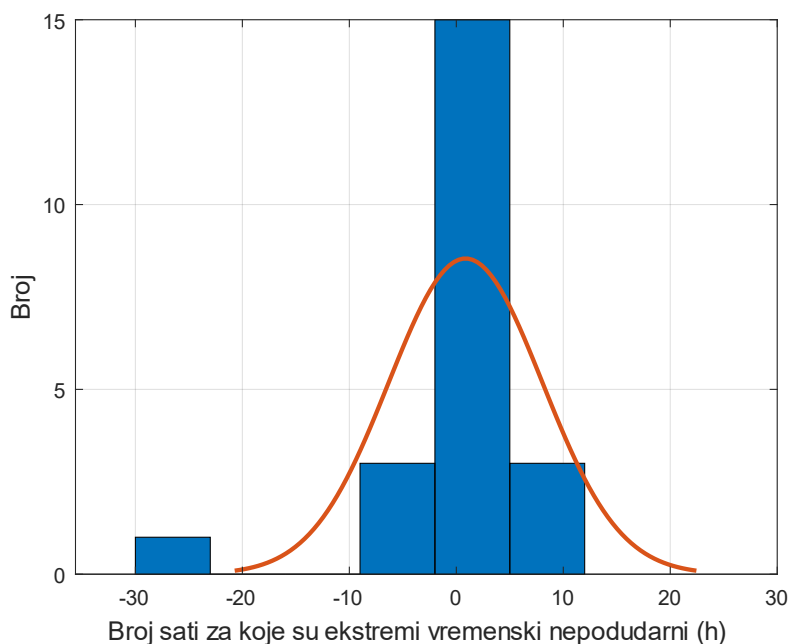


Slika 19 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za olujne događaje MEDSEA

$$H_{s,mj} = 0.98 \cdot H_{s,sim} - 0.06 \quad (8)$$

3.1.3.2 Usporedba između COEXMED i mjernih podataka

Histogram (Slika 20) prikazuje vremenske razlike između ekstremne visine vala olujnih događaja. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje nepodudaranje u stupcu od 0 sati, što znači da se simulirani podaci uglavnom podudaraju sa stvarno izmjerenim događajima. Histogram ističe da većina simuliranih ekstremnih događaja nema velike razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima. Prema podacima, razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova u ovom mjerenju prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je 0.86 h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 0.86 h kasne u odnosu na izmjerene vrijednosti. Iznos standardne devijacije (σ) od 7.19 sati znači da ne postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti [-2.33, 4.05] znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je oko 6 sati, a također relativno malu raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju [5.53, 10.28] (Tablica 11).



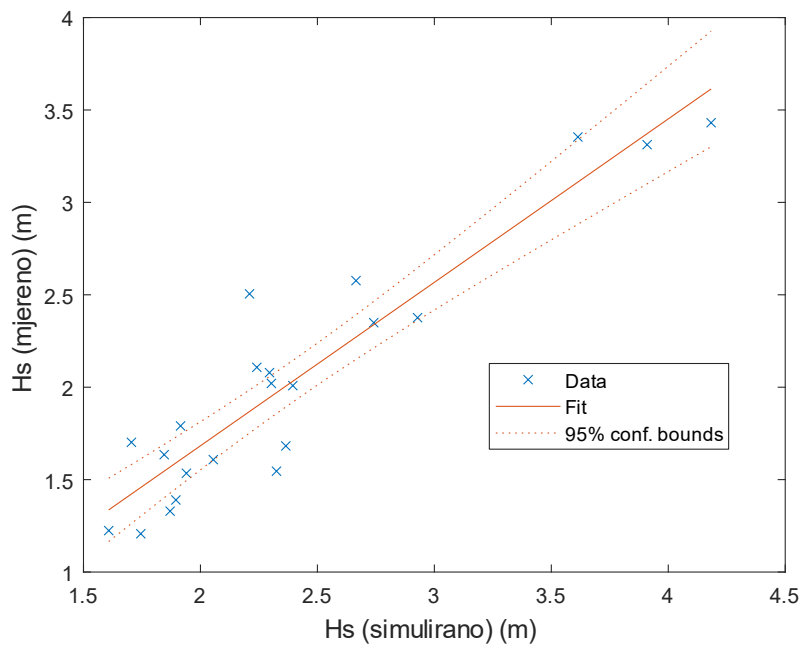
Slika 20 Histogram vremenske nepodudarnosti između olujnih događaja valnih visina

Tablica 11 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na **Slika 20**

Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	mu	0.86	[-2.33, 4.05]
2	sigma	7.19	[5.53, 10.28]

Dijagram (Slika 21) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (9) $Y = 0.98 * x - 0.06$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba (0,868) pokazuje da se simulirana visina vala diže sukladno kao izmjerena visina vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak

(0,06) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi imala skoro pa istu osnovnu vrijednost.



Slika 21 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za olujne događaje COEXMED

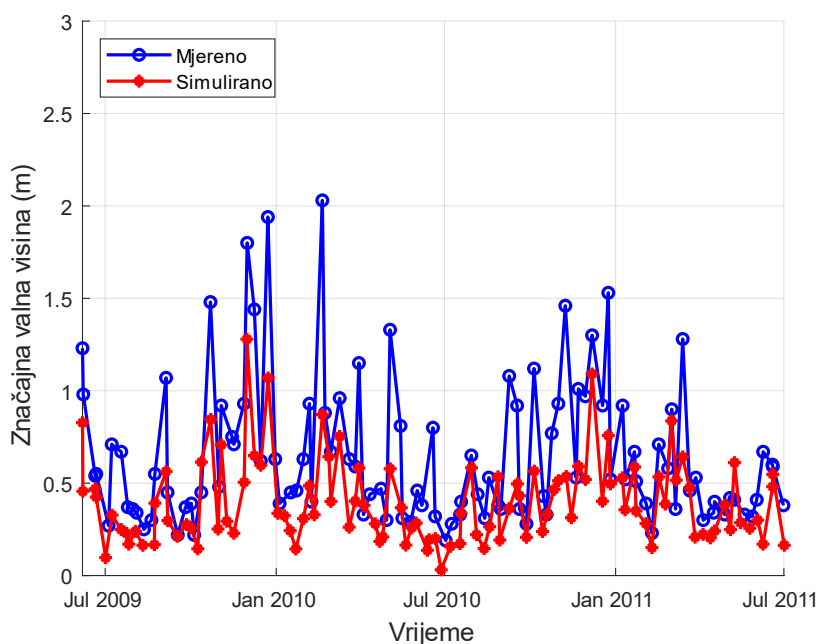
$$H_{s,mj} = 0.88 \cdot H_{s,sim} - 0.085 \quad (9)$$

3.2 Rijeka

3.2.1 Tjedni maksimumi

3.2.1.1 Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka

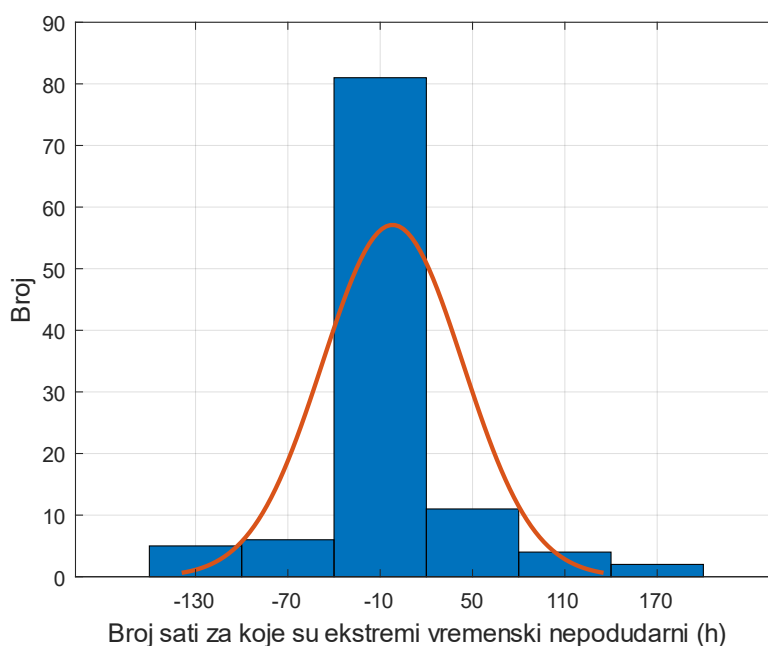
Dijagram (Slika 22) prikazuje usporedbu značajnih valnih visina (u metrima) u razdoblju od srpnja 2009 do srpnja 2011. godine, pri čemu su plavom bojom predstavljeni mjereni podaci, a crvenom simulirani podaci. Na osi **y** prikazana je značajna valna visina, koja varira između 0 i 3 metara, dok os **x** prikazuje vrijeme u mjesečnim intervalima tijekom 2 godine. Simulirani podaci (crvena linija) loše prate mjerenja (plava linija) tijekom cijelog razdoblja. Mjereni podaci su redovito podcijenjeni numeričkim modelom.



Slika 22 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (MEDSEA) tjednih maksimuma u periodu mjerenja

Histogram (Slika 23) prikazuje vremenske razlike između događaja ekstremne visine vala. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje uranjivanje od oko -10 sati, što znači da simulirani podaci urane za stvarno izmjerenim događajima u prosjeku za 10 sati. Osim toga, postoje neke ekstremne razlike, s manjim brojem događaja koji pokazuju odgode ili vremenske odmake do -130 ili +170 sati. Histogram jasno ističe da većina simuliranih ekstremnih događaja ima relativno male razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima, uglavnom kašnjenje od 10 sati. Prema podacima, razlika između

simuliranih i izmjerenih visina valova prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je -1.92 h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 2 h uranjuju u odnosu na izmjerene vrijednosti. Iznos standardne devijacije (σ) od 45.69 sati znači da postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti [-10.59, 6.75] znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je između -11 i 7 sati, a relativno veliku raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju [40.32, 52.71] (Tablica 12).



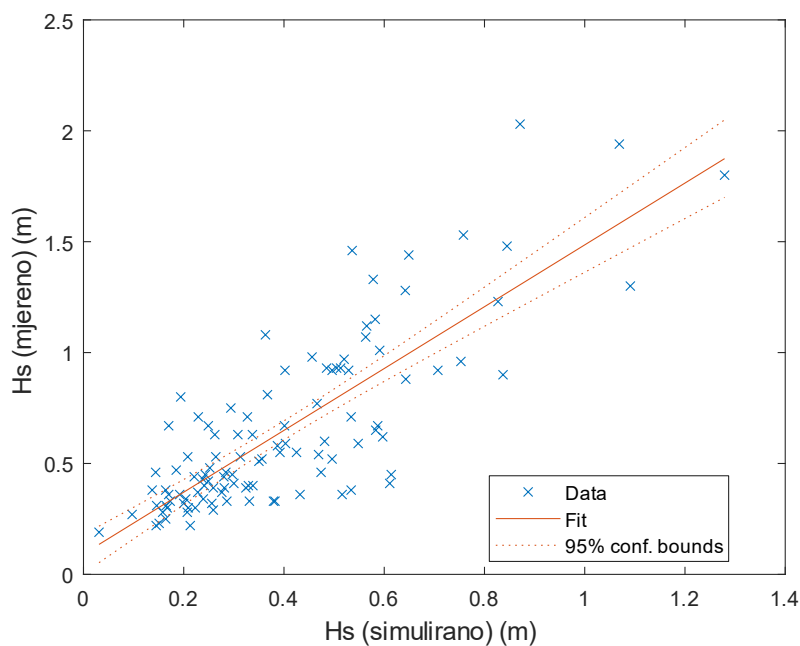
Slika 23 Histogram vremenske nepodudarnosti između tjednih ekstremnih događaja valnih visina MEDSEA

Tablica 12 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na **Slika 23**

Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	μ	-1.92	[-10.59, 6.75]
2	σ	45.69	[40.32, 52.71]

Dijagram (Slika 24) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje

pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (10) $Y = 1,39 \cdot x + 0,092$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba (1.39) pokazuje da se simulirana visina vala diže sporije od izmjerene visine vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,194) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi imala malu osnovnu vrijednost. $R^2 = 0,659$; koeficijent pokazuje da se 65.9% varijabilnosti izmjerenih visina valova može objasniti simuliranim podacima. R^2 blizu 1 ukazuje na dobro slaganje između simulacija i mjerenja, što u ovim mjerenjima nije slučaj, dok preostalih 36.1% varijabilnosti može biti posljedica netočnosti modela, pogrešaka mjerenja ili nepredviđenih čimbenika okoline.

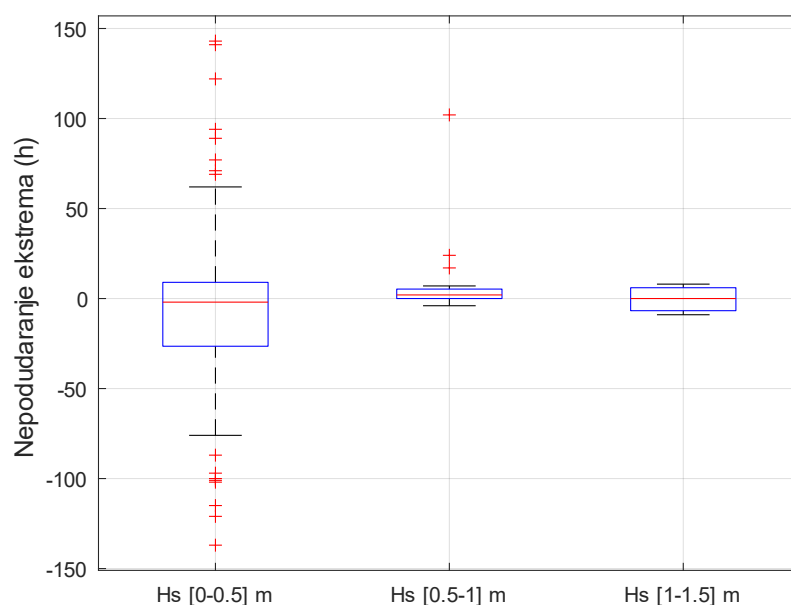


Slika 24 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za tjedne ekstreme MEDSEA

$$H_{s,mj} = 1.39 \cdot H_{s,sim} + 0.092 \quad (10)$$

Na boxplot dijagramu (Slika 25) koji istražuje vremenska nepodudaranja ekstrema za različite kategorije značajnih visina valova (H_s) uočili smo podatke koji su dodatno potkrijepljeni u (Tablica 13) koja prikazuje broj mjerenja, srednje vrijednosti nepodudaranja i standardne devijacije za svaku kategoriju. Kategorije H_s grupirane su u četiri grupe: H_s [0-0.5] m, H_s [0.5-

1] m, H_s [1-1.5] m. Kategorija H_s [0-0.5] m obuhvaća valove visine 0 do 0.5 metra. Zabilježeno je 77 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od -5.12 sati i visokom standardnom devijacijom od 52.83 sata, što ukazuje na velika odstupanja u ekstrema. Boxplot pokazuje širok raspon vrijednosti s mnogim "outlierima", što sugerira raspršenost podataka. Kategorija H_s [0.5-1] m uključuje 29 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od 6.41 sati i standardnom devijacijom od 19.25 sati, što ukazuje na smanjenje odstupanja u odnosu na manju kategoriju. Iako su prisutni "outlieri", modeli za ovu kategoriju pokazuju manju raspršenost. Kategorija H_s [1-1.5] m, s 3 mjerenja, ima prosječno nepodudaranje od -0.33 sati i značajno nižu standardnu devijaciju od 8.5 sata. Boxplot prikazuje manji raspon odstupanja i manji broj "outliera", što ukazuje na manju raspršenost predviđanja. Veći valovi pokazuju stabilnija i preciznija predviđanja, dok manji valovi izazivaju veća odstupanja zbog složenosti i fluktuacija. Standardna devijacija opada s porastom visine valova, što potvrđuje veću stabilnost modela za veće valove.



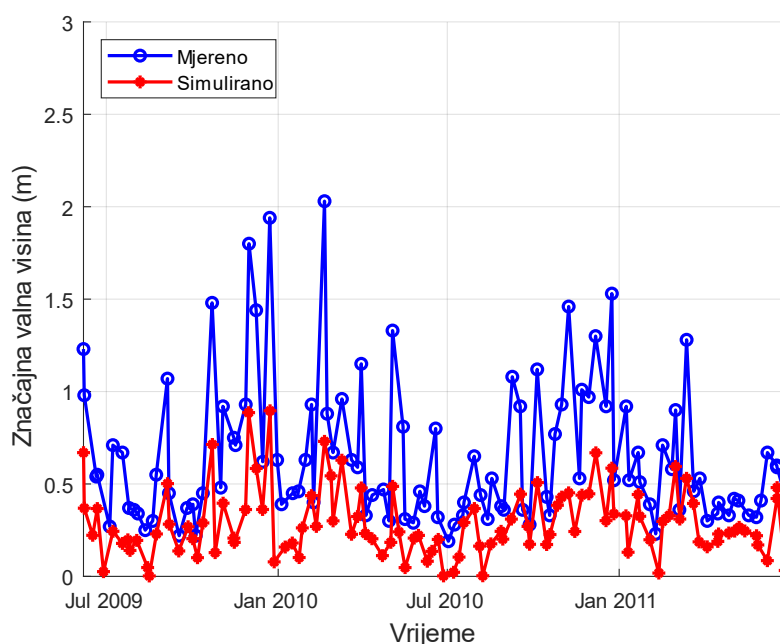
Slika 25 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja tjednih ekstrema valnih visina MEDSEA

Tablica 13 Kategorije mjerenja vremenskog nepodudaranja ekstrema

Kategorija	Broj mjerenja	Prosječno nepodudaranje	Standardna devijacija
0-0.5	77	-5.12	52.83
0.5-1	29	6.41	19.25
1-1.5	3	-0.33	8.5

3.2.1.2 Usporedba između COEXMED i mjernih podataka

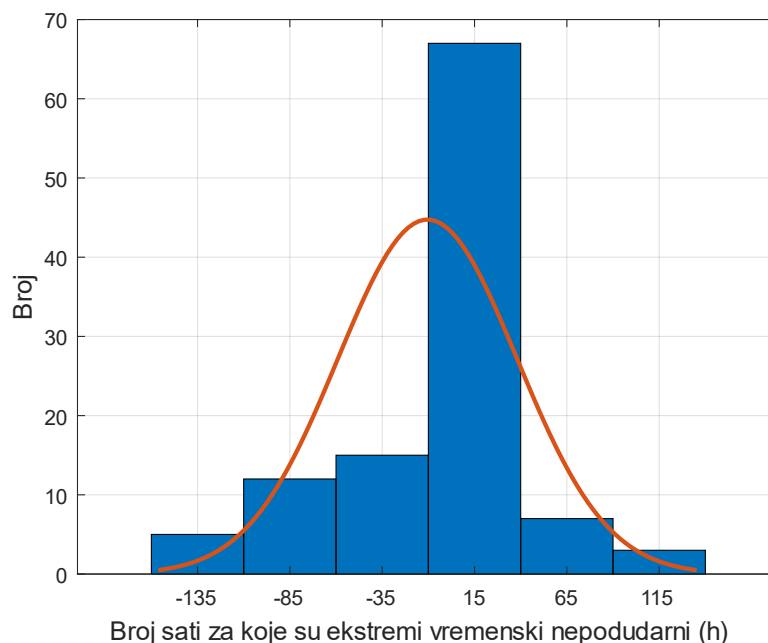
Dijagram (Slika 26) prikazuje usporedbu značajnih valnih visina (u metrima) u razdoblju od srpnja 2009 do srpnja 2011. godine, pri čemu su plavom bojom predstavljeni mjereni podaci, a crvenom simulirani podaci. Na osi y prikazana je značajna valna visina, koja varira između 0 i 3 metara, dok os x prikazuje vrijeme u mjesečnim intervalima tijekom 2 godine. Simulirani podaci (crvena linija) loše prate mjerenja (plava linija) tijekom cijelog razdoblja. Mjereni podaci su općenito značajno podcijenjeni u odnosu na mjerene podatke.



Slika 26 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (COEXMED) tjednih maksimuma u periodu mjerenja

Histogram (Slika 27) prikazuje vremenske razlike između događaja ekstremne visine vala. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje kašnjenje od oko 15 sati, što znači da simulirani podaci kasne za stvarno izmjerenim događajima u prosjeku za 15 sati. Osim toga, postoje neke ekstremne razlike, s manjim brojem događaja koji pokazuju odgode ili vremenske odmake do -135 ili +115 sati. Prema podacima, razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je -10.48h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 10 h uranjuju u odnosu na izmjerene vrijednosti. Iznos standardne devijacije (σ) od 48.59 sati znači da postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti [-19.70, -1.25] znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je

između -20 i 1 sat, a relativno veliku raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju [42.88, 56.06] (Tablica 14).



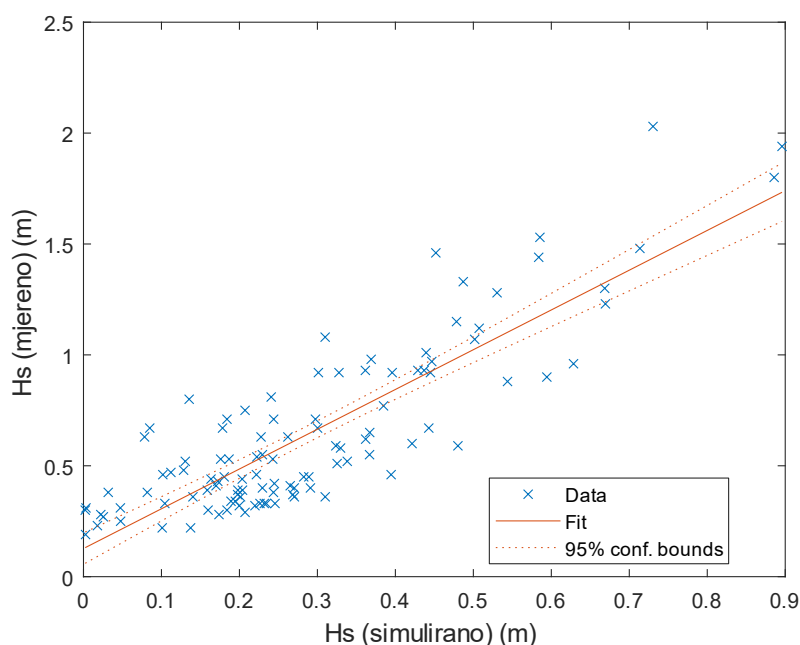
Slika 27 Histogram vremenske nepodudarnosti između tjednih ekstremnih događaja valnih visina COEXMED

Tablica 14 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 27

Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	mu	-10.48	[-19.70, -1.25]
2	sigma	48.59	[42.88, 56.06]

Dijagram (Slika 28) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (11) $Y = 1,79 * x + 0.127$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih

(y) visina valova. Koeficijent nagiba (1.79) pokazuje da se simulirana visina vala sporije brže od izmjerene visine vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,127) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi imala malu osnovnu vrijednost. $R^2 = 0,733$; koeficijent pokazuje da se 73.3% varijabilnosti izmjerenih visina valova može objasniti simuliranim podacima. R^2 blizu 1 ukazuje na dobro slaganje između simulacija i mjerenja, što u ovim mjerenjima nije slučaj, dok preostalih 26.7% varijabilnosti može biti posljedica netočnosti modela, pogrešaka mjerenja ili nepredviđenih čimbenika okoline.

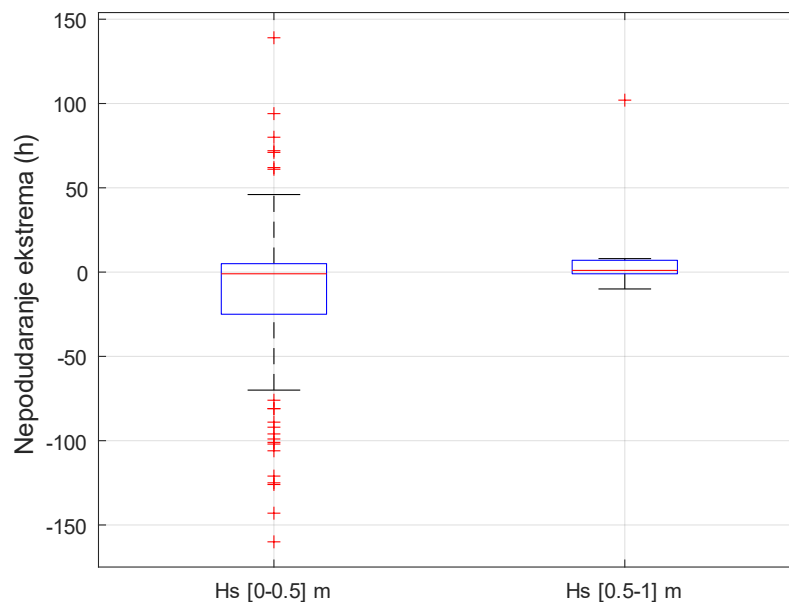


Slika 28 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za tjedne ekstreme COEXMED

$$H_{s,mj} = 1.79 \cdot H_{s,sim} + 0.127 \quad (11)$$

Na boxplot dijagramu (Slika 29) koji istražuje vremenska nepodudaranja ekstrema za različite kategorije značajnih visina valova (H_s) uočili smo podatke koji su dodatno potkrijepljeni u (Tablica 15) koja prikazuje broj mjerenja, srednje vrijednosti nepodudaranja i standardne devijacije za svaku kategoriju. Kategorije H_s grupirane su u četiri grupe: H_s [0-0.5] m, H_s [0.5-1] m. Kategorija H_s [0-0.5] m obuhvaća valove visine 0 do 0.5 metra. Zabilježeno je 95 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od -13.31 sati i visokom standardnom devijacijom od 50.46 sata, što ukazuje na velika odstupanja u ekstrema. Boxplot pokazuje širok raspon vrijednosti s mnogim "outlierima", što sugerira raspršenost podataka. Kategorija H_s [0.5-1] m uključuje 14 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od 8.71 sati i standardnom devijacijom od 27.26 sati, što ukazuje na smanjenje odstupanja u odnosu na manju kategoriju. Iako su prisutni "outlieri", modeli za ovu kategoriju pokazuju manju raspršenost. Veći valovi pokazuju stabilnija i preciznija predviđanja, dok manji valovi izazivaju veća odstupanja zbog složenosti i fluktuacija.

Standardna devijacija opada s porastom visine valova, što potvrđuje veću stabilnost modela za veće valove.



Slika 29 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja tjednih ekstrema valnih visina COEXMED

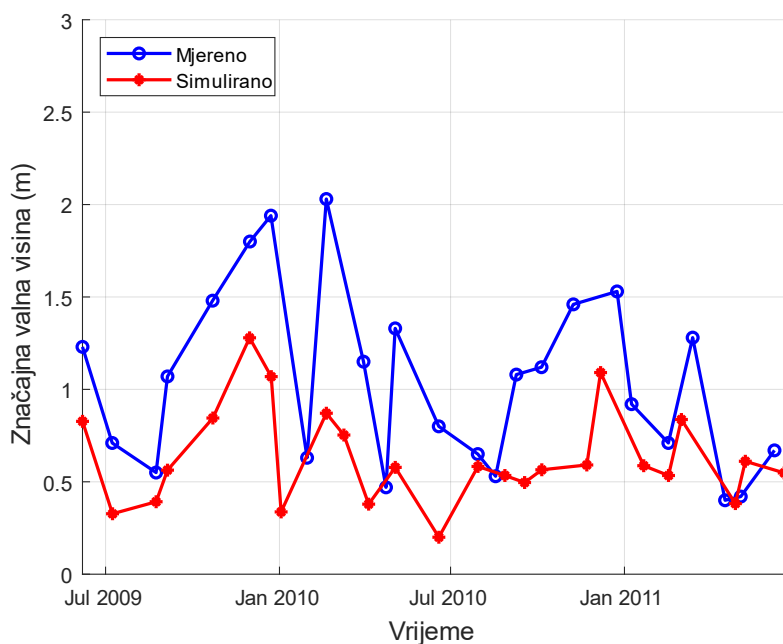
Tablica 15 Kategorije mjerenja vremenskog nepodudaranja ekstrema

Kategorija	Broj mjerenja	Prosječno nepodudaranje	Standardna devijacija
0-0.5	77	-5.12	52.83
0.5-1	29	6.41	19.25

3.2.2 Mjesečni maksimum

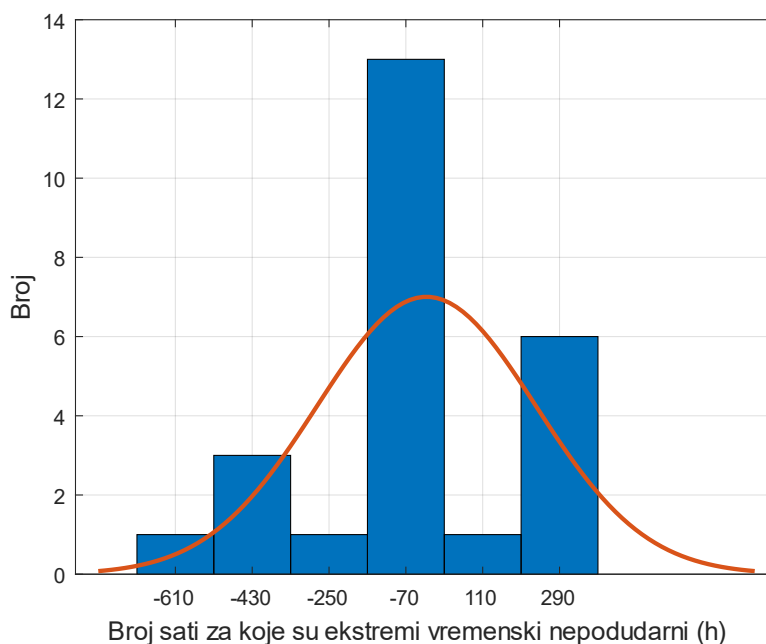
3.2.2.1 Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka

Dijagram (Slika 30) prikazuje usporedbu značajnih valnih visina (u metrima) u razdoblju od srpnja 2009 do srpnja 2011. godine, pri čemu su plavom bojom predstavljeni mjereni podaci, a crvenom simulirani podaci. Na osi **y** prikazana je značajna valna visina, koja varira između 0 i 3 metara, dok os **x** prikazuje vrijeme u mjesečnim intervalima tijekom 2 godine. Simulirani podaci (crvena linija) loše prate mjerenja (plava linija) tijekom cijelog razdoblja. Simulirani podaci su općenito puno niži nego mjereni.



Slika 30 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (MEDSEA) mjesečni maksimuma u periodu mjerenja

Histogram (Slika 31) prikazuje vremenske razlike između događaja ekstremne visine vala. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje uranjivanje od oko 70 sati, što znači da simulirani podaci uranjuju za stvarno izmjerenim događajima u prosjeku za 70 sati. Osim toga, postoje neke ekstremne razlike, s manjim brojem događaja koji pokazuju odgode ili vremenske odmake do -610 ili +290 sati. Histogram jasno ističe da većina simuliranih ekstremnih događaja ima relativno velike razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima, uglavnom uranjivanje od 70 sati. Prema podacima, razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je -21.68h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 22 h uranjuju u odnosu na izmjerene vrijednosti. Iznos standardne devijacije (σ) od 256.31 sati znači da postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti [-127.48, 84.12] znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je između -127.48 i 84 sata, a relativno veliku raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju [200.13, 356.56] (Tablica 16).



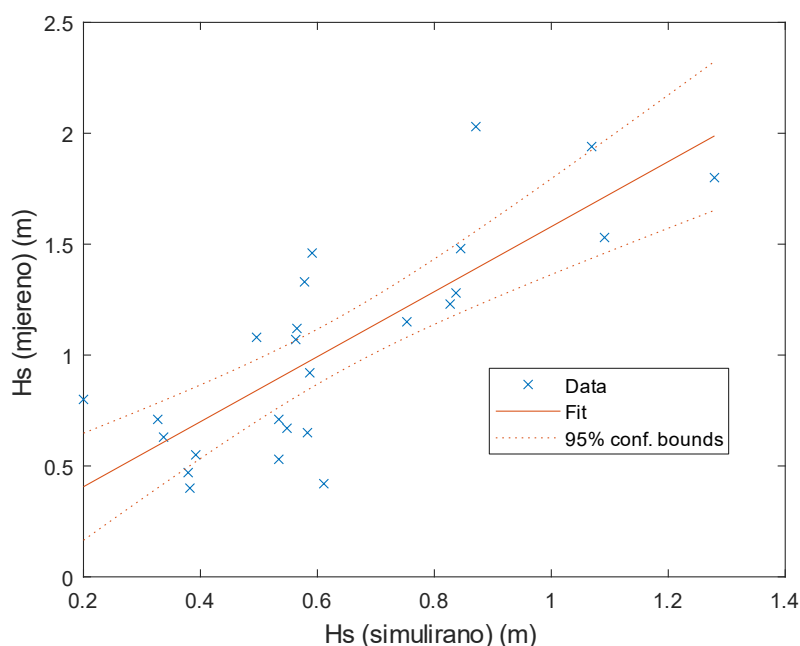
Slika 31 Histogram vremenske nepodudarnosti između mjesečnih ekstremnih događaja valnih visina MEDSEA

Tablica 16 Vrijednosti parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na **Slika 31**

Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	mu	-21.68	[-127.48, 84.12]
2	sigma	256.308	[200.13, 356.56]

Dijagram (Slika 32) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (12) $Y = 1,47 * x + 0,113$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba (1.47) pokazuje da se simulirana visina vala diže sporije od izmjerene visine vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,113) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi imala malu

osnovnu vrijednost. $R^2 = 0,633$; koeficijent pokazuje da se 63.3% varijabilnosti izmjerenih visina valova može objasniti simuliranim podacima. R^2 blizu 1 ukazuje na dobro slaganje između simulacija i mjerenja, što u ovim mjerenjima nije slučaj, dok preostalih 36.7% varijabilnosti može biti posljedica netočnosti modela, pogrešaka mjerenja ili nepredviđenih čimbenika okoline.

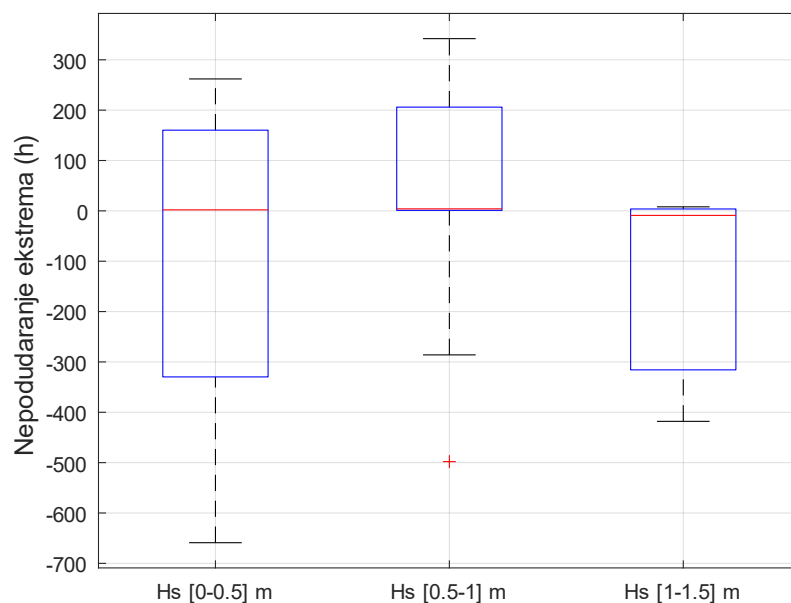


Slika 32 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za mjesečne ekstreme MEDSEA

$$H_{s,mj} = 1.47 \cdot H_{s,sim} + 0.113 \quad (12)$$

Na boxplot dijagramu (Slika 33) koji istražuje vremenska nepodudaranja ekstrema za različite kategorije značajnih visina valova (H_s) uočili smo podatke koji su dodatno potkrijepljeni u (Tablica 7) koja prikazuje broj mjerenja, srednje vrijednosti nepodudaranja i standardne devijacije za svaku kategoriju. Kategorije H_s grupirane su u četiri grupe: H_s [0-0.5] m, H_s [0.5-1] m, H_s [1-1.5] m. Kategorija H_s [0-0.5] m obuhvaća valove visine 0 do 0.5 metra. Zabilježeno je 7 mjerenja s visokim prosječnim nepodudaranjem od -87.86 sati i visokom standardnom devijacijom od 338.39 sata, što ukazuje na velika odstupanja u ekstrema. Boxplot pokazuje širok raspon vrijednosti s mnogim "outlierima", što sugerira raspršenost podataka. Kategorija H_s [0.5-1] m uključuje 15 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od 32.8 sati i standardnom devijacijom od 216.51 sati, što ukazuje na smanjenje odstupanja u odnosu na manju kategoriju. Iako su prisutni "outlieri", modeli za ovu kategoriju pokazuju manju raspršenost. Kategorija H_s [1-1.5] m, s 3 mjerenja, ima prosječno nepodudaranje od -139.67 sati i značajno

višu standardnu devijaciju od 241.19 sata. Boxplot prikazuje veći raspon odstupanja i veći broj "outliera", što u dosadašnjim slučajevima za najvišu kategoriju valnih visina nije bio slučaj. Veći valovi su do sad pokazivali stabilnija i preciznija predviđanja, no u ovom mjerenju se taj trend ne nastavlja.



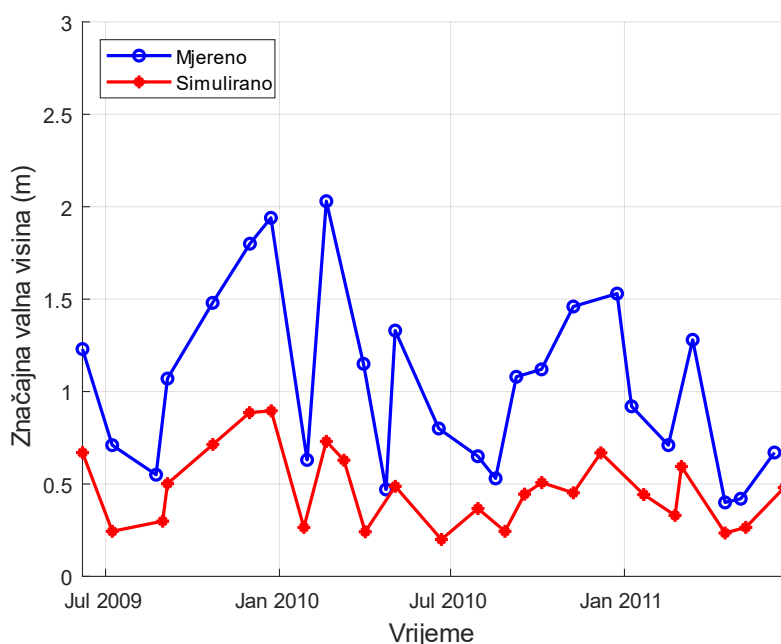
Slika 33 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja mjesečnih ekstrema valnih visina MEDSEA

Tablica 17 Kategorije mjerenja vremenskog nepodudaranja ekstrema

Kategorija	Broj mjerenja	Prosječno nepodudaranje	Standardna devijacija
0-0.5	7	-87.86	338.39
0.5-1	15	32.8	216.51
1-1.5	3	-139.67	241.19

3.2.2.2 Usporedba između COEXMED i mjernih podataka

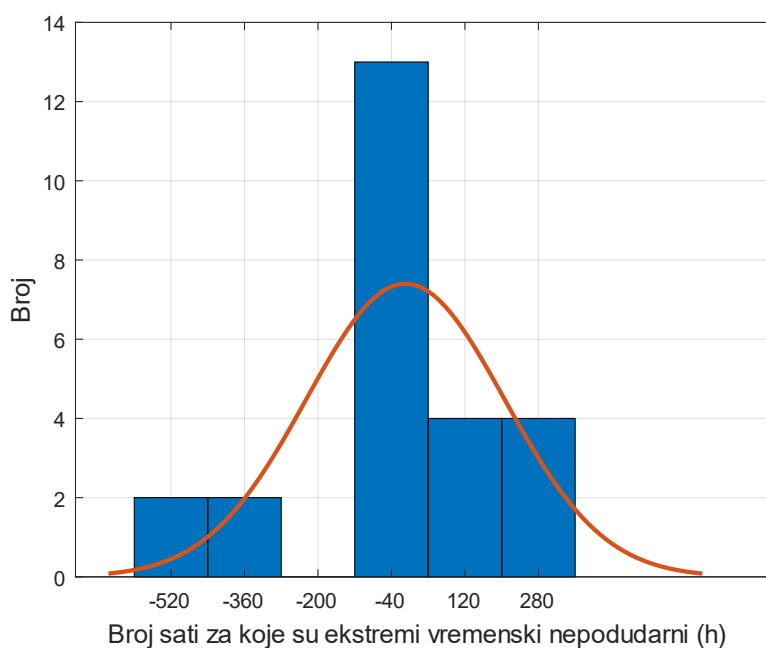
Dijagram (Slika 34) prikazuje usporedbu značajnih valnih visina (u metrima) u razdoblju od srpnja 2009 do srpnja 2011. godine, pri čemu su plavom bojom predstavljeni mjereni podaci, a crvenom simulirani podaci. Na osi *y* prikazana je značajna valna visina, koja varira između 0 i 3 metara, dok os *x* prikazuje vrijeme u mjesečnim intervalima tijekom 2 godine. Simulirani podaci (crvena linija) loše prate mjerenja (plava linija) tijekom cijelog razdoblja. Općenito su mjereni podaci podcijenjeni od strane numeričkog modela valovanja.



Slika 34 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (COEXMED) mjesečnih maksimuma u periodu mjerenja

Histogram (Slika 35) prikazuje vremenske razlike između događaja ekstremne visine vala. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje uranjanje od oko 40 sati, što znači da simulirani podaci uranjuju za stvarno izmjerenim događajima u prosjeku za 40 sati. Osim toga, postoje neke ekstremne razlike, s manjim brojem događaja koji pokazuju odgode ili vremenske odmake do -520 ili +280 sati. Histogram jasno ističe da većina simuliranih ekstremnih događaja ima relativno velike razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima, uglavnom uranjanje od 40 sati. Prema podacima, razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je -9.68h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 10 h uranjuju u odnosu na izmjerene

vrijednosti. Iznos standardne devijacije (σ) od 215.57 sati znači da postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti $[-98.66, 79.30]$ znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je između -99 i 79 sata, a relativno veliku raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju $[168.32, 289.99]$ (Tablica 18).



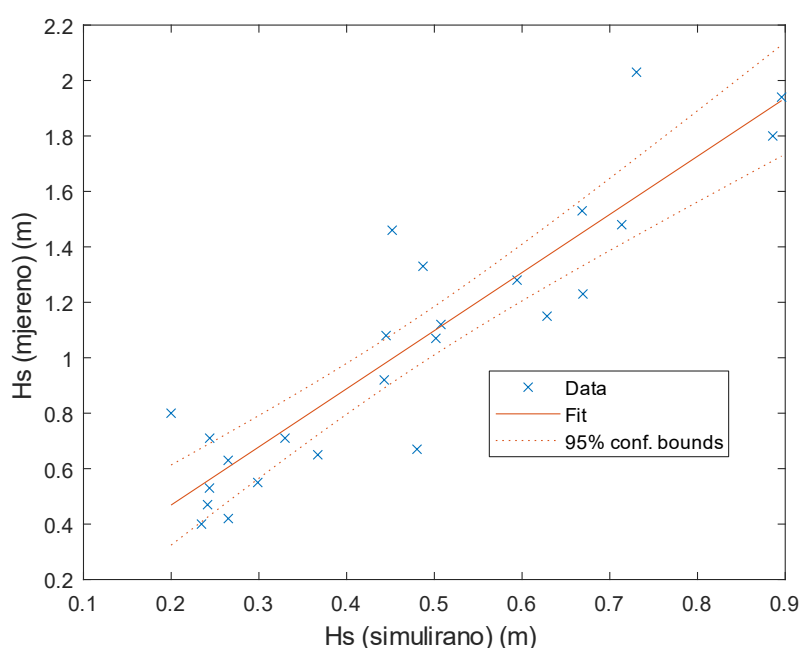
Slika 35 Histogram vremenske nepodudarnosti između mjesečnih ekstremnih događaja valnih visina COEXMED

Tablica 18 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na **Slika 35**

Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	mu	-9.68	$[-98.66, 79.30]$
2	sigma	215.57	$[168.32, 299.89]$

Dijagram (Slika 36) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno

na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (13) $Y = 2.1 \cdot x + 0.005$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba (2.1) pokazuje da se simulirana visina vala sporije od izmjerene visine vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,005) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi imala malu osnovnu vrijednost. $R^2 = 0,818$; koeficijent pokazuje da se 81.8% varijabilnosti izmjerenih visina valova može objasniti simuliranim podacima. R^2 blizu 1 ukazuje na dobro slaganje između simulacija i mjerenja, što u ovim mjerenjima nije slučaj, dok preostalih 18.2% varijabilnosti može biti posljedica netočnosti modela, pogrešaka mjerenja ili nepredviđenih čimbenika okoline.

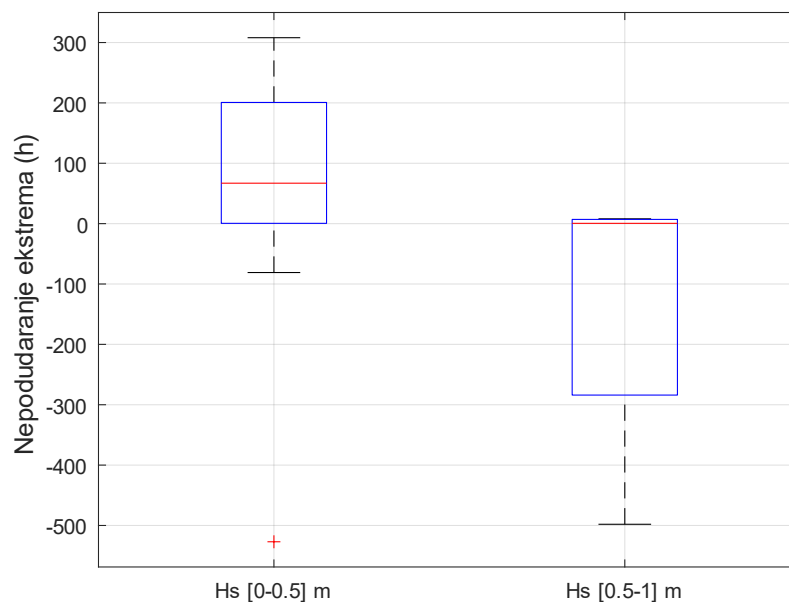


Slika 36 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za mjesečne ekstreme COEXMED

$$H_{s,mj} = 2.1 \cdot H_{s,sim} + 0.005 \quad (13)$$

Na boxplot dijagramu (Slika 37) koji istražuje vremenska nepodudaranja ekstrema za različite kategorije značajnih visina valova (H_s) uočili smo podatke koji su dodatno potkrijepljeni u (Tablica 19) koja prikazuje broj mjerenja, srednje vrijednosti nepodudaranja i standardne devijacije za svaku kategoriju. Kategorije H_s grupirane su u dvije grupe: H_s [0-0.5] m, H_s [0.5-1] m. Kategorija H_s [0-0.5] m obuhvaća valove visine 0 do 0.5 metra. Zabilježeno je 15 mjerenja s visokim prosječnim nepodudaranjem od 62.47 sati i visokom standardnom devijacijom od 200.22 sata, što ukazuje na velika odstupanja u ekstrema. Boxplot pokazuje širok raspon

vrijednosti s mnogim "outlierima", što sugerira raspršenost podataka. Kategorija Hs [0.5-1] m uključuje 10 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od -117.9 sati i standardnom devijacijom od 199.68 sati, što ukazuje na povećanje raspršenosti u odnosu na manju kategoriju.



Slika 37 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja mjesečnih ekstrema valnih visina COEXMED

Tablica 19 Kategorije mjerenja vremenskog nepodudaranja ekstrema

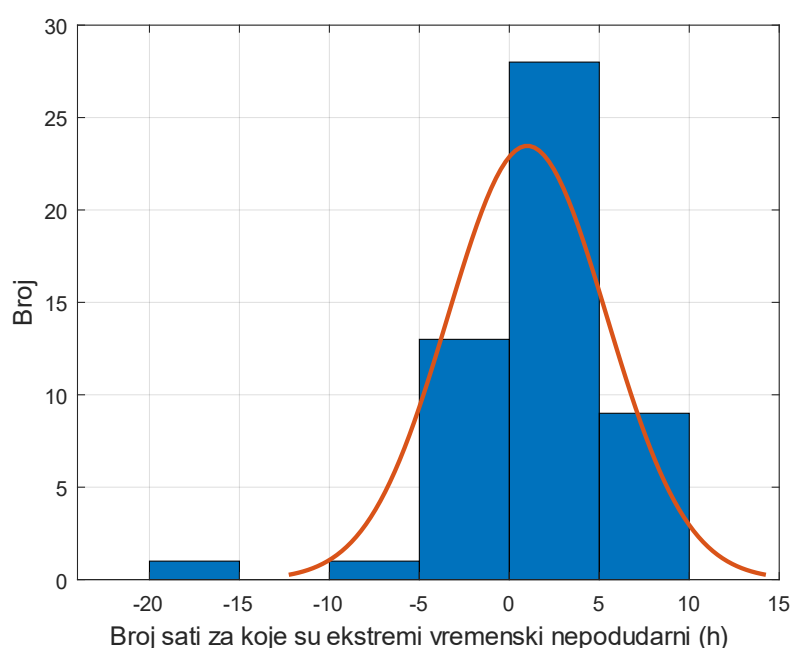
Kategorija	Broj mjerenja	Prosječno nepodudaranje	Standardna devijacija
0-0.5	15	62.47	200.22
0.5-1	10	-117.9	199.68

3.2.3 Olujni događaj

3.2.3.1 Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka

Histogram (Slika 38) prikazuje vremenske razlike između ekstremne visine vala olujnih događaja. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje uranjivanje od između 0 i 5 sati, što znači da simulirani podaci kasne za stvarno izmjerenim događajima u prosjeku za 2.5 sati. Histogram ističe da većina

simuliranih ekstremnih događaja nema relativno velike razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima, uglavnom kašnjenje od 2.5 sati. Prema podacima, razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova u ovom mjeranju prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je 1 h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 1h kasne u odnosu na izmjerene vrijednosti. Iznos standardne devijacije (σ) od 4.42 sati znači da ne postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti [-0.23, 2.23] znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je između 3 sata, a također relativno malu raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju [3.70, 5.48] (Tablica 20).



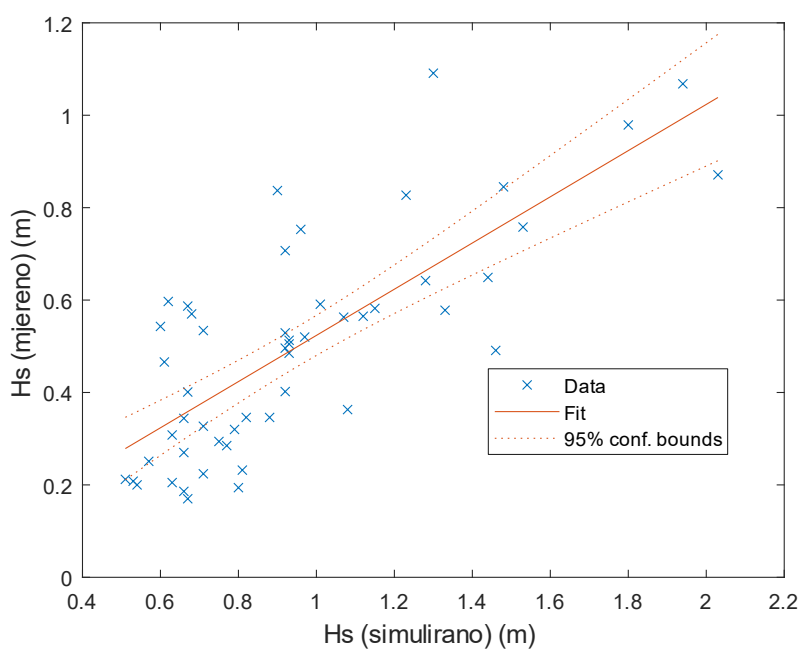
Slika 38 Histogram vremenske nepodudarnosti između olujnih događaja valnih visina MEDSEA

Tablica 20 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na **Slika 38**

Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	μ	1	[-0.23, 2.23]
2	σ	4.42	[3.70, 5.48]

Dijagram (Slika 39) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke,

dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (14) $Y = 2 \cdot x - 0.02$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba pokazuje da se simulirana visina vala diže sporije od izmjerene visine vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,02) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi imala skoro pa istu osnovnu vrijednost. $R^2 = 0,584$; koeficijent pokazuje da se 58.4% varijabilnosti izmjerenih visina valova može objasniti simuliranim podacima. R^2 blizu 1 ukazuje na dobro slaganje između simulacija i mjerenja, što u ovim mjerenjima nije slučaj, dok preostalih 41.6% varijabilnosti može biti posljedica netočnosti modela, pogrešaka mjerenja ili nepredviđenih čimbenika okoline.

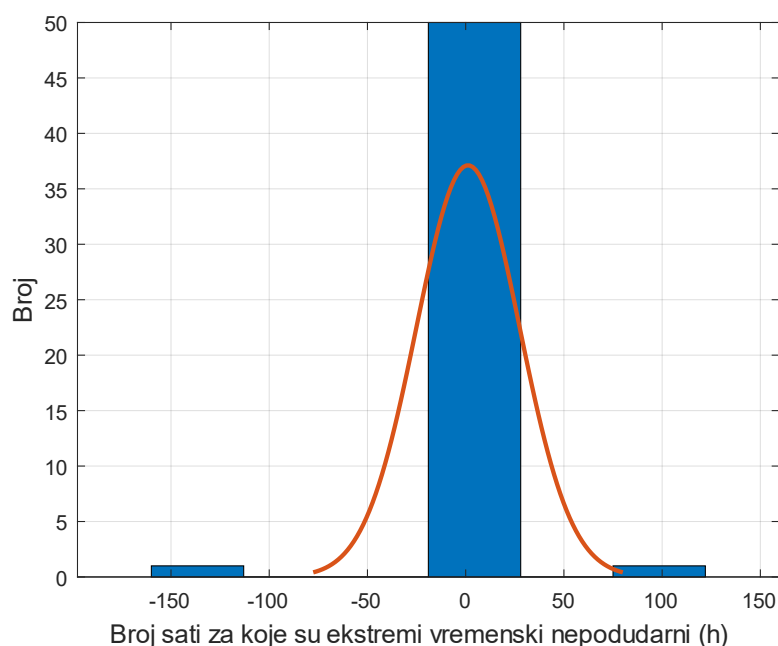


Slika 39 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za olujne događaje MEDSEA

$$H_{s,mj} = 2 \cdot H_{s,sim} - 0.02 \quad (14)$$

3.2.3.2 Usporedba između COEXMED i mjernih podataka

Histogram (Slika 40) prikazuje vremenske razlike između ekstremne visine vala olujnih događaja. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja ne pokazuje nepodudaranje. Histogram ističe da većina simuliranih ekstremnih događaja nema relativno velike razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima. Prema podacima, razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova u ovom mjerenju prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je 1.19 h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 1h kasne u odnosu na izmjerene vrijednosti. Iznos standardne devijacije (σ) od 26.26 sati znači da postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti [-6.11, 8.5] znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je između -6 i 8 sati, a također relativno malu raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju [22.01, 32.57] (Tablica 21).

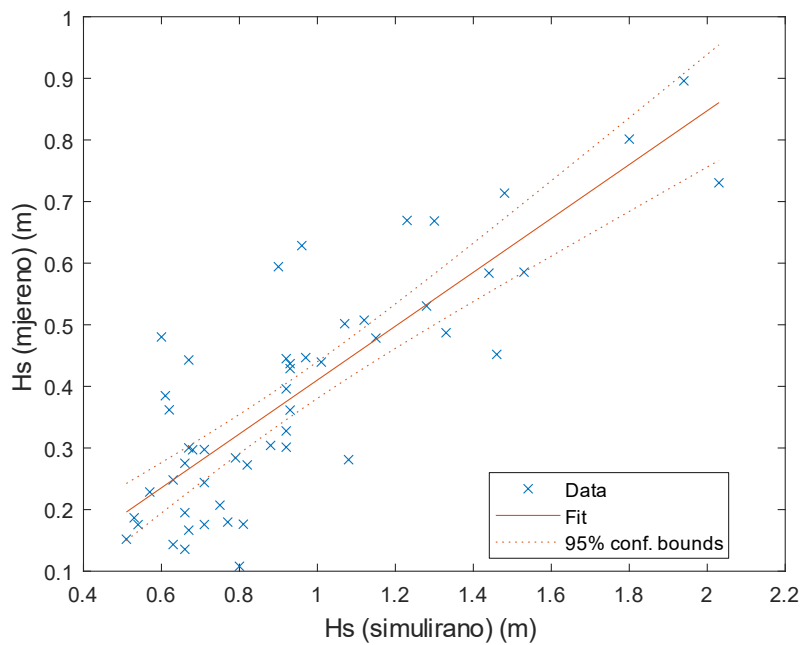


Slika 40 Histogram vremenske nepodudarnosti između olujnih događaja valnih visina COEXMED

Tablica 21 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 40

Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	mu	1.19	[-6.11, 8.5]
2	sigma	26.26	[22.01, 32.57]

Dijagram (Slika 41) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (15) $Y = 2.27 * x - 0.03$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba pokazuje da se simulirana visina vala diže sporije od izmjerene visine vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,03) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi imala skoro pa istu osnovnu vrijednost. $R^2 = 0,696$; koeficijent pokazuje da se 69.6% varijabilnosti izmjerenih visina valova može objasniti simuliranim podacima. R^2 blizu 1 ukazuje na dobro slaganje između simulacija i mjerenja, što u ovim mjerenjima nije u potpunosti slučaj, dok preostalih 30.6% varijabilnosti može biti posljedica netočnosti modela, pogrešaka mjerenja ili nepredviđenih čimbenika okoline.



Slika 41 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za olujne događaje COEXMED

$$H_{s,mj} = 2.27 \cdot H_{s,sim} - 0.03 \quad (15)$$

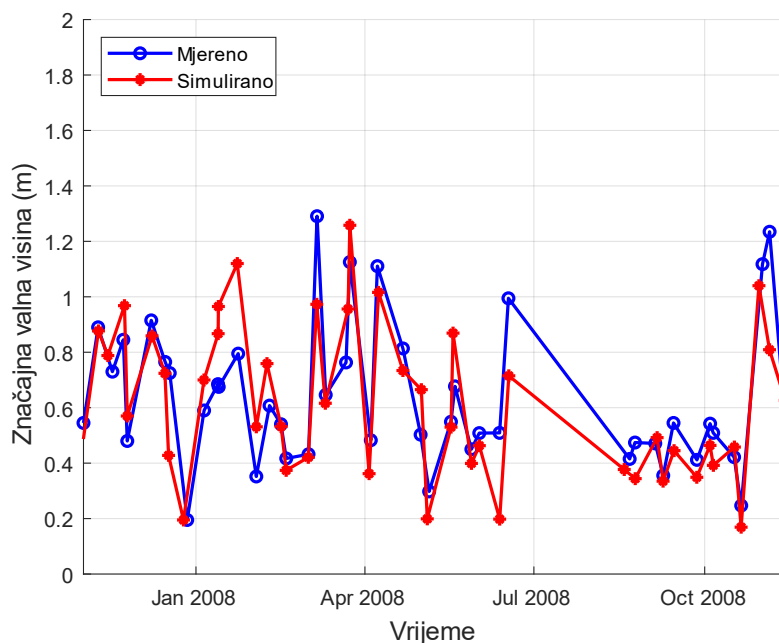
3.3 Split

3.3.1 Tjedni maksimumi

3.3.1.1 Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka

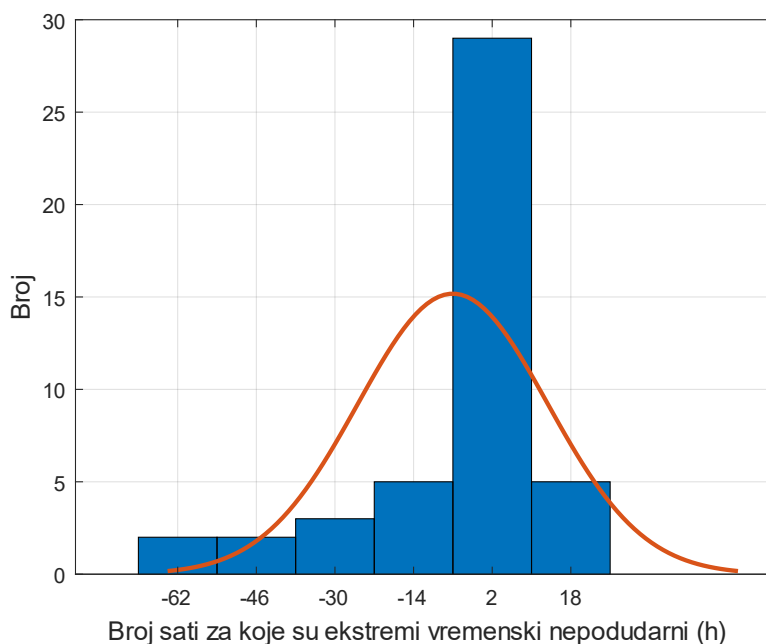
Dijagram (Slika 42) prikazuje usporedbu značajnih valnih visina (u metrima) u razdoblju od studenog 2007. godine do prosinca 2008. godine, pri čemu su plavom bojom predstavljeni mjereni podaci, a crvenom simulirani podaci. Krivulja mjerenih podataka sastoji se od 44 točaka, a krivulja simuliranih podataka sastoji se od 45 točaka. Na osi **y** prikazana je značajna valna visina, koja varira između 0 i 2 metara, dok os **x** prikazuje vrijeme u mjesečnim intervalima tijekom 2008. godine. Simulirani podaci (crvena linija) dobro prate mjerenja (plava linija) tijekom cijelog razdoblja 2008. godine, što ukazuje na visoku razinu vremenske podudarnosti, osobito u smirenijim periodima bez ekstremnih uvjeta. To znači da model učinkovito replicira opći trend značajnih valnih visina, što je važno za dugoročne prognoze i procjene morskih uvjeta. U razdobljima smirenijih vremenskih uvjeta, primjerice u proljeće i rano ljeto (studen-veljača i kolovoz-studen), vremenska podudarnost između simuliranih i mjerenih podataka je vrlo visoka. U tim fazama, simulirane vrijednosti gotovo savršeno prate mjerenja, s minimalnim odstupanjima. Za razliku od prijašnjih mjerenja, i u razdobljima dinamičnijih vremenskih uvjeta, vremenska podudarnost između mjerenih i simuliranih

podataka je također vrlo visoka. To ukazuje na visoku učinkovitost modela u repliciranju uobičajenih morskih uvjeta, gdje su atmosferski čimbenici manje dinamični.



Slika 42 Vremenska serija mjenjenih i simuliranih (MEDSEA) tjednih maksimuma u periodu mjerenja

Histogram (Slika 43) prikazuje vremenske razlike između događaja ekstremne visine vala. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje kašnjenje od oko 2 sata, što znači da simulirani podaci kasne za stvarno izmjerenim događajima u prosjeku za 2 sata. Osim toga, postoje neke ekstremne razlike, s manjim brojem događaja koji pokazuju odgode ili vremenske odmake do -62 ili 18 sati. Histogram jasno ističe da većina simuliranih ekstremnih događaja ima relativno male razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima, uglavnom kašnjenje od 2 sata. Prema podacima, razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova polovično prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je -6.02 h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 6 h uranjuju u odnosu na izmjerene vrijednosti. Iznos standardne devijacije (σ) od 19.35 sati znači da postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti $[-11.77, -0.27]$ znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je između -12 i -0.3 sata, a relativno veliku raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju $[16.05, 24.37]$ (Tablica 22).



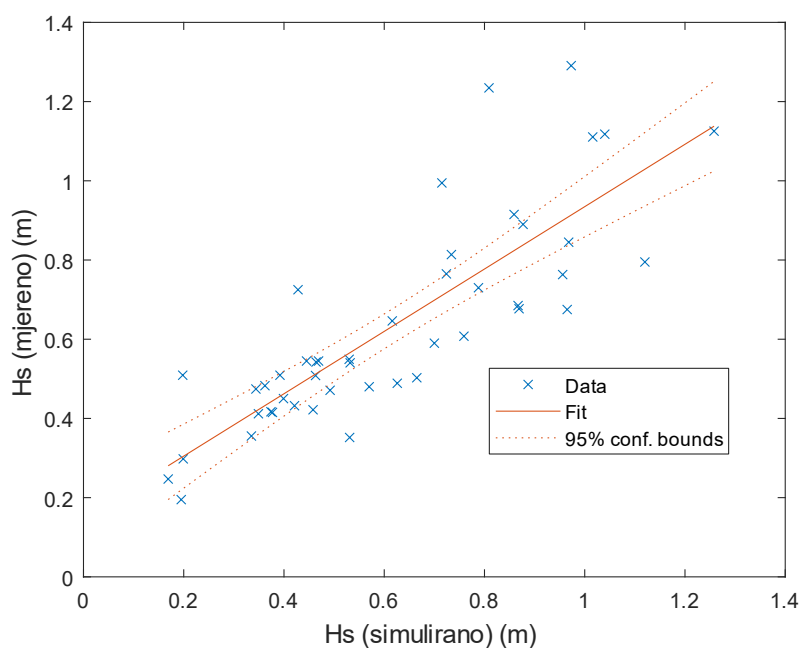
Slika 43 Histogram vremenske nepodudarnosti između tjednih ekstremnih događaja valnih visina MEDSEA

Tablica 22 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na **Slika 43**

Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	mu	-6.02	[-11.77, -0.27]
2	sigma	19.35	[16.05, 24.37]

Dijagram (Slika 44) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (16) $Y = 0.79 * x + 0,15$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba (0.79) pokazuje da se simulirana visina vala diže malo sporije od izmjerene visine vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,15) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi

imala malu osnovnu vrijednost. $R^2 = 0,683$; koeficijent pokazuje da se 68.3% varijabilnosti izmjerenih visina valova može objasniti simuliranim podacima. R^2 blizu 1 ukazuje na dobro slaganje između simulacija i mjerenja, što u ovim mjerenjima nije u potpunosti slučaj, dok preostalih 31.7% varijabilnosti može biti posljedica netočnosti modela, pogrešaka mjerenja ili nepredviđenih čimbenika okoline.

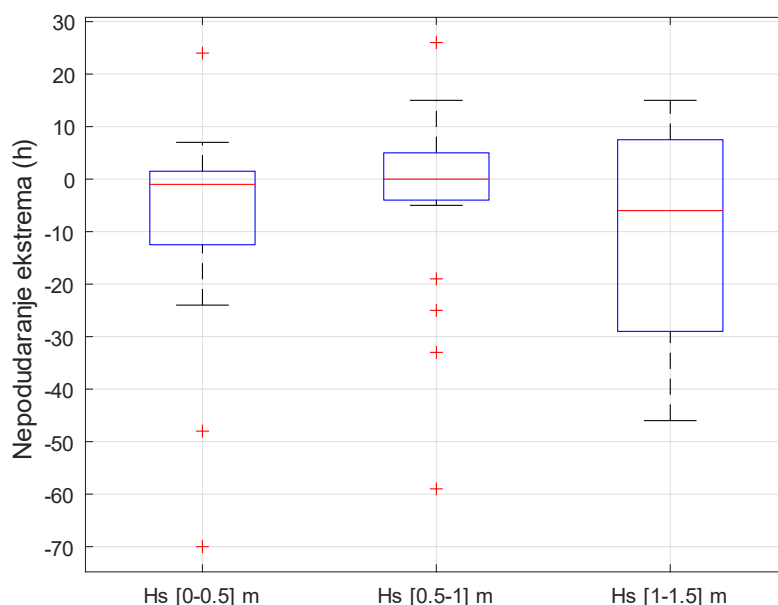


Slika 44 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za tjedne ekstreme MEDSEA

$$H_{s,mj} = 0.79 \cdot H_{s,sim} + 0.15 \quad (16)$$

Na boxplot (Slika 45) dijagramu koji istražuje vremenska nepodudaranja ekstrema za različite kategorije značajnih visina valova (H_s) uočili smo podatke koji su dodatno potkrijepljeni u (Tablica 23) tabelom koja prikazuje broj mjerenja, srednje vrijednosti nepodudaranja i standardne devijacije za svaku kategoriju. Kategorije H_s grupirane su u četiri grupe: H_s [0-0.5] m, H_s [0.5-1] m, H_s [1-1.5] m. Kategorija H_s [0-0.5] m obuhvaća valove visine 0 do 0.5 metra. Zabilježeno je 20 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od -7.8 sati i visokom standardnom devijacijom od 20.58 sati, što ukazuje na velika odstupanja u ekstremima. Boxplot pokazuje širok raspon vrijednosti s mnogim "outlierima", što sugerira raspršenost podataka. Kategorija H_s [0.5-1] m uključuje 22 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od -3.55 sati i standardnom devijacijom od 17.57 sati, što ukazuje na lagano smanjenje raspršenosti u odnosu na manju kategoriju. Iako su prisutni "outlieri", modeli za ovu kategoriju pokazuju u nekoj mjeri manje raspršenost. Kategorija H_s [1-1.5] m, s 4 mjerenja, ima prosječno nepodudaranje od -10.75

sati i višu standardnu devijaciju od 25.97 sata. Boxplot prikazuje veći raspon odstupanja i veći broj "outliera", što ukazuje na veliku raspršenost predviđanja. Manji valovi pokazuju stabilnija i preciznija predviđanja, dok veći valovi izazivaju veća odstupanja. Srednja kategorija (0.5-1) ima najviša podudaranja što do sad nismo imali i to je pokazatelj nestabilnosti ovog modela za ovu lokaciju.



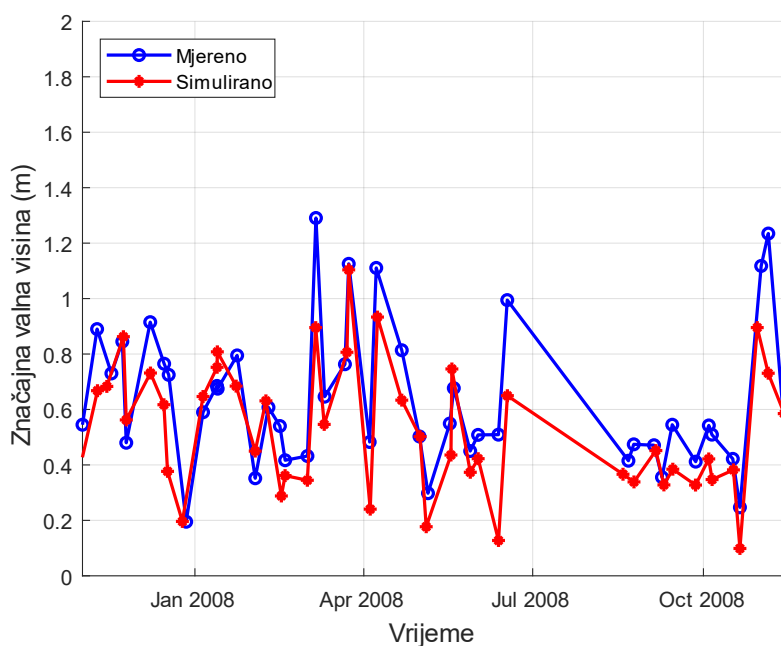
Slika 45 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja tjednih ekstrema valnih visina MEDSEA

Tablica 23 Kategorije mjerenja vremenskog nepodudaranja ekstrema

Kategorija	Broj mjerenja	Prosječno nepodudaranje	Standardna devijacija
0-0.5	20	-7.8	20.58
0.5-1	22	-3.55	17.57
1-1.5	4	-10.75	25.97

3.3.1.2 Usporedba između COEXMED i mjernih podataka

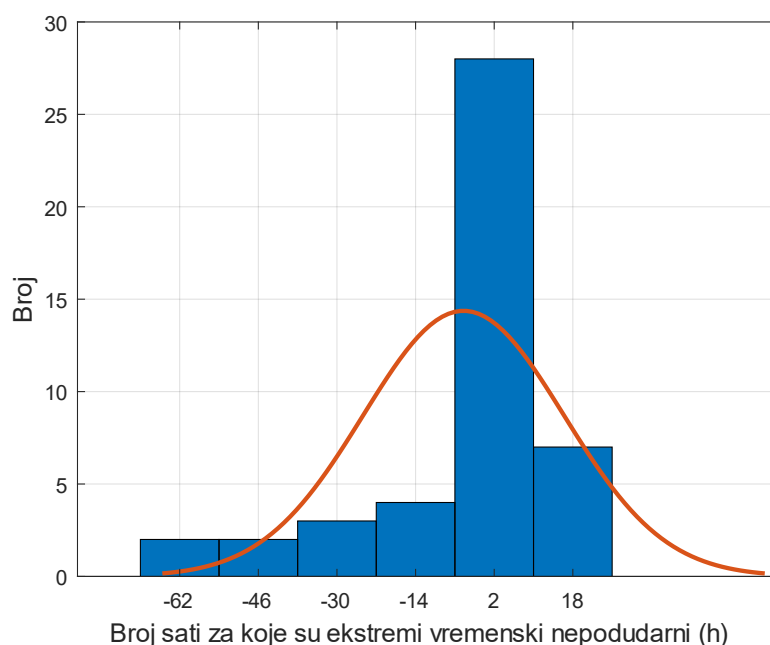
Dijagram (Slika 46) prikazuje usporedbu značajnih valnih visina (u metrima) u razdoblju od studenog 2007. godine do prosinca 2008. godine, pri čemu su plavom bojom predstavljeni mjereni podaci, a crvenom simulirani podaci. Krivulja mjenjenih podataka sastoji se od 44 točaka, a krivulja simuliranih podataka sastoji se od 45 točaka. Na osi **y** prikazana je značajna valna visina, koja varira između 0 i 2 metara, dok os **x** prikazuje vrijeme u mjesečnim intervalima tijekom 2008. godine. Simulirani podaci (crvena linija) dobro prate mjerjenja (plava linija) tijekom cijelog razdoblja 2008. godine, što ukazuje na visoku razinu vremenske podudarnosti, osobito u smirenijim periodima bez ekstremnih uvjeta. To znači da model učinkovito replicira opći trend značajnih valnih visina, što je važno za dugoročne prognoze i procjene morskih uvjeta. U razdobljima smirenijih vremenskih uvjeta, primjerice u proljeće i rano ljeto (studen-veljača i kolovoz-studen), vremenska podudarnost između simuliranih i mjenjenih podataka je vrlo visoka. U tim fazama, simulirane vrijednosti gotovo savršeno prate mjerjenja, s minimalnim odstupanjima. Za razliku od prijašnjih mjenjenja, i u razdobljima dinamičnijih vremenskih uvjeta, vremenska podudarnost između mjenjenih i simuliranih podataka je također vrlo visoka. To ukazuje na visoku učinkovitost modela u repliciranju uobičajenih morskih uvjeta, gdje su atmosferski čimbenici manje dinamični.



Slika 46 Vremenska serija mjenjenih i simuliranih (COEXMED) tjednih maksimuma u periodu mjenjenja

Histogram (Slika 47) prikazuje vremenske razlike između događaja ekstremne visine vala. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih

visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje kašnjenje od oko 2 sata, što znači da simulirani podaci kasne za stvarno izmjerenim događajima u prosjeku za 2 sata. Osim toga, postoje neke ekstremne razlike, s manjim brojem događaja koji pokazuju odgode ili vremenske odmake do -62 ili 18 sati. Histogram jasno ističe da većina simuliranih ekstremnih događaja ima relativno male razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima, uglavnom kašnjenje od 2 sata. Prema podacima, razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova **polovično** prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je -4.24 h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 4 h uranjuju u odnosu na izmjerene vrijednosti. Iznos standardne devijacije (σ) od 20.43 sati znači da postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti [-10.31, -1.83] znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je između -10 i -2 sata, a relativno veliku raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju [16.95, 25.73] (Tablica 24).

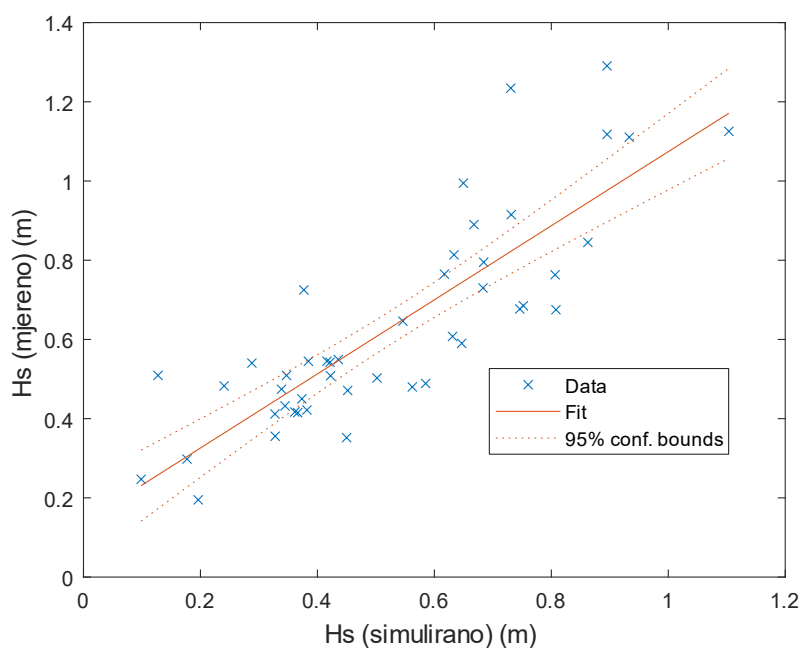


Slika 47 Histogram vremenske nepodudarnosti između tjednih ekstremnih događaja valnih visina COEXMED

Tablica 24 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na **Slika 47**

Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	μ	-4.24	[-10.31, -1.83]
2	σ	20.43	[16.95, 25.73]

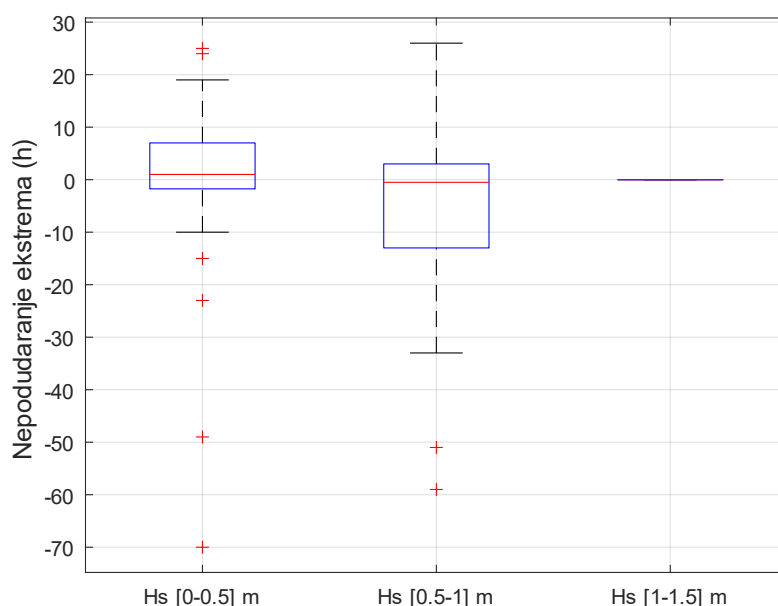
Dijagram (Slika 48) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (17) $Y = 0.94 * x + 0,14$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba (0.94) pokazuje da se simulirana visina vala diže malo sporije od izmjerene visine vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,14) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi imala malu osnovnu vrijednost. $R^2 = 0,705$; koeficijent pokazuje da se 70.5% varijabilnosti izmjerenih visina valova može objasniti simuliranim podacima. R^2 blizu 1 ukazuje na dobro slaganje između simulacija i mjerenja, što u ovim mjerenjima nije u potpunosti slučaj, dok preostalih 29.5% varijabilnosti može biti posljedica netočnosti modela, pogrešaka mjerenja ili nepredviđenih čimbenika okoline.



Slika 48 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za tjedne ekstreme COEXMED

$$H_{s,mj} = 0.94 \cdot H_{s,sim} + 0.14 \quad (17)$$

Na boxplot dijagramu (Slika 49) koji istražuje vremenska nepodudaranja ekstrema za različite kategorije značajnih visina valova (H_s) uočili smo podatke koji su dodatno potkrijepljeni u (Tablica 25) koja prikazuje broj mjerenja, srednje vrijednosti nepodudaranja i standardne devijacije za svaku kategoriju. Kategorije H_s grupirane su u četiri grupe: H_s [0-0.5] m, H_s [0.5-1] m, H_s [1-1.5] m. Kategorija H_s [0-0.5] m obuhvaća valove visine 0 do 0.5 metra. Zabilježeno je 23 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od -2.56 sati i visokom standardnom devijacijom od 21.29 sati, što ukazuje na velika odstupanja u ekstremima. Boxplot pokazuje širok raspon vrijednosti s mnogim "outlierima", što sugerira nestabilnost podataka. Kategorija H_s [0.5-1] m uključuje 22 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od -6.18 sati i standardnom devijacijom od 20.29 sati, što ukazuje na lagano povećanje odstupanja u odnosu na manju kategoriju. Iako su prisutni "outlieri", modeli za ovu kategoriju pokazuju u nekoj mjeri manju stabilnost. Kategorija H_s [1-1.5] m, s 1 mjerenjem, ima prosječno nepodudaranje od 0 sati i standardnu devijaciju od 0 sati što ukazuje da u tom jednom mjerenju dolazi do potpunog podudaranja.



Slika 49 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja tjednih ekstrema valnih visina COEXMED

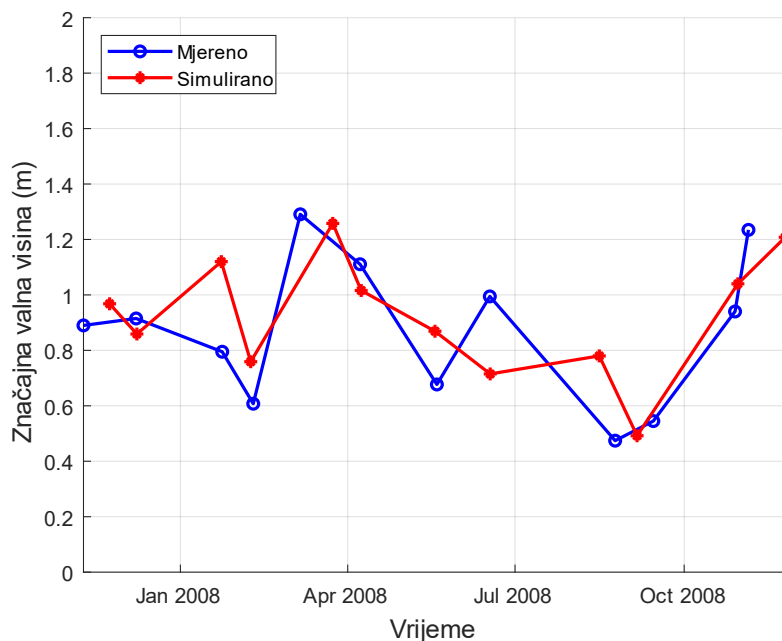
Tablica 25 Kategorije mjerenja vremenskog nepodudaranja ekstrema

Kategorija	Broj mjerenja	Prosječno nepopudaranje	Standardna devijacija
0-0.5	23	-2.56	21.29
0.5-1	22	-6.18	20.29
1-1.5	1	0	0

3.3.2 Mjesečni maksimum

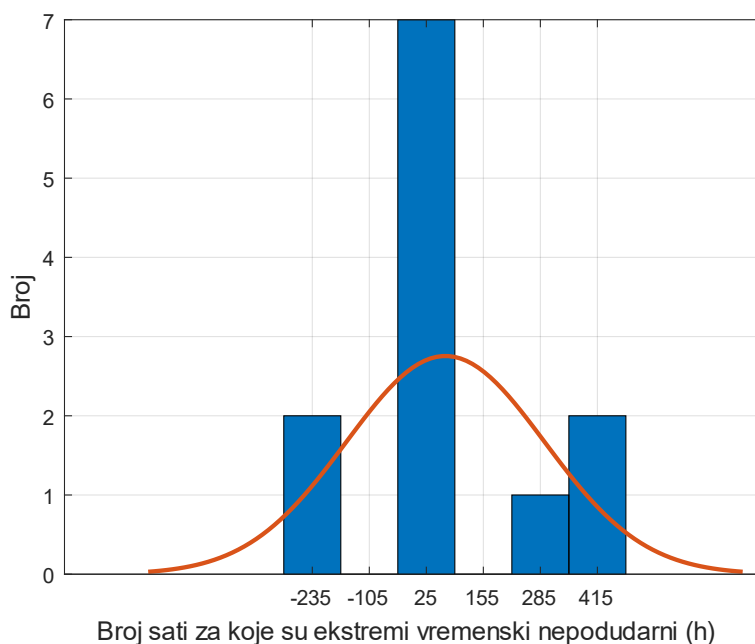
3.3.2.1 Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka

Dijagram (Slika 50) prikazuje usporedbu značajnih valnih visina (u metrima) u razdoblju od studenog 2007. godine do prosinca 2008. godine, pri čemu su plavom bojom predstavljeni mjereni podaci, a crvenom simulirani podaci. Krivulja mjerenih podataka sastoji se od 12 točaka, a krivulja simuliranih podataka sastoji se od 12 točaka. Na osi **y** prikazana je značajna valna visina, koja varira između 0 i 2 metra, dok os **x** prikazuje vrijeme u mjesečnim intervalima tijekom 2008. godine. Simulirani podaci (crvena linija) dobro prate mjerenja (plava linija) tijekom cijelog razdoblja 2008. godine, što ukazuje na visoku razinu vremenske podudarnosti, osobito u smirenijim periodima bez ekstremnih uvjeta. To znači da model učinkovito replicira opći trend značajnih valnih visina, što je važno za dugoročne prognoze i procjene morskih uvjeta. U razdobljima smirenijih vremenskih uvjeta, primjerice ljeti vremenska podudarnost između simuliranih i mjerenih podataka je vrlo visoka. U tim fazama, simulirane vrijednosti gotovo savršeno prate mjerenja, s minimalnim odstupanjima. U tri situacije u studenom 2007. godine, u ožujku 2008. i studenom 2008. vidimo dosta veliko vremensko nepodudaranje što mogu biti izolirani slučajevi no mogu biti i pokazatelji nestabilnosti ove metode.



Slika 50 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (MEDSEA) mjesečnih maksimuma u periodu mjerenja

Histogram (Slika 51) prikazuje vremenske razlike između događaja ekstremne visine vala. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje kašnjenje od oko 25 sati, što znači da simulirani podaci kasne za stvarno izmjerenim događajima u prosjeku za 25 sati. Osim toga, postoje neke ekstremne razlike, s manjim brojem događaja koji pokazuju odgode ili vremenske odmake do -235 ili 415 sati. Histogram jasno ističe da većina simuliranih ekstremnih događaja ima relativno velike razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima, uglavnom kašnjenje od 25 sata, što za mjerenja na mjesečnoj bazi i nije tako čudno. Prema podacima, razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je 68.58h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 69 h kasne u odnosu na izmjerene vrijednosti. Iznos standardne devijacije (σ) od 225.91 sati znači da postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti $[-74.95, 212.12]$ znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je između -75 i 212 sati, a relativno veliku raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju $[160.03, 383.57]$ (Tablica 26).



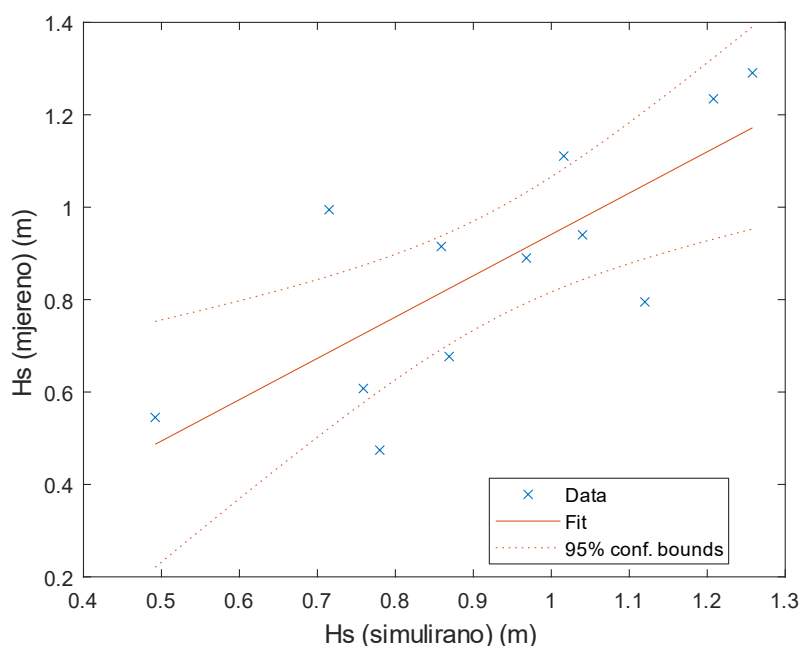
Slika 51 Histogram vremenske nepodudarnosti između mjesečnih ekstremnih događaja valnih visina MEDSEA

Tablica 26 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na **Slika 51**

Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	mu	68.58	[-74.95, 212.12]
2	sigma	225.909	[160.03, 383.57]

Dijagram (Slika 52) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (18) $Y = 0.89 * x + 0,05$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba (0.94) pokazuje da se simulirana visina vala diže malo sporije od izmjerene visine vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,05) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi

imala malu osnovnu vrijednost. $R^2 = 0,565$; koeficijent pokazuje da se 56.5% varijabilnosti izmjerenih visina valova može objasniti simuliranim podacima. R^2 blizu 1 ukazuje na dobro slaganje između simulacija i mjerenja, što je u ovim mjerenjima polovičan slučaj, dok preostalih 43.5% varijabilnosti može biti posljedica netočnosti modela, pogrešaka mjerenja ili nepredviđenih čimbenika okoline.

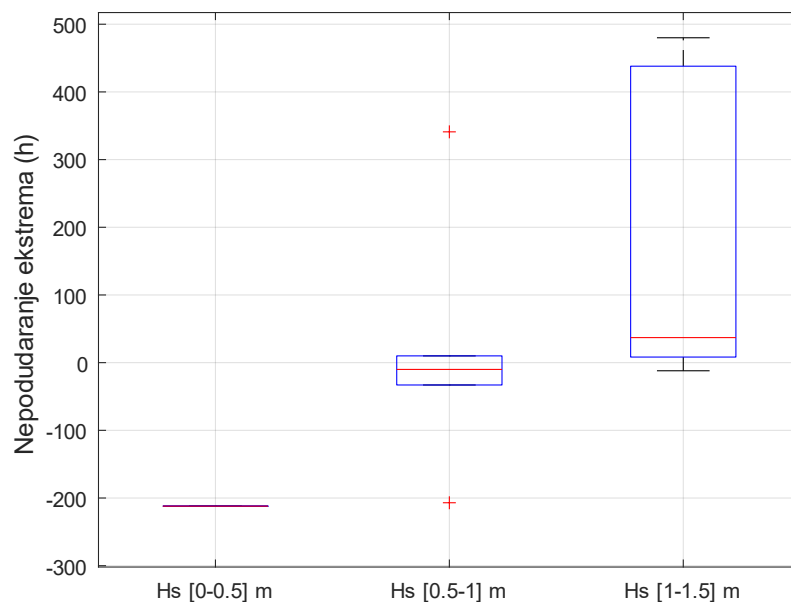


Slika 52 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za mjesečne ekstreme MEDSEA

$$H_{s,mj} = 0.89 \cdot H_{s,sim} + 0.05 \quad (18)$$

Na boxplot dijagramu (Slika 53) koji istražuje vremenska nepodudaranja ekstrema za različite kategorije značajnih visina valova (H_s) uočili smo podatke koji su dodatno potkrijepljeni u (Tablica 27) koja prikazuje broj mjerenja, srednje vrijednosti nepodudaranja i standardne devijacije za svaku kategoriju. Kategorije H_s grupirane su u četiri grupe: H_s [0-0.5] m, H_s [0.5-1] m, H_s [1-1.5] m. Kategorija H_s [0-0.5] m obuhvaća valove visine 0 do 0.5 metra. Zabilježeno je 1 mjerenje s prosječnim nepodudaranjem od -212 sati i nepostojećom standardnom devijacijom što ukazuje da je nepodudaranje za ovu kategoriju stalno i u smjeru kašnjenja simulacije u odnosu na mjerenja. Kategorija H_s [0.5-1] m uključuje 6 mjerenja s prosječnim nepodudaranjem od 15.17 sati i standardnom devijacijom od 178.66 sati, što pokazuje veliku varijabilnost u ovoj kategoriji, s malim medijanom oko nule. Kategorija H_s [1-1.5] m, s 5 mjerenja, ima prosječno nepodudaranje od 188.8 sati i standardnu devijaciju od 241.71 sati što ukazuje na još veću varijabilnost nego u prethodnoj kategoriji. Boxplot je jako izdužen, s

visokim medijanom, što pokazuje da simulacija obično dolazi značajno kasnije u usporedbi s mjerenjima.



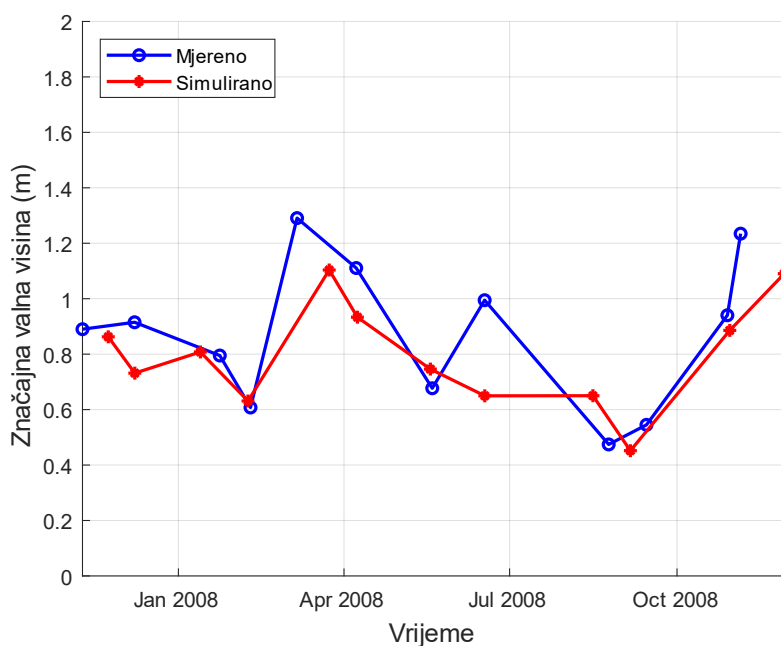
Slika 53 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja mjesečnih ekstrema valnih visina MEDSEA

Tablica 27 Kategorije mjerenja vremenskog nepodudaranja ekstrema

Kategorija	Broj mjerenja	Prosječno nepodudaranje	Standardna devijacija
0-0.5	1	-212	0
0.5-1	6	15.17	178.66
1-1.5	5	188.8	241.71

3.3.2.2 Usporedba između COEXMED i mjernih podataka

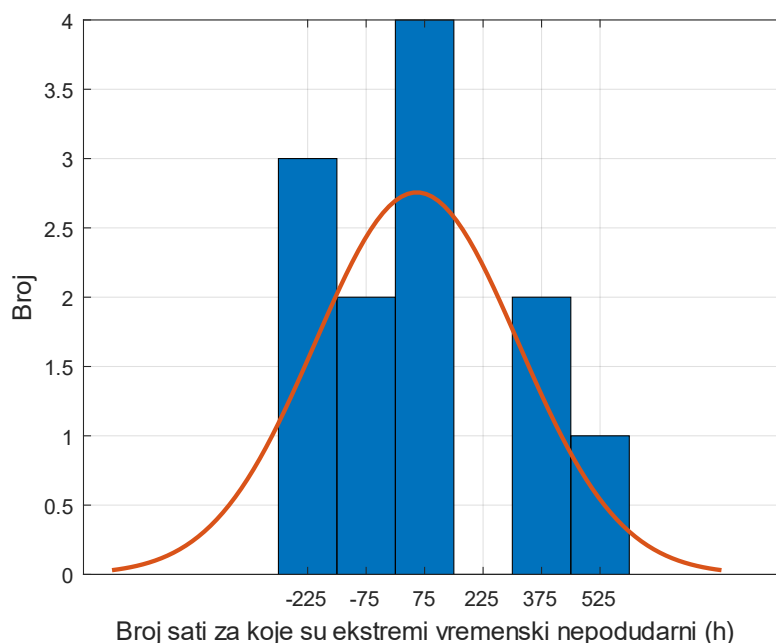
Dijagram (Slika 54) prikazuje usporedbu značajnih valnih visina (u metrima) u razdoblju od studenog 2007. godine do prosinca 2008. godine, pri čemu su plavom bojom predstavljeni mjereni podaci, a crvenom simulirani podaci. Krivulja mjerenih podataka sastoji se od 12 točaka, a krivulja simuliranih podataka sastoji se od 12 točaka. Na osi *y* prikazana je značajna valna visina, koja varira između 0 i 2 metra, dok os *x* prikazuje vrijeme u mjesečnim intervalima tijekom 2008. godine. Simulirani podaci (crvena linija) dobro prate mjerenja (plava linija) tijekom cijelog razdoblja 2008. godine, što ukazuje na visoku razinu vremenske podudarnosti, osobito u smirenijim periodima bez ekstremnih uvjeta. To znači da model učinkovito replicira opći trend značajnih valnih visina, što je važno za dugoročne prognoze i procjene morskih uvjeta. U razdobljima smirenijih vremenskih uvjeta, primjerice ljeti vremenska podudarnost između simuliranih i mjerenih podataka je vrlo visoka. U tim fazama, simulirane vrijednosti gotovo savršeno prate mjerenja, s minimalnim odstupanjima. U tri situacije u studenom 2007. godine, u ožujku 2008. i studenom 2008. vidimo dosta veliko vremensko nepodudaranje što mogu biti izolirani slučajevi no mogu biti i pokazatelji nestabilnosti ove metode.



Slika 54 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (COEXMED) mjesečnih maksimuma u periodu mjerenja

Histogram (Slika 55) prikazuje vremenske razlike između događaja ekstremne visine vala. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje kašnjenje od oko 75 sati, što znači da simulirani podaci kasne za stvarno izmjerenim

događajima u prosjeku za 75 sati. Osim toga, postoje neke ekstremne razlike, s manjim brojem događaja koji pokazuju odgode ili vremenske odmake do -225 ili 525 sati. Histogram jasno ističe da većina simuliranih ekstremnih događaja ima relativno velike razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima, uglavnom kašnjenje od 75 sata, što za mjerenja na mjesečnoj bazi i nije tako neobično. Prema podacima, razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je 54.83h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 55 h kasne u odnosu na izmjerene vrijednosti. Iznos standardne devijacije (σ) od 260.54 sati znači da postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti [-110.704, 220.37] znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je između -111 i 220 sati, a relativno veliku raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju [184.56, 442.36] (Tablica 28).

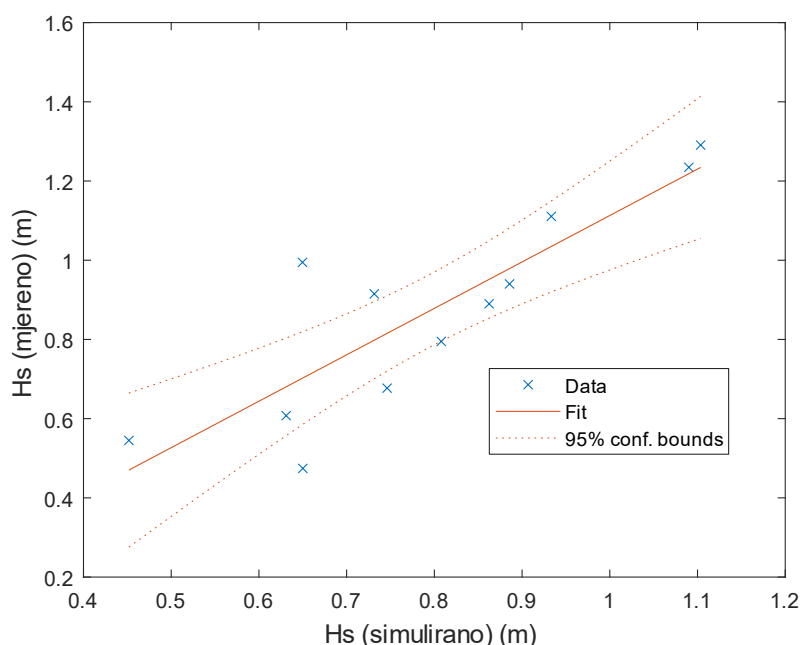


Slika 55 Histogram vremenske nepodudarnosti između mjesečnih ekstremnih događaja valnih visina COEXMED

Tablica 28 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na **Slika 55**

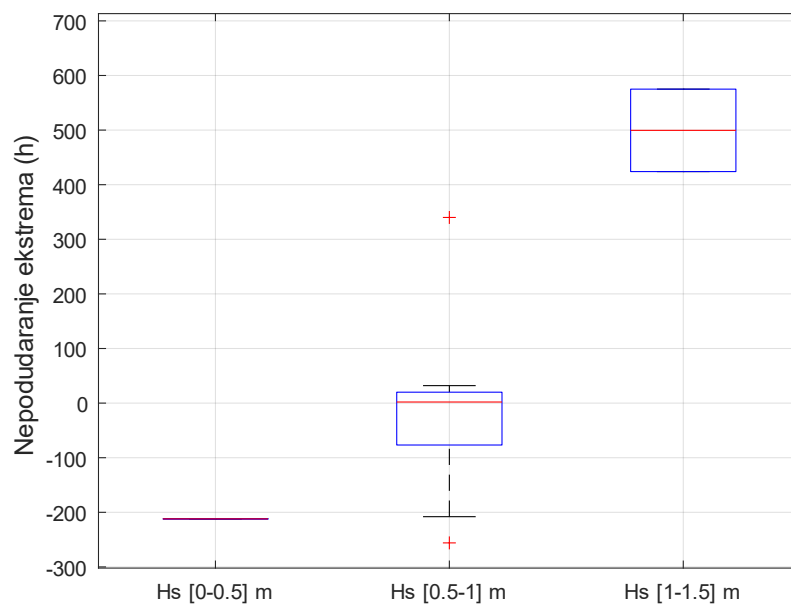
Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	mu	54.83	[-110.704, 220.37]
2	sigma	260.536	[184.56, 442.36]

Dijagram (Slika 56) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (19) $Y = 1.17 \cdot x - 0,06$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba (1.17) pokazuje da se simulirana visina vala diže malo brže od izmjerene visine vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,06) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi imala malu osnovnu vrijednost. $R^2 = 0,733$; koeficijent pokazuje da se 73.3% varijabilnosti izmjerenih visina valova može objasniti simuliranim podacima. R^2 blizu 1 ukazuje na dobro slaganje između simulacija i mjerenja, što je u ovim mjerenjima nije u potpunosti slučaj, dok preostalih 26.7% varijabilnosti može biti posljedica netočnosti modela, pogrešaka mjerenja ili nepredviđenih čimbenika okoline.



Slika 56 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za mjesečne ekstreme COEXMED

$$H_{s,mj} = 1,17 \cdot H_{s,sim} - 0,06 \quad (19)$$

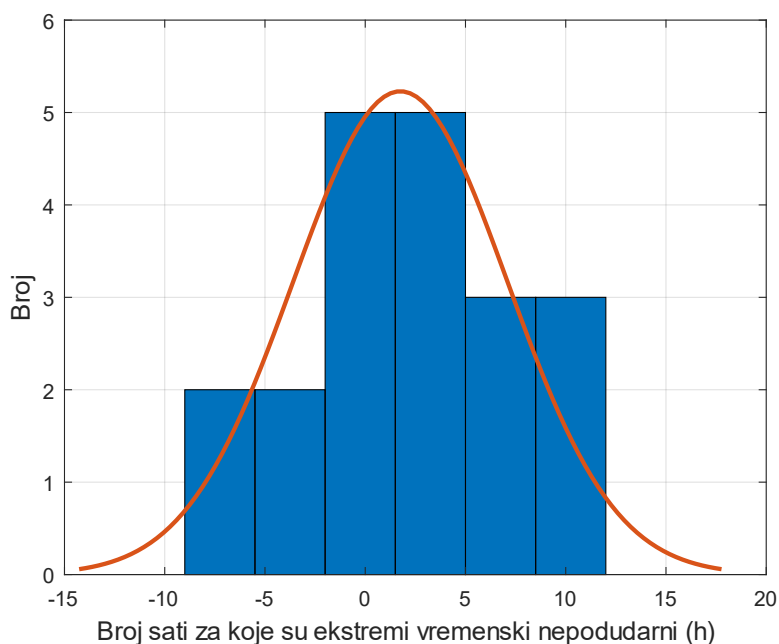


Slika 57 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja mjesečnih ekstrema valnih visina COEXMED

3.3.3 Olujni događaj

3.3.3.1 Usporedba između MEDSEA i mjernih podataka

Histogram (Slika 58) prikazuje vremenske razlike između ekstremne visine vala olujnih događaja. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje uranjivanje od između 0 i 5 sati, što znači da simulirani podaci uranjuju za stvarno izmjerenim događajima u prosjeku za 2.5 sati. Histogram ističe da većina simuliranih ekstremnih događaja nema relativno velike razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima, uglavnom kašnjenje od 2.5 sati. Prema podacima, razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova u ovom mjeranju prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je 1.75 h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 1.75h kasne u odnosu na izmjerene vrijednosti. Iznos standardne devijacije (σ) od 5.34 sati znači da ne postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti [-0.75, 4.25] znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je između 5 sati, a također relativno malu raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju [4.06, 7.79] (Tablica 29).

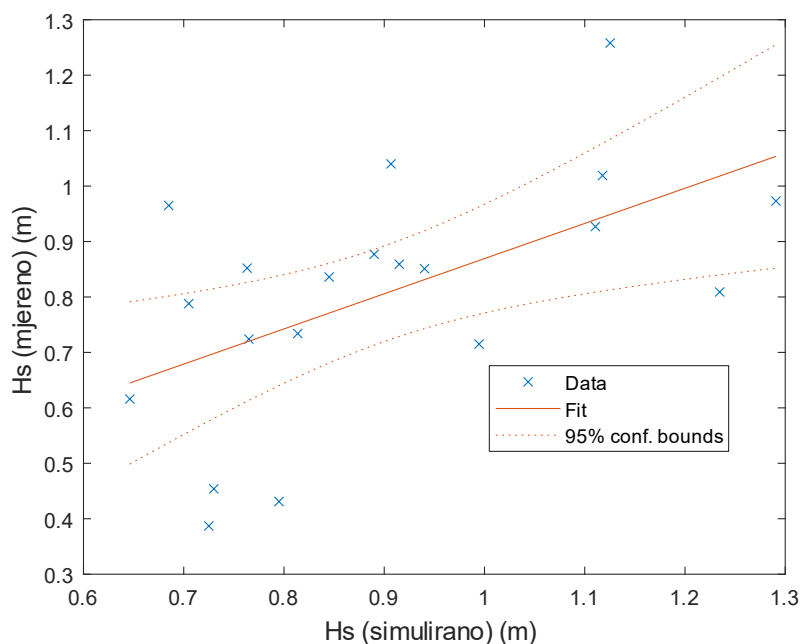


Slika 58 Histogram vremenske nepodudarnosti između olujnih događaja valnih visina MEDSEA

Tablica 29 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 58

Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	mu	1.75	[-0.75, 4.25]
2	sigma	5.34	[4.06, 7.79]

Dijagram (Slika 59) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (20) $Y = 0.63 * x - 0.24$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba (0,63) pokazuje da se simulirana visina vala diže ne u potpunosti sukladno kao izmjerena visina vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,24) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula, izmjerena visina vala bi imala nešto veću osnovnu vrijednost. $R^2 = 0,312$; koeficijent pokazuje da se 31.2% varijabilnosti izmjerenih visina valova može objasniti simuliranim podacima. R^2 blizu 1 ukazuje na dobro slaganje između simulacija i mjerenja, što u ovim mjerenjima nije slučaj, dok preostalih 68.8% varijabilnosti može biti posljedica netočnosti modela, pogrešaka mjerenja ili nepredviđenih čimbenika okoline.

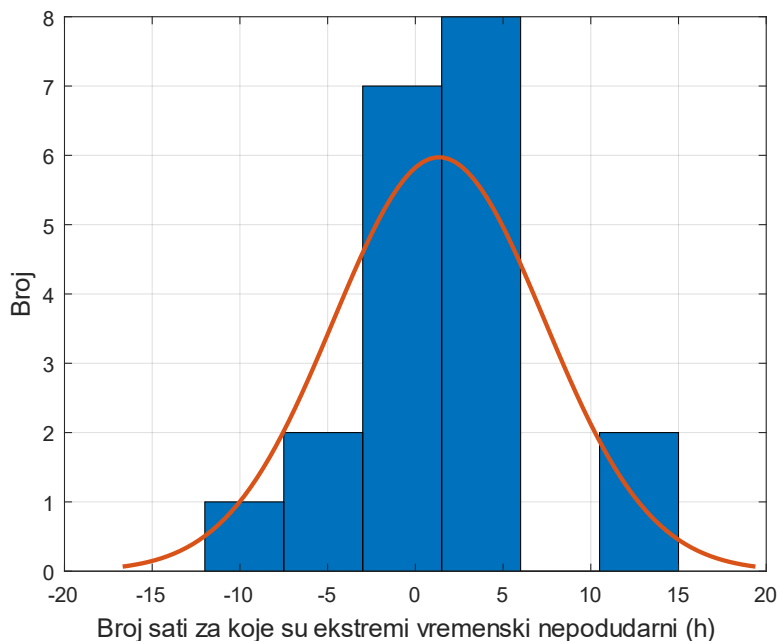


Slika 59 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za olujne događaje MEDSEA

$$H_{s,mj} = 0.63 \cdot H_{s,sim} - 0.24 \quad (20)$$

3.3.3.2 Usporedba između COEXMED i mjernih podataka

Histogram (Slika 60) prikazuje vremenske razlike između ekstremne visine vala olujnih događaja. X-os prikazuje kašnjenje u satima ili vremensku razliku između simuliranih i izmjerenih ekstremnih visina valova, dok y-os prikazuje broj takvih događaja. Većina ekstremnih događaja pokazuje uranjanje od između 0 i 5 sati, što znači da simulirani podaci uranjuju za stvarno izmjerenim događajima u prosjeku za 2.5 sati. Histogram ističe da većina simuliranih ekstremnih događaja nema relativno velike razlike u usporedbi s izmjerenim rezultatima, uglavnom kašnjenje od 2.5 sati. Prema podacima, razlika između simuliranih i izmjerenih visina valova u ovom mjerenju prati normalnu distribuciju. Srednja vrijednost (μ) je 1.35 h, što znači da su simulirani ekstremi u prosjeku oko 1.35 h kasne u odnosu na izmjerene vrijednosti. Iznos standardne devijacije (σ) od 6.01 sati znači da ne postoji značajna varijabilnost u vremenskom nepodudaranju. Srednja vrijednost od intervala pouzdanosti [-1.46, 4.16] znači da prosječna vremenska nepodudarnost u 95% slučajeva je između 5 sati, a također relativno malu raspršenost podataka potvrđuje interval pouzdanosti za standardnu devijaciju [4.57, 8.78] (Tablica 30).



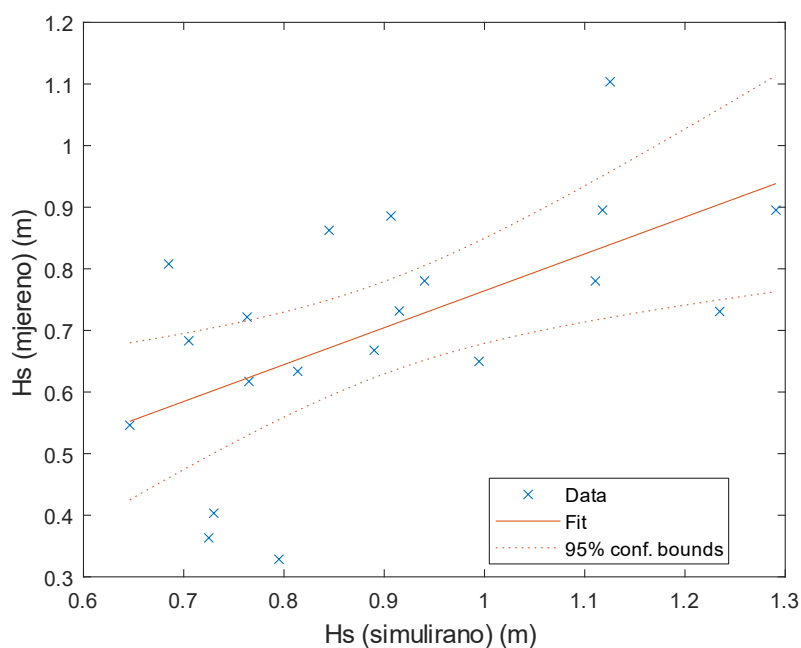
Slika 60 Histogram vremenske nepodudarnosti između olujnih događaja valnih visina COEXMED

Tablica 30 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 60

Br	Parametar normalne distribucije	Vrijednost	Raspon 95%
1	mu	1.35	[-1.46, 4.16]
2	sigma	6.01	[4.57, 8.78]

Dijagram (Slika 61) prikazuje značajnu valnu visinu (H_s) dobivenu simulacijama u usporedbi s izmjerenim vrijednostima. Simulirana značajna valna visina v prikazana je na x-osi, dok je izmjerena značajna valna visina prikazana na y-osi. Plavi križići predstavljaju stvarne podatke, dok crvena linija prikazuje regresijsku liniju koja najbolje opisuje odnos između simuliranih i izmjerenih podataka. Isprekidana linija predstavlja interval pouzdanosti od 95% (ograničenje pouzdanosti), pokazujući raspon u kojem će prava vrijednost vjerojatno imati visoku pouzdanost. Kad bi svi podaci savršeno odgovarali, očekivalo bi se da svi plavi križići leže točno na regresijskoj liniji. Međutim, vidimo određenu pristranost, koja ukazuje na pogreške u simulaciji, ali one su unutar prihvatljivih granica s obzirom na prikazane intervale pouzdanosti. Jednadžba (21) $Y = 0.59 * x - 0.17$ opisuje linearni odnos između simuliranih (x) i izmjerenih (y) visina valova. Koeficijent nagiba (0,59) pokazuje da se simulirana visina vala diže ne u potpunosti sukladno kao izmjerena visina vala, budući da savršeno podudaranje ima koeficijent nagiba 1. Odsječak (0,17) pokazuje da i kad bi simulirana visina vala bila nula,

izmjerena visina vala bi imala nešto veću osnovnu vrijednost. $R^2 = 0,348$; koeficijent pokazuje da se 34.8% varijabilnosti izmjerenih visina valova može objasniti simuliranim podacima. R^2 blizu 1 ukazuje na dobro slaganje između simulacija i mjerenja, što u ovim mjerenjima nije slučaj, dok preostalih 65.2% varijabilnosti može biti posljedica netočnosti modela, pogrešaka mjerenja ili nepredviđenih čimbenika okoline.



Slika 61 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za olujne događaje COEXMED

$$H_{s,mj} = 0.59 \cdot H_{s,sim} - 0.17 \quad (21)$$

4 DISKUSIJA

U tablicama su sabrani svi rezultati mjerenja koji su obrađeni u ovom radu, a vezani su za opće diskrepanciju između trenutka simuliranih i mjerenih maksimuma značajnih valnih visina. Obradeno je odstupanje značajnih valnih visina (H_s) između modeliranih i mjerenih podataka za lokacije u Istri (platforma Ivana), Rijeci i Splitu. Na te tri lokacije promatrani su tjedni maksimumi, mjesečni maksimumi i maksimumi za vrijeme olujnih događaja. Obradene su dva numerička modela valovanja: MEDSEA i COEXMED. Podacima iz tablice utvrđujemo koji je model točniji za određenu vrstu mjerenja preko prosječne vrijednosti nepodudaranja (μ) i standardne devijacije (σ).

Kod tjednih ekstrema za lokaciju Rijeka model MEDSEA pokazuje manju pogrešku i nešto manju raspršenost nepodudaranja u odnosu na COEXMED model, dok je COEXMED nešto točniji na lokacijama Istra i Split. Raspršenost je usporediva između dva modela za sve lokacije. Nema općeg zaključka koji bi rekao koji je model bolji u slučaju tjednog maksimuma.

Model COEXMED ima manju standardnu devijaciju za mjesečne ekstreme u Istri i Rijeke pa je time povoljniji iako u slučaju lokacije Istre je srednja vrijednost odstupanja gotovo dvostruko veća u slučaju korištenja COEXMED nego što je to u slučaju korištenja MEDSEA. Općenito COEXMED pokazuje uglavnom blago bolje rezultate u slučaju mjesečnih maksimuma prema svim statističkim pokazateljima osim u srednjoj vrijednosti odstupanja maksimuma za lokaciju Istre, uz također veće raspršenje odstupanja za lokaciju Split.

Ako se razmatraju maksimumi olujnih događaja za Rijeku, model MEDSEA je povoljniji za mjerenje jer pokazuje manju srednju vrijednost odstupanja i manju raspršenost odstupanja. COEXMED se ističe boljim rezultatima srednje vrijednosti odstupanja za lokaciju Split. U većini slučajeva MEDSEA pokazuje bolje statičke pokazatelje nego što to pokazuje COEXMED. Iznimka je u slučaju srednje vrijednosti odstupanja na lokaciji Splita.

Tablica 31 Vrijednost parametara normalne distribucije prema lokaciji i numeričkom modelu za tjedne maksimume

Lokacija	Tip ekstrema	Model	μ	σ
Rijeka	Tjedni maksimumi	MEDSEA	-1,92	45,69
		COEXMED	-10,48	48,59
Istra		MEDSEA	5,34	37,51
		COEXMED	3,98	31,59
Split		MEDSEA	-6,02	19,35
		COEXMED	-4,24	20,43

Tablica 32 Vrijednost parametara normalne distribucije prema lokaciji i numeričkom modelu za mjesečne maksimume

Lokacija	Tip ekstrema	Model	mu	sigma
Rijeka	Mjesečni maksimumi	MEDSEA	-21,68	256,31
		COEXMED	-9,68	215,57
Istra		MEDSEA	46,38	157,38
		COEXMED	88,00	144,04
Split		MEDSEA	68,58	225,91
		COEXMED	54,83	260,54

Tablica 33 Vrijednost parametara normalne distribucije prema lokaciji i numeričkom modelu za maksimume olujnih događaja

Lokacija	Tip ekstrema	Model	mu	sigma
Rijeka	Olujni događaji	MEDSEA	1,00	4,42
		COEXMED	1,19	26,26
Istra		MEDSEA	0,68	4,12
		COEXMED	0,86	7,19
Split		MEDSEA	1,75	5,34
		COEXMED	1,35	6,01

5 ZAKLJUČAK

U svrhu bolje zaštite od obalnih poplava u budućnosti ključno je bolje razumijevanje međuzavisnosti valova, olujnih uspora i razine mora. Modeli kao MEDSEA i COEXMED koji statistički prate te događaje i njihove ekstreme pomažu nam u njihovom razumijevanju. To je ključno u procjeni rizika od poplava na području kojim se mi bavimo a to je istočni Jadran. Ključan element kod rizika od poplava su valovi zbog njihove nepredvidivosti. To u kombinaciji s olujnim usporima i promjenama razine mora dodatno otežava predviđanje.

Ono što je bila glavnina obrade u ovom radu je vremensko nepodudaranje modeliranih maksimuma značajnih valnih visina i mjerenih maksimuma značajnih valnih visina te kao posljedica toga utvrditi koliko su navedeni modeli mjerodavni i pouzdani i koliko se možemo osloniti na njih u zaštiti od obalnih poplava.

Na tri lokacije u Jadranu su postavljene plutače: platforma Ivana, Rijeka i Split te je obrada podataka obavljena kako bi dala tjedne i mjesečne maksimume te maksimume za vrijeme olujnih događaja. Kada se sumarno svi rezultati usporedbe, model COEXMED je pokazao bolje poklapanje kada su u pitanju mjesečni ekstremi, no MEDSEA je uglavnom točniji u slučaju maksimuma olujnih događaja.

Kada bi rezultate gledali iz perspektive lokacije, vremenska nepodudaranja su općenito manja za Rijeku, u odnosu na Split i Istru, posebno u slučaju mjesečnih ekstrema. Iako treba naglasiti da oba modela (MEDSEA i COEXMED) dramatično podcjenjuju (obično dvostruko) vrijednost samog maksimuma značajne valne visine.

Uz sve gore navedeno, i mjerenja direktno s lokacija i modelirane rezultate, u procesu zaštite od obalnih poplava nužno je i poznavanje lokalnih faktora kao što su batimetrija i topografija, koji imaju veliki utjecaj na razinu rizika. Bitno poboljšanje procjene rizika i planiranje obrane obale od poplava je integracija svih tih faktora i sustavno unaprijeđivanje kroz budućnost. Sve veće ubrzanje klimatskih promjena iziskivat će potrebu za što većom suradnjom između institucija i to će biti ključno za smanjenje rizika od poplava, uz naravno, razumijevanje specifičnih lokalnih uvjeta.

POPIS LITERATURE

- [1] Moftakhari, H.R., Salvadori, G., AghaKouchak, A., Sanders, B.F. and Matthew, R.A., 2017. Compounding effects of sea level rise and fluvial flooding. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(37), pp.9785-9790.
- [2] Ward, P.J., Couasnon, A., Eilander, D., Haigh, I.D., Hendry, A., Muis, S., Veldkamp, T.I., Winsemius, H.C. and Wahl, T., 2018. *Dependence between high sea-level and high river discharge increases flood hazard in global deltas and estuaries. Environmental Research Letters*, 13(8), p.084012.
- [3] Wahl, T., Jain, S., Bender, J., Meyers, S.D. and Luther, M.E., 2015. Increasing risk of compound flooding from storm surge and rainfall for major US cities. *Nature Climate Change*, 5(12), pp.1093-1097.
- [4] Wu, W., McInnes, K., O'grady, J., Hoeke, R., Leonard, M. and Westra, S., 2018. Mapping dependence between extreme rainfall and storm surge. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(4), pp.2461-2474.
- [5] Cavaleri, L. (2000.): The oceanographic tower Acqua Alta — activity and prediction of sea states at Venice, *Coastal Engineering*, 39(1), str. 29-70.
- [6] Trincardi, F., Barbanti, A., Bastianini, M., Benetazzo, L., Cavaleri, L., Chiggiato, J., Papa, A., Pomaro, A., Sclavo, M., Tosi, L., Umgiesser, G. (2016.): The 1966 flooding of Venice: What time taught us for the future, *Oceanography*, 29(4), str. 178-186.
- [7] Cavaleri, L., Bajo, M., Barbariol, F., Bastianini, M., Benetazzo, A., Bertotti, L., Chiggiato, J., Davolio, S., Ferrarin, C., Magnusson, L., Papa, A., Pezzutto, P., Pomaro, A., Umgiesser, G. (2019): The October 29, 2018 storm in Northern Italy – An exceptional event and its modeling, *Progress in Oceanography*, 178, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.102178>.
- [8] Cavaleri, L., Bajo, M., Barbariol, F., Bastianini, M., Benetazzo, A., Bertotti, L., Chiggiato, J., Ferrarin, C., Trincardi, F., Umgiesser, G. (2020.): The 2019 flooding of Venice and its implications for future predictions, *Oceanography*, 33, 42-49. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.105>
- [9] Vilibić, I., Šepić, J. (2009.): Destructive meteotsunamis along the eastern Adriatic coast: Overview, *Physics and Chemistry of the Earth*, 34, str. 904-917.
- [10] Međugorac, I. (2018): Izuzetno visoki vodostaji u sjevernom Jadranu i nagib morske razine u smjeru istok-zapad, *Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek*, 105 str.
- [11] Međugorac, I., Pasarić, M., Orlić, M. (2015): Severe flooding along the eastern Adriatic coast: the case of 1 December 2008, *Ocean Dynamics*, 65, str. 817-830.

- [12] Međugorac, I., Pasarić, M., Pasarić, Z., Orlić, M. (2016): Two recent storm-surge episodes in the Adriatic, *International Journal of Safety and Security Engineering*, 6(3), str. 589–596.
- [13] Međugorac, I., Orlić, M., Janeković, Pasarić, Z., Pasarić, M. (2018): Adriatic storm surges and related cross-basin sea-level slope, *Journal of Marine Systems*, 181, str. 79-90.
- [14] Vilibić, I., Šepić, J., Pasarić, M., Orlić, M. (2017.): The Adriatic Sea: A long-standing laboratory for sea level studies, *Pure and Applied Geophysics*, 174, str. 3765-3811.
- [15] Marcos, M., Vousdoukas, M. I., Mentaschi, L., Le Cozannet, G., Amores, A., 2019.: Increased extreme coastal water levels due to the combined action of storm surges and wind waves, str 3-6.
- [16] Serafin, K. A., Ruggiero, P. & Stockdon, H. F. (2017) The relative contribution of waves, tides, and non-tidal residuals to extreme total water levels on US West Coast sandy beaches. *Geophysical Research Letters* 44, 1839–1847.
- [17] Pedreros, R. ; Idier, D. ; Muller, H. ; Lecacheux, S. ; Paris, F. ; Yates-Michelin, M. ; Dumas, F.; Pineau-Guillou, L. and Sénéchal, N., 2018. Relative contribution of wave setup to the storm surge: observations and modeling based analysis in open and protected environments (Truc Vert beach and Tubuai island). In: Shim, J.-S.; Chun, I., and Lim, H.-S. (eds.), *Proceedings from the International Coastal Symposium (ICS) 2018* (Busan, Republic of Korea).
- [18] Thompson, R. O. & Hamon, B. V. (1980) Wave setup of harbor water levels. *J. Geophys. Res.* 85, 1151–1152.
- [19] Lucio, D., Lara, J. L., Tomas, A., Losada, I. J., 2024.: Projecting compound wave and sea-level events at a coastal structure site under climate change. str 1-2.
- [20] De Michele, C., Salvadori, G., Passoni, G., Vezzoli, R., 2007. A multivariate model of sea storms using copulas. *Coast. Eng.* 54 (10), 734–751. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2007.05.007>.
- [21] Salvadori, G., Michele, C.D., Kottegoda, N.T., Rosso, R., 2007. Extreme value analysis via copulas. In: *Extremes in Nature: An Approach using Copulas*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 191–208. http://dx.doi.org/10.1007/1-4020-4415-1_5.
- [22] Wahl, T., Mudersbach, C., Jensen, J., 2012. Assessing the hydrodynamic boundary conditions for risk analyses in coastal areas: A multivariate statistical approach based on Copula functions. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12, 495–510. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-12-495-2012>.

- [23] Jager, W.S., Nápoles, O.M., 2017. A vine-copula model for time series of significant wave heights and mean zero-crossing periods in the north sea. *ASCE-ASME J. Risk Uncertain. Eng. Syst. A* 3 (4), 04017014. <http://dx.doi.org/10.1061/AJRUA6.0000917>.
- [24] Lin-ye, J., García-León, M., Gràcia, V., Ortego, M., Lionello, P., Sánchez-Arcilla, A., 2017. Multivariate statistical modelling of future marine storms. *Appl. Ocean Res.* 65, 192–205. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apor.2017.04.009>.
- [25] https://data.marine.copernicus.eu/product/MEDSEA_MULTIYEAR_WAV_006_012/description
- [26] Toomey, T., Amores, A., Marcos, M., Orfila, A., 2022.: Coastal sea levels and windwaves in the Mediterranean Sea since 1950 from a high resolution ocean reanalysis. *Str* 1-4.
- [27] Zhang, Y. J., Ye, F., Stanev, E. V., and Grashorn, S. (2016). Seamless cross-scale modeling with SCHISM. *Ocean. Model.* 102, 64–81. doi: 10.1016/j.ocemod.2016.05.002
- [28] Zhang, Y., and Baptista, A. (2008). Selfe: A semi-implicit eulerian-lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation. *Ocean. Model.* 21, 71–96. doi: 10.1016/j.ocemod.2007.11.005
- [29] Roland, A., Zhang, Y., Wang, H., Meng, Y., Teng, Y.-C., Maderich, V., et al. (2012). A fully coupled 3d wave-current interaction model on unstructured grids. *J. Geophys. Res.* 117, C00J33. doi: 10.1029/2012JC007952
- [30] Candela, J. (1991). The gibraltar strait and its role in the dynamics of the mediterranean sea. *Dynamics. Atmospheres. Oceans.* 15, 267–299. doi: 10.1016/0377-0265(91)90023-9
- [31] Le Traon, P.-Y., and Gauzelin, P. (1997). Response of the mediterranean mean sea level to atmospheric pressure forcing. *J. Geophys. Res.: Oceans.* 102, 973–984. doi: 10.1029/96JC02777
- [32] García Lafuente, J., Álvarez Fanjul, E., Vargas, J. M., and Ratsimandresy, A. W. (2002). Subinertial variability in the flow through the strait of gibraltar. *J. Geophys. Res.: Oceans.* 107, 32–1–31–9. doi: 10.1029/2001JC001104
- [33] Menemenlis, D., Fukumori, I., and Lee, T. (2007). Atlantic To mediterranean sea

level difference driven by winds near gibraltar strait. *J. Phys. Oceanogr. - J. Phys. OCEANOGR.* 37 (2), 359–376. doi: 10.1175/JPO3015.1

- [34] Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., et al. (2020). The era5 global reanalysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 146, 1999–2049. doi: 10.1002/qj.3803
- [35] Bell, B., Hersbach, H., Simmons, A., Berrisford, P., Dahlgren, P., Horányi, A., et al. (2021). The era5 global reanalysis: Preliminary extension to 1950. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 147, 4186–4227. doi: 10.1002/qj.4174

POPIS SLIKA

Slika 1 Pozicije i nazivi valnih plutača gdje su provedena mjerenja (zelene točke) te plutače korištene za validaciju MEDSEA modela (poglavlje 2.2) prikazane u Tablici 1 (crvene točke).	12
Slika 2 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (MEDSEA) tjednih maksimuma u periodu mjerenja	18
Slika 3 Histogram vremenske nepodudarnosti između tjednih ekstremnih događaja valnih visina (MEDSEA)	19
Slika 4 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za tjedne ekstreme MEDSEA.....	20
Slika 5 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja tjednih ekstrema valnih visina MEDSEA	21
Slika 6 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (COEXMED) tjednih maksimuma u periodu mjerenja	22
Slika 7 Histogram vremenske nepodudarnosti između tjednih ekstremnih događaja valnih visina COEXMED	23
Slika 8 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za tjedne ekstreme COEXMED	24
Slika 9 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja tjednih ekstrema valnih visina COEXMED	26
Slika 10 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (MEDSEA) mjesečnih maksimuma u periodu mjerenja	27
Slika 11 Histogram vremenske nepodudarnosti između mjesečnih ekstremnih događaja valnih visina MEDSEA.....	28
Slika 12 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za mjesečne ekstreme MEDSEA.....	29
Slika 13 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja mjesečnih ekstrema valnih visina MEDSEA.....	30
Slika 14 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (COEXMED) mjesečnih maksimuma u periodu mjerenja	32
Slika 15 Histogram vremenske nepodudarnosti između mjesečnih ekstremnih događaja valnih visina COEXMED	33
Slika 16 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za mjesečne ekstreme COEXMED	34
Slika 17 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja mjesečnih ekstrema valnih visina COEXMED	35
Slika 18 Histogram vremenske nepodudarnosti između olujnih događaja valnih visina MEDSEA	36

Slika 19 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za olujne događaje MEDSEA	37
Slika 20 Histogram vremenske nepodudarnosti između olujnih događaja valnih visina	39
Slika 21 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za olujne događaje COEXMED	40
Slika 22 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (MEDSEA) tjednih maksimuma u periodu mjerenja	41
Slika 23 Histogram vremenske nepodudarnosti između tjednih ekstremnih događaja valnih visina MEDSEA	42
Slika 24 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za tjedne ekstreme MEDSEA	43
Slika 25 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja tjednih ekstrema valnih visina MEDSEA	44
Slika 26 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (COEXMED) tjednih maksimuma u periodu mjerenja	45
Slika 27 Histogram vremenske nepodudarnosti između tjednih ekstremnih događaja valnih visina COEXMED	46
Slika 28 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za tjedne ekstreme COEXMED	47
Slika 29 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja tjednih ekstrema valnih visina COEXMED	48
Slika 30 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (MEDSEA) mjesečni maksimuma u periodu mjerenja	49
Slika 31 Histogram vremenske nepodudarnosti između mjesečnih ekstremnih događaja valnih visina MEDSEA	50
Slika 32 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za mjesečne ekstreme MEDSEA	51
Slika 33 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja mjesečnih ekstrema valnih visina MEDSEA	52
Slika 34 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (COEXMED) mjesečnih maksimuma u periodu mjerenja	53
Slika 35 Histogram vremenske nepodudarnosti između mjesečnih ekstremnih događaja valnih visina COEXMED	54
Slika 36 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za mjesečne ekstreme COEXMED	55
Slika 37 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja mjesečnih ekstrema valnih visina COEXMED	56
Slika 38 Histogram vremenske nepodudarnosti između olujnih događaja valnih visina MEDSEA	57
Slika 39 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za olujne događaje MEDSEA	58

Slika 40 Histogram vremenske nepodudarnosti između olujnih događaja valnih visina COEXMED	59
Slika 41 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za olujne događaje COEXMED	61
Slika 42 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (MEDSEA) tjednih maksimuma u periodu mjerenja	63
Slika 43 Histogram vremenske nepodudarnosti između tjednih ekstremnih događaja valnih visina MEDSEA	64
Slika 44 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za tjedne ekstreme MEDSEA	65
Slika 45 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja tjednih ekstrema valnih visina MEDSEA	66
Slika 46 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (COEXMED) tjednih maksimuma u periodu mjerenja	67
Slika 47 Histogram vremenske nepodudarnosti između tjednih ekstremnih događaja valnih visina COEXMED	68
Slika 48 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za tjedne ekstreme COEXMED	69
Slika 49 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja tjednih ekstrema valnih visina COEXMED	70
Slika 50 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (MEDSEA) mjesečnih maksimuma u periodu mjerenja	72
Slika 51 Histogram vremenske nepodudarnosti između mjesečnih ekstremnih događaja valnih visina MEDSEA	73
Slika 52 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za mjesečne ekstreme MEDSEA	74
Slika 53 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja mjesečnih ekstrema valnih visina MEDSEA	75
Slika 54 Vremenska serija mjerenih i simuliranih (COEXMED) mjesečnih maksimuma u periodu mjerenja	76
Slika 55 Histogram vremenske nepodudarnosti između mjesečnih ekstremnih događaja valnih visina COEXMED	77
Slika 56 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za mjesečne ekstreme COEXMED	78
Slika 57 Boxplot dijagram vremenskih nepodudaranja mjesečnih ekstrema valnih visina COEXMED	79
Slika 58 Histogram vremenske nepodudarnosti između olujnih događaja valnih visina MEDSEA	80
Slika 59 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za olujne događaje MEDSEA	82

Slika 60 Histogram vremenske nepodudarnosti između olujnih događaja valnih visina COEXMED 83

Slika 61 Dijagram usporedbe izmjerene i simulirane značajne valne visine za olujne događaje COEXMED 84

POPIS TABLICA

Tablica 1: Imena, lokacije i period mjerenja valnih parametara na plutačama.....	12
Tablica 2 Vrijednosti parametara normalne distribucije za podatke prikazane na Slika 3	19
Tablica 3 Kategorije nepodudaranja ekstrema za MEDSEA.....	20
Tablica 4 Vrijednosti parametara normalne distribucije za podatke prikazane na	24
Tablica 5 Kategorije vremenskih nepodudaranja ekstrema	26
Tablica 6 Vrijednosti parametara normalne distribucije za podatke prikazane na Slika 11	28
Tablica 7 Kategorije mjerenja vremenskog nepodudaranja ekstrema	31
Tablica 8 Vrijednosti parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 15.....	33
Tablica 9 Kategorije vremenskog nepodudaranja ekstrema	35
Tablica 10 Vrijednosti parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 18.....	37
Tablica 11 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 20.....	39
Tablica 12 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 23.....	42
Tablica 13 Kategorije mjerenja vremenskog nepodudaranja ekstrema	44
Tablica 14 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 27.....	46
Tablica 15 Kategorije mjerenja vremenskog nepodudaranja ekstrema	48
Tablica 16 Vrijednosti parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 31.....	50
Tablica 17 Kategorije mjerenja vremenskog nepodudaranja ekstrema	52
Tablica 18 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 35.....	54
Tablica 19 Kategorije mjerenja vremenskog nepodudaranja ekstrema	56
Tablica 20 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 38.....	57
Tablica 21 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 40.....	60
Tablica 22 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 43.....	64
Tablica 23 Kategorije mjerenja vremenskog nepodudaranja ekstrema	66
Tablica 24 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 47.....	68
Tablica 25 Kategorije mjerenja vremenskog nepodudaranja ekstrema	71

Tablica 26 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 51.....	73
Tablica 27 Kategorije mjerenja vremenskog nepodudaranja ekstrema.....	75
Tablica 28 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 55.....	77
Tablica 29 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 58.....	81
Tablica 30 Vrijednost parametara normalne distribucije ekstrema za podatke prikazane na Slika 60.....	83
Tablica 30 Vrijednost parametara normalne distribucije prema lokaciji i numeričkom modelu za tjedne maksimume	85
Tablica 30 Vrijednost parametara normalne distribucije prema lokaciji i numeričkom modelu za mjesečne maksimume	86
Tablica 30 Vrijednost parametara normalne distribucije prema lokaciji i numeričkom modelu za maksimume olujnih događaja.....	86