

1 UVOD

Projektom „Uređenje obalnog pojasa Vodice - Srima - Prvić“ namjerava se izmijeniti postojeći izgled obalnog pojasa na način da plaže poprime atraktivniju formu, a ujedno imaju racionalnije održavanje te nadalje da morske luke, lučice, marine, mandrač i postanu funkcionalniji i sigurniji prostor za prihvat plovila. Analizirani obalni pojas Vodice - Srima - Prvić (VSP) proteže se na oko 10 km (Slika 1). Obzirom na tako dugačku liniju obale nije moguće napraviti jedan model te je stoga obalni pojas podijeljen na 16 prostornih cjelina.



Slika 1. Šire područje akvatorija obalnog područja Vodice - Srima - Prvić, s naznačenim cjelinama prema izloženosti valovima

Prema Urbanističkom planu uređenja Vodice i Srima (UPUVS) obalno područje je podijeljeno na 12 cjelina, a kojima su dodane još 4 za otok Prvić čime je formiran obuhvat obalnog pojasa VSP koji će se analizirati:

- 1) Kupalište Bristak-istok
- 2) Kupalište Blata
- 3) Kupalište Punta
- 4) Luka Vodice
- 5) Luka Male Vruje
- 6) Luka Velike Vruje
- 7) Kupalište Olympia
- 8) Kupalište Imperijal
- 9) Luka Lovetovo
- 10) Kupalište Lovetovo - Srima sjever
- 11) Luka Srima
- 12) Kupalište Lovetovo - Srima jug
- 13) Luka Prvić Šepurina
- 14) Kupalište Strtevica
- 15) Luka Prvić Luka
- 16) Luka Perolina

Plaže su uglavnom vrlo blagog poprečnog nagiba, formirane od različitih frakcija kamena koje varira od pijeska do krupnijeg šljunka, a na dijelovima obala je formirana od većih stijena. Gotovo sve navedene plaže imaju dugačku plitkovodnu zonu, tragove sukcesivne erozije te su pod stalnim antropogenim utjecajem. Osim velikih luka koje su propisno izvedene postoji veći broj manjih lučica, mandrača odnosno improviziranih zaklona ili pristana koje je potrebno preoblikovati u sigurne luke za prihvat plovila.

Ovim elaboratom provedena je numerička analiza promjene valnog polja, od dubokovodnog područja do plitkovodnog područja odnosno obalne linije. Model je formiran temeljem detaljnog geodetskog premjera i prognozirane vjetrovalne klime. Razmatrani su vjetrovni valovi nastali uslijed puhanja vjetrova iz II, III i IV kvadranta, primarno jugo, lebić i maestral. Cilj provedenih numeričkih simulacija je analiza utjecaja valova na obalnu liniju. U slučaju plaža to podrazumijeva utjecaj valova na održivost plažnog oblika i litoralni drift, dok u slučaju luka to podrazumijeva utjecaj na stabilnost obalnih zaštitnih građevina, maritimne uvjete plova te režim korištenja akvatorija luka. Kao rezultat ove numeričke analize dobivena je procjena ugroženosti valovima za postojeće stanje obale, na osnovu čega su izrađene smjernice za uređenje obale.

Analiza promjene valnog polja provedena je provjerenim programskim paketom TELEMAC (EDF, 2012.) za hidrodinamiku mora. Iz paketa Telemac korišten je modul Artemis, koji je dizajniran za analizu valova u priobalnom području na malim prostornim domenama. Potrebno je istaknuti kako pouzdanost modela ovisi uvelike i o kvaliteti ulaznih podataka.

2 TEORIJSKE OSNOVE MODELA

Za numeričke simulacije utjecaja valova na obalu korišten je modul Artemis, koji je sastavni dio programskog paketa Telemac (EDF, 2012).

Artemis rješava jednadžbu blagog nagiba (Berkhoff, 1976.) koristeći tehniku konačnih elemenata. Ta jednadžba dobivena je iz osnovnih Navier-Stokes jednadžbi uzimajući u obzir nekoliko hipoteza kao što su:

- fluid je homogen, neviskozan, nestišljiv, konstantne gustoće
- tok se smatra bezvrtložni
- valovi su male strmine ($H/L \ll 1$ i $H/h \ll 1$)
- amplituda vala je mala
- dno je blagog nagiba
- površinska napetost je zanemarena
- Coriolis-ov efekt je zanemaren
- konstantan površinski pritisak

Osnovna jednadžba je nadopunjena članovima za disipaciju valne energije tako da može vjerno simulirati priobalne procese. Glavni izlazni parametri u svakom čvoru numeričke mreže su: visina, faza i smjer vala. Modul Artemis je namijenjen prvenstveno za analiziranje promjene valnog polja u priobalnom području (za prostorne domene od svega nekoliko kvadratnih kilometara) što odgovara analizi u ovom elaboratu. Programom su tretirani svi bitni fizikalni procesi koji se javljaju u hidrodinamici priobalja, a ovdje su navedeni samo važniji, poput:

- refleksija vala o čvrstu prepreku,
- difrakcija vala oko/iza prepreke,
- refrakcija vala uslijed promjene dubine,
- oplićavanje (eng. shoaling)
- multidirekcijski val,
- trenje s dnom,
- slom vala,
- struje uslijed vala

U nastavku dat je kratak pregled osnovnih jednadžbi i njihovo značenje.

Uz pretpostavku o fluidu koji je homogen neviskozan, nestišljiv i konstantne gustoće moguće je dati izraz za brzinski potencijal koji ima sljedeći izraz:

$$\phi(x, y, z, t) = f(z, h) \cdot \phi(x, y, z) \cdot e^{i\omega t}$$

dok osnovna jednadžba blagog nagiba izgleda ovako:

$$\nabla(CC_g \nabla \phi) + \omega^2 \frac{C_g}{C} \phi = 0$$

gdje su C i C_g fazna brzina i brzina grupe valova. Nadalje, dodajući izraz Booij i De Girolamo za disipaciju energije (trenje s dnom i slom vala) izraz poprima sljedeći oblik:

$$\nabla(CC_g \nabla \phi) + CC_g (k^2 + ik\mu) \phi = 0$$

gdje izraz u nastavku predstavlja disipacijski koeficijent, a W je funkcija disipacije.

$$\mu = \frac{W}{(CC_g)^{1/2}}$$

Energija valnog spektra opisana je kao suma monokromatskih valova. Krivulja koja opisuje energetske spektar u Artemis-u je dana izrazom Goda-e.

$$J(f) = \beta H_s^2 f_p^4 f^{-5} \exp\left[-1.25\left(\frac{f_p}{f}\right)^4\right] \gamma^n$$

a pri tom su:

$$n = \exp\left[-0.5\left(\frac{f/f_p - 1}{\sigma}\right)^2\right]$$

$$\beta = \frac{0.0624}{0.23 + 0.336\gamma - \frac{0.185}{1.9 + \gamma}}$$

gdje su:

- H_s je značajna visina vala, tj. H_{1/3} visinski srednjak u gornjoj trećini valne populacije
- f_p je vršna frekvencija
- s=0.07 ako je f<f_p i s=0.09 ako je f>f_p
- g je realan broj, generalno između 1 i 7
- spektar je Pierson-Moskowitz ako je 1 inače je Jonswap tipa.

Ako se može ukratko sublimirati, valna analiza se temelji na spektralnoj reprezentaciji nadolazećeg i deformiranih valova tj. razina vodnog lica u određenoj točki računa se kao

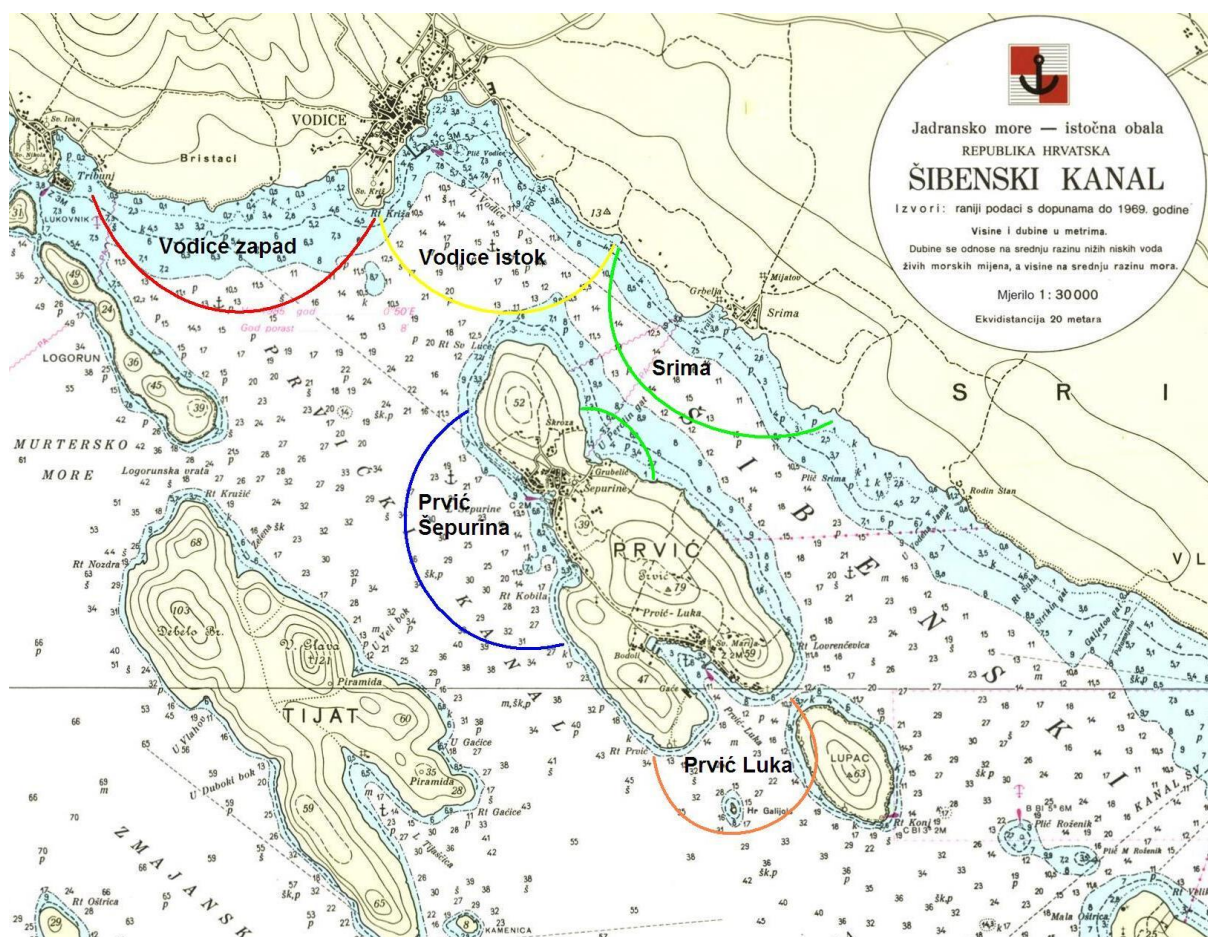
superpozicija konačnog broja monokromatskih valova, gdje se pritom svaki od tih valova kreće svojom pripadnom brzinom koja je funkcija perioda i dubine.

Artemis odnosno cijeli paket Telemac je prihvaćen u znanstvenoj literaturi. Više od 20 godina prošlo je od prve verzije te se isti svake godine nadopunjuje novim saznanjima akademske zajednice. Telemac odnosno Artemis se koristi u više od 200 znanstvenih institucija i gospodarskih subjekata diljem svijeta te je testiran i potvrđen na puno sličnih zadataka.

3 ULAZNI PARAMETRI MODELA

Pouzdanost rezultata hidrodinamičkog modela u ovisnosti je o kvaliteti ulaznih podataka. Za potrebe hidrodinamičkog modeliranja provedeni su opsežni istražni radovi. Premjer je vršen u nekoliko navrata i od strane više geodetskih tvrtki. Izvršen je detaljan geodetski premjer kopnenog dijela obalne linije te premjer morskog dna - batimetrija u obalnom pojasu od 100 metara od obalne linije duž cijelog obalnog pojasa VSP. Osim geodetskih premjera pribavljeni su kartografski prikazi poput pomorske karte (HHI) šireg područja Šibenskog kanala. Nadalje, pribavljeni su podaci o vjetru s najbliže meteorološke postaje Šibenik (DHMZ), na osnovu kojih je izvršena prognoza dubokovodnih valnih parametara s odgovarajućim povratnim razdobljima. Rezultati prognoze valnih parametara preuzeti su iz Elaborata vjetrovalne klime.

Cjelokupno područje obalnog pojasa podijeljeno je na pet obalnih zona za koje su formirane prostorne domene modela (Slika 2). Obalne zone su formirane obzirom na izloženost valovima uz uvažavanje prostorne podjele na 16 cjelina temeljem UPUVS.

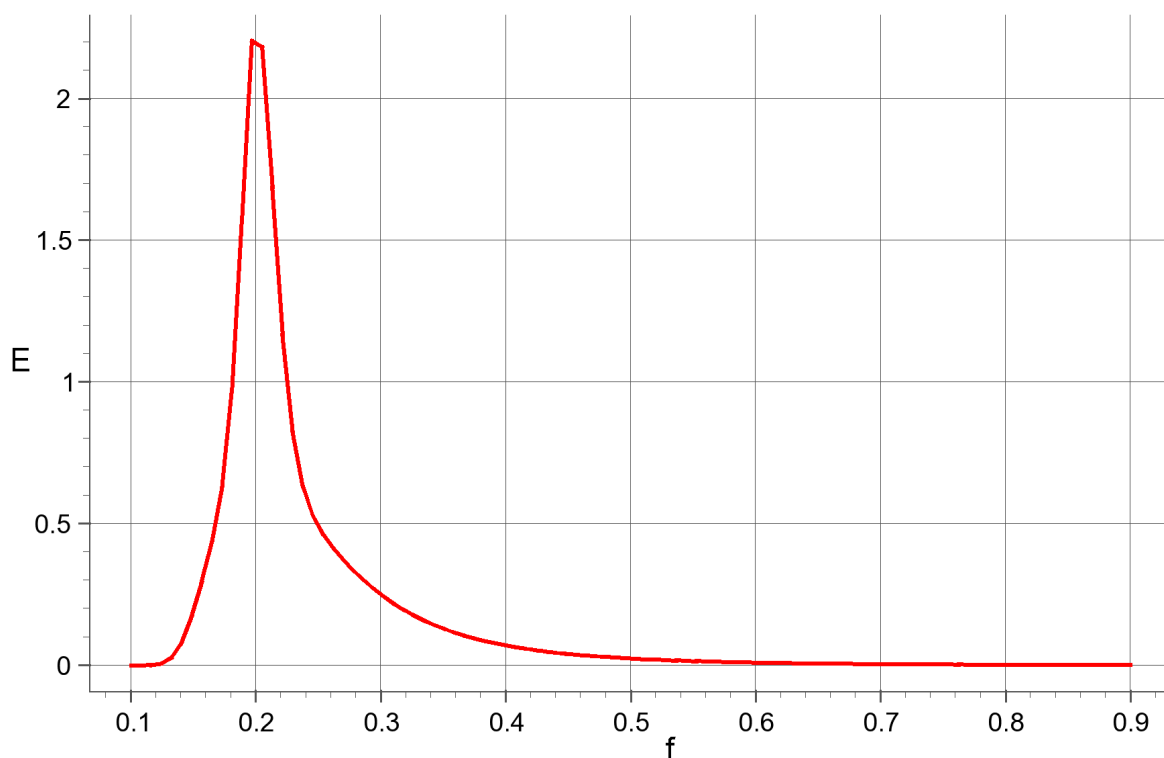


Slika 2. Šire područje akvatorija obalnog područja Vodice - Srjma - Prvić, s naznačenim zonama prema izloženosti valovima za koje su formirane prostorne domene hidrodinamičkog modela

3.1 Valni spektri

U modelu su analizirani valovi nastali od puhanja vjetra jer su isti zastupljeni oko 60% vremena i imaju najveću specifičnu energiju. Ostali generatori valnog polja (planetarne sile, oluje, seizmičke sile, valovi od brodova) nisu razmatrani. Za svaku od navedenih obalnih zona (Slika 2) i odgovarajućih sektora djelovanja vjetra odnosno valova formirani su valni spektri.

Rubni uvjet dolaznog vala u modelima je definiran odabirom dubokovodnih valnih spektara JONWAP tipa ($\gamma = 3,3$) sa statističkim obilježjima: (H_s) značajna valna visina i (T_p) vršni period valnog spektra (Tablice 1-5), čije su vrijednosti preuzete iz Elaborata vjetrovalne klime (Plimica d.o.o. Split, 2013.). Tablice su preuzete su iz navedenog elaborata te nadopunjene s vrijednostima za najmanji (T_{min}) i najveći (T_{max}) period valne populacije spektra, koji su određeni iz grafova distribucije energije vala obzirom na frekvencijski raspon. Obzirom svi analizirani valni spektri imaju sličan oblik raspodjele gustoće energije ovisno o frekvenciji vala dat je samo jedan primjer i to za obalnu zonu Vodice zapad za dolazni val iz sektora I (jugo) s povratnim periodom od 100 godina (Slika 3).



Slika 3. Prikaz distribucije energije valnog (JONSWAP, $\gamma=3,3$) spektra za obalnu zonu Vodice zapad, za nailazak valova iz sektora I (jugo), za povratni period od 100 god.

Tablica 1. Preuzeti valni parametri (H_s i T_p), izračunati rubovi frekvencijskog dijela spektra (T_{min} i T_{max}) za povratno razdoblje od 5 i 100 godina za obalnu zonu Vodice zapad

VODICE zapad	PR [god]	H_s [m]	T_p [s]	T_{min} [s]	T_{max} [s]
Sektor I (SE-SSE-S)	100	3.2	6.9	2.3	10.9
	5	2.6	6.3	2.1	10.0
Sektor III' (WSW-W-WNW)	100	0.6	2.8	1.1	4.5
	5	0.5	2.7	1.1	4.2

Tablica 2. Preuzeti valni parametri (H_s i T_p), izračunati rubovi frekvencijskog dijela spektra (T_{min} i T_{max}) za povratno razdoblje od 5 i 100 godina za obalnu zonu Vodice istok

VODICE istok	PR [god]	H_s [m]	T_p [s]	T_{min} [s]	T_{max} [s]
Sektor I' (ESE-SE-SSE)	100	2.4	5.8	2.0	9.2
	5	2.0	5.4	1.8	8.4
Sektor II (SSW-SW-WSW)	100	0.8	3.4	1.2	5.3
	5	0.7	3.2	1.1	5.0
Sektor III (W-WNW-NW)	100	0.7	3.1	1.2	5.0
	5	0.6	3.0	1.1	4.4

Tablica 3. Preuzeti valni parametri (H_s i T_p), izračunati rubovi frekvencijskog dijela spektra (T_{min} i T_{max}) za povratno razdoblje od 5 i 100 godina za obalnu zonu Srima

SRIMA	PR [god]	H_s [m]	T_p [s]	T_{min} [s]	T_{max} [s]
Sektor I' (ESE-SE-SSE)	100	2.4	5.8	2.0	9.2
	5	2.0	5.4	1.8	8.4
Sektor III (W-WNW-NW)	100	0.7	3.1	1.2	5.0
	5	0.6	3.0	1.1	4.4

Tablica 4. Preuzeti valni parametri (H_s i T_p), izračunati rubovi frekvencijskog dijela spektra (T_{min} i T_{max}) za povratno razdoblje od 5 i 100 godina za obalnu zonu Prvić Šepurina

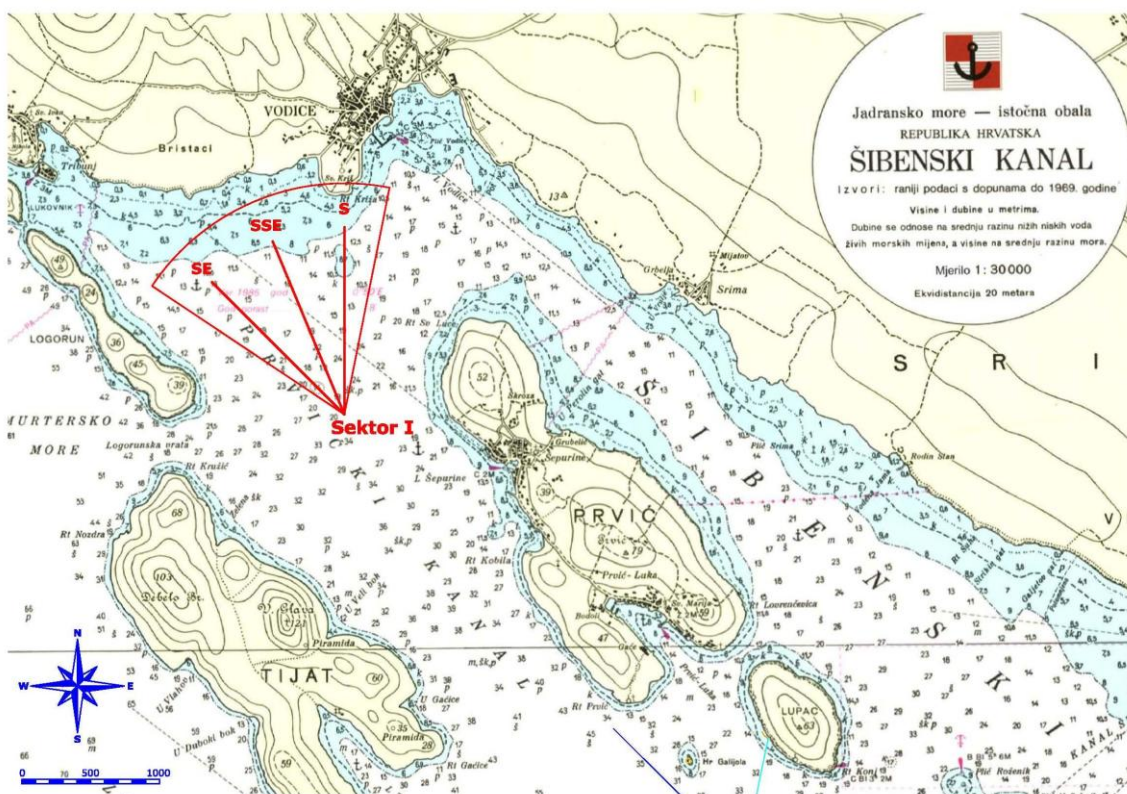
PRVIĆ ŠEPURINA	PR [god]	H_s [m]	T_p [s]	T_{min} [s]	T_{max} [s]
Sektor I (SE-SSE-S)	100	3.8	7.6	2.7	11.8
	5	3.1	7.0	2.5	11.1
Sektor II (SSW-SW-WSW)	100	0.6	2.8	1.1	4.5
	5	0.5	2.7	1.1	4.2
Sektor III (W-WNW-NW)	100	1.0	3.8	1.3	6.2
	5	0.9	3.7	1.3	5.8

Tablica 5. Preuzeti valni parametri (H_s i T_p), izračunati rubovi frekvencijskog dijela spektra (T_{min} i T_{max}) za povratno razdoblje od 5 i 100 godina za obalnu zonu Prvić Luka

PRVIĆ LUKA	PR [god]	H_s [m]	T_p [s]	T_{min} [s]	T_{max} [s]
Sektor I (SE-SSE-S)	100	4.2	8.1	2.8	12.5
	5	3.5	7.4	2.6	11.1
Sektor II (SSW-SW-WSW)	100	0.8	3.4	1.2	5.3
	5	0.7	3.2	1.1	5.0

Navedeni primjer (Slika 3), kao i svi drugi analizirani spektri za preostale obalne zone i sektore nailaska valova, ima karakterističan oblik raspodjele valne energije gdje dominira ispupčenost za vršnu frekvenciju (tipičan oblik spektra „svježe“ nastalih valova) i relativno široki frekvencijski raspon. Obzirom na ograničenost kompjuterskih resursa u modelima je postavljena gornja granica za frekvencijski raspon $f_{\max}=0.4\text{Hz}$ odnosno pripadni period $T_{\min}=2.5\text{s}$. Drugim riječima valni spektri su formirani superpozicijom monokromatskih valova s minimalnim periodom od $T_{\min}=2.5\text{s}$ do valova s maksimalnim periodom koji je izračunat za pojedini slučaj. Iz Slike 3 se vidi kako zanemareni dio spektra ($f > f_{\max}=0.4\text{Hz}$) predstavlja minorni udjel u ukupnoj energiji dolaznog vala, tj. to ograničenje praktično nema utjecaja na rezultate modela naročito imajući na umu da valovi manjih perioda imaju manju brzinu i slabiji utjecaj na obalnu liniju.

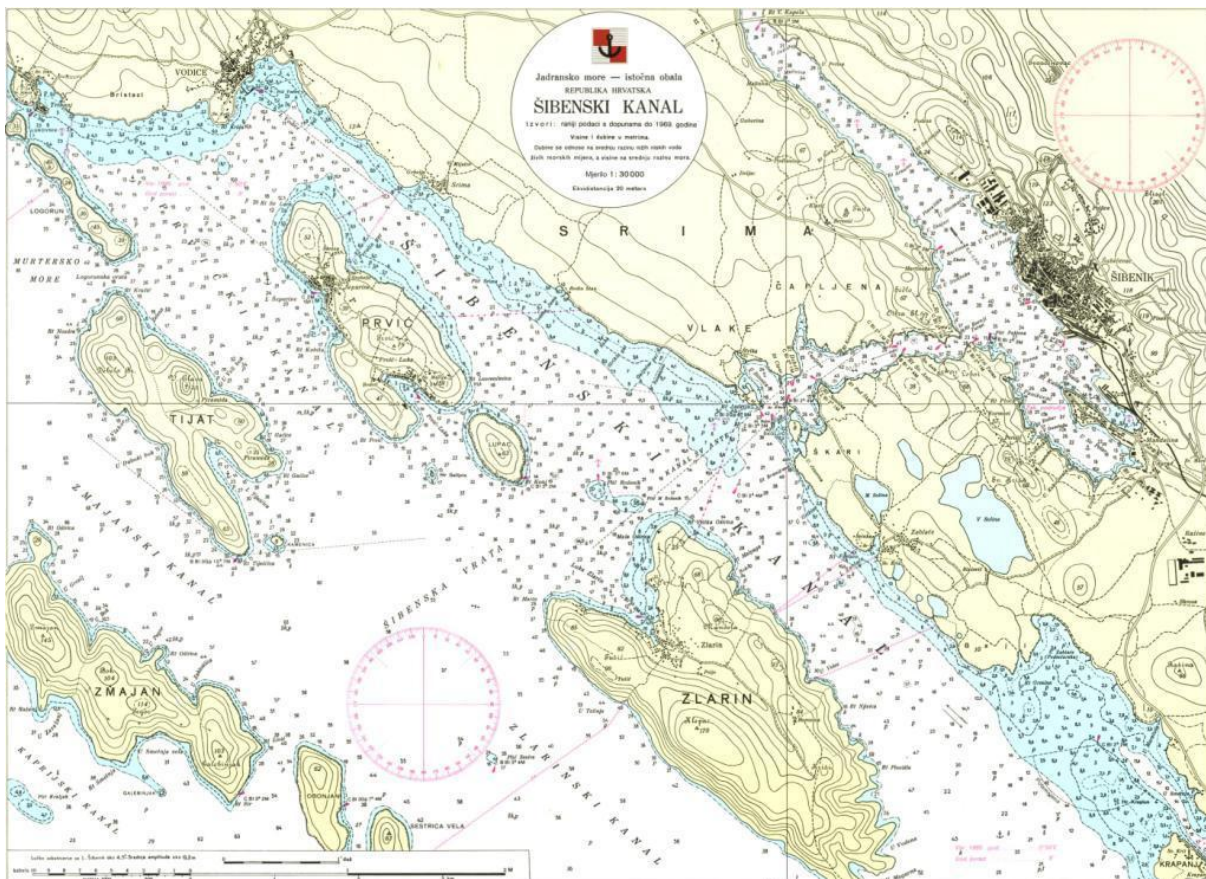
Kako vjetrovi nemaju stalan smjer puhanja, u modelu korišteni valni spektri imaju direkcijsku disperziju oko dominantnog smjera (centralne zrake) u iznosu $\Delta\theta = \pm 33.75^\circ$, čime se simuliraju realni uvjeti puhanja vjetra iz navedenih sektora. Direkcijska disperzija energije incidentnog vala u modelu je definirana izrazom Goda-e (Goda, 1987.). Raspon direkcijske disperzije prikazan je na primjeru dolaznog vala iz sektora I (jugo) za obalnu zonu Vodice zapad (Slika 4). Za pojedine slučajeve gdje je izraženo kanaliziranje valne energije (npr. obalne zone Vodice istok i Srma za djelovanje vala iz smjera jugo) direkcijska disperzija je smanjena na $\Delta\theta = \pm 22.5^\circ$.



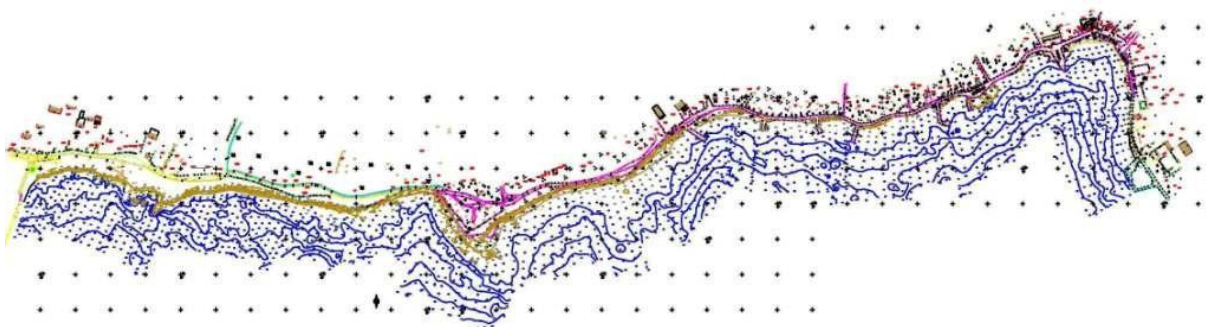
Slika 4. Raspon direkcijske disperzije dolaznog vala za sektor I (jugo), za područje Vodice zapad

3.2 Prostorne domene

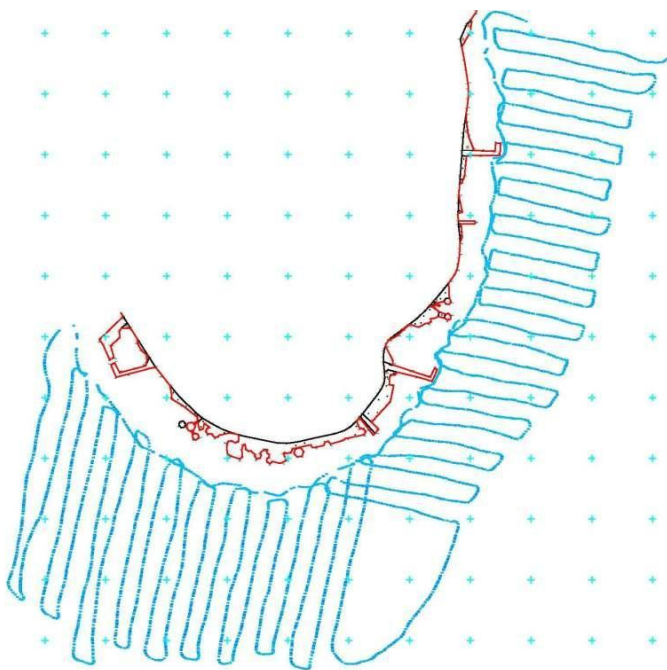
Prostorne domene numeričkih modela izrađene su temeljem raspoloživih geodetsko-batimetrijskih podloga. Šire područje obalnog pojasa VSP preuzeto je iz pomorske karte br. 533 Hrvatskog hidrografskog instituta (Slika 5), dok je detaljna obalna linija i batimetrija obalnog pojasa do 100 metara preuzeta iz geodetskih premjera izvršenih u nekoliko navrata (2003, 2005, 2006, 2008 i 2013 godine) i to od sljedećih specijaliziranih tvrtki: Tripodij d.o.o. Split, Podloga d.o.o. Solin, Geodezija d.o.o. Šibenik (Slike 6-12).



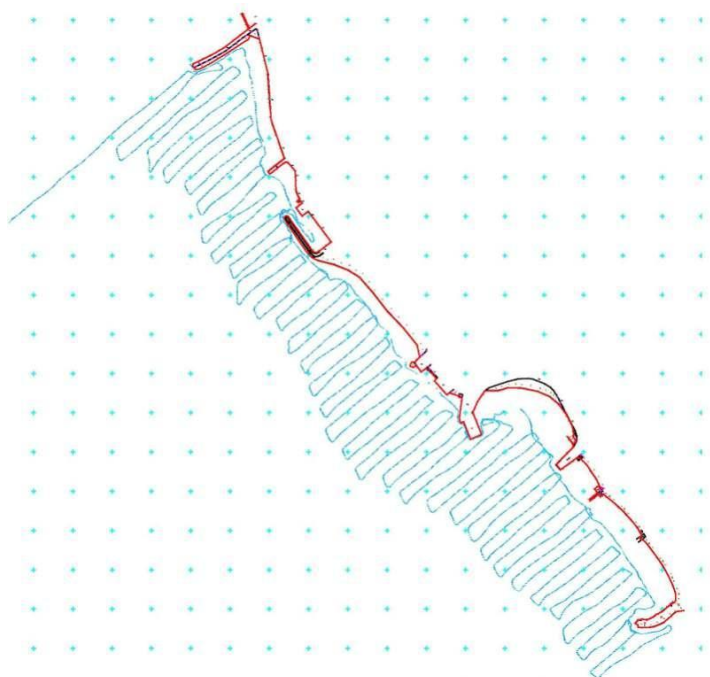
Slika 5. Batimetrijska podloga / Pomorska karta šireg područja obalnog pojasa VSP



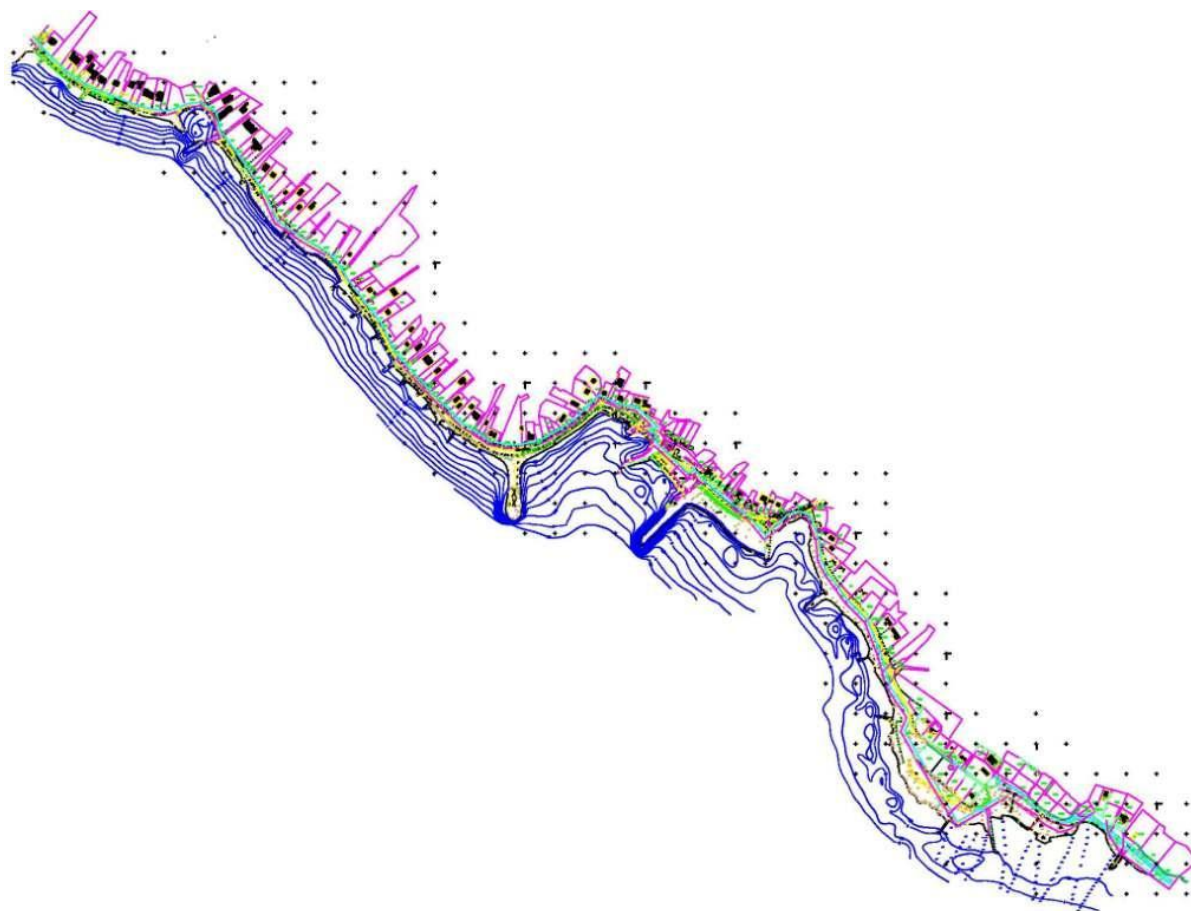
Slika 6. Batimetrijska podloga / Geodetski premjer poteza od Tribunja do kupališta Punta



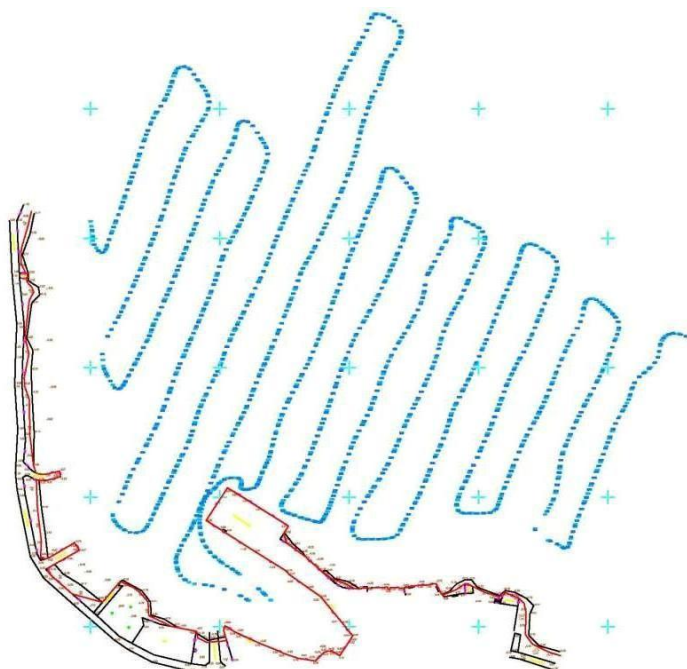
Slika 7. Batimetrijska podloga / Geodetski premjer kupališta Punta



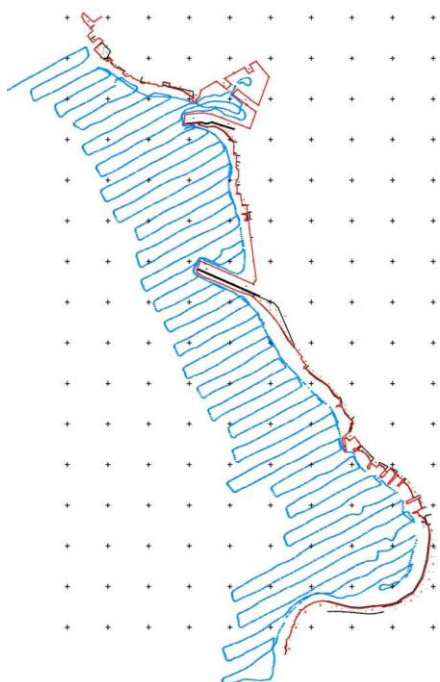
Slika 8. Batimetrijska podloga / Geodetski premjer dijela obalne zone Vodice istok



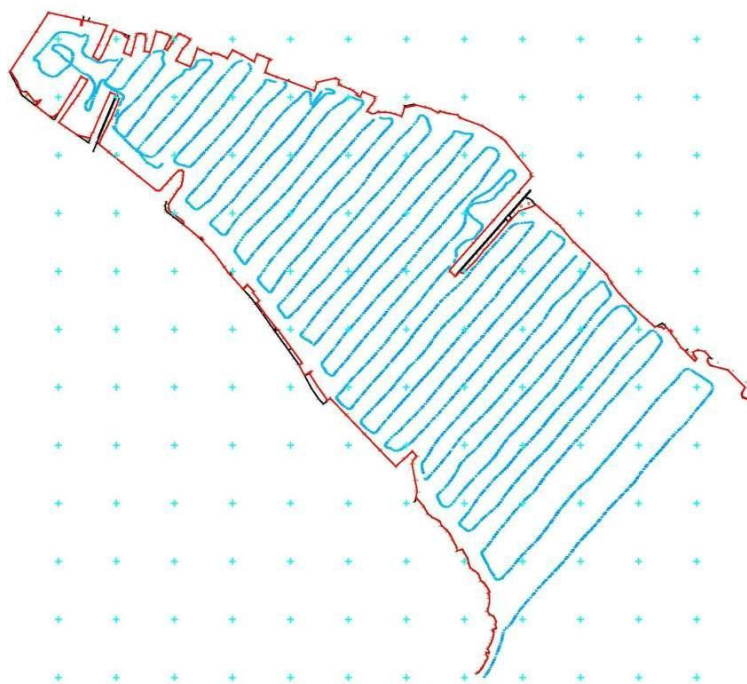
Slika 9. Batimetrijska podloga / Geodetski premjer dijela obalne zone Vodice istok i cijela zona Srima



Slika 10. Batimetrijska podloga / Geodetski premjer luke Prvić Perolina



Slika 11. Batimetrijska podloga / Geodetski premjer obalne zone Prvić Šepurina



Slika 12. Batimetrijska podloga / Geodetski premjer luke Prvić Luka

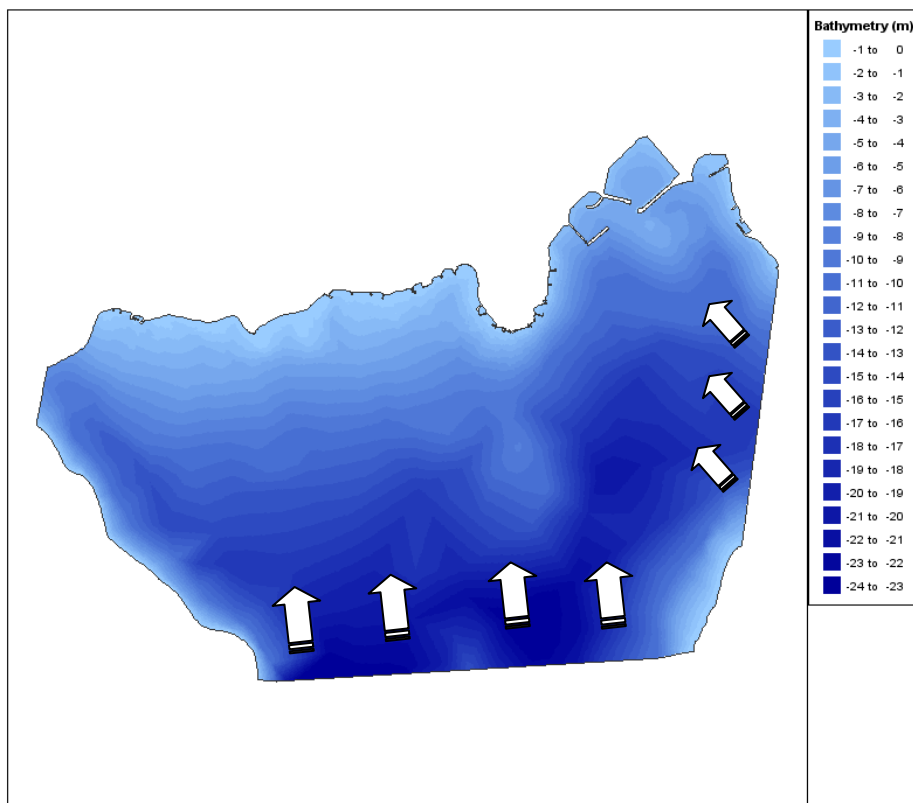
Sve domene modela referencirane su na hidrografsku nulu. Za pojedine prostorne cjeline urađena je dodatna analiza gdje su numeričke simulacije provedene za uvjete plime gdje je inicijalna razina vodnog lica u modelu izdignuta za 0.5m odnosno 0.3m za djelovanje juga odnosno maestrala. Namjera simulacije nailaska vala na obalu pri izdignutoj razini vodnog lica je analiza utjecaja nivoa mora na poziciju zone sloma vala. Promjene većih razmjera očekivane (zabilježene) su za plaže obzirom na njihov izrazito blagi nagib dna, što pri većoj razini vodnog lica propagira točku početka loma vala znatno bliže obali.

Zaključno napravljeno je 11 osnovnih prostornih domena (Tablica 6) koje obuhvaćaju svih pet obalnih zona i prilagođene su za analizu odgovarajućih dolaznih valnih spektara. Treba napomenuti kako su domene B3 i C3 spojene u jednu.

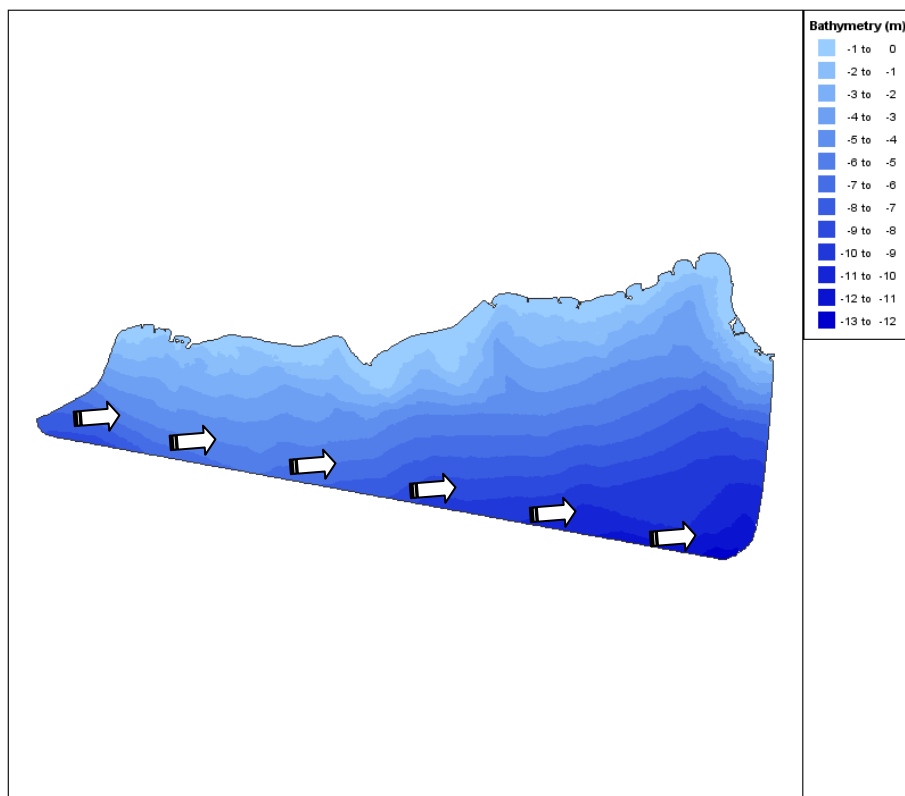
Tablica 6. Prostorne domene numeričkog modela

Oznaka domene	Obalna zona i dolazni smjer vala
<i>Domena A</i>	<i>VODICE zapad</i>
Domena A1	val iz SE-SSE-S smjera
Domena A3	val iz WSW-W-WNW smjera
<i>Domena B</i>	<i>VODICE istok</i>
Domena B1	val iz ESE-SE-SSE smjera
Domena B2	val iz SSW-SW-WSW smjera
Domena B3	val iz W-WNW-NW smjera
<i>Domena C</i>	<i>SRIMA</i>
Domena C1	val iz ESE-SE-SSE smjera
Domena C3	val iz W-WNW-NW smjera
<i>Domena D</i>	<i>PRVIĆ ŠEPURINA</i>
Domena D1	val iz SE-SSE-S smjera
Domena D2	val iz SSW-SW-WSW smjera
Domena D3	val iz W-WNW-NW smjera
<i>Domena E</i>	<i>PRVIĆ LUKA</i>
Domena E1	val iz SE-SSE-S smjera
Domena E2	val iz SSW-SW-WSW smjera

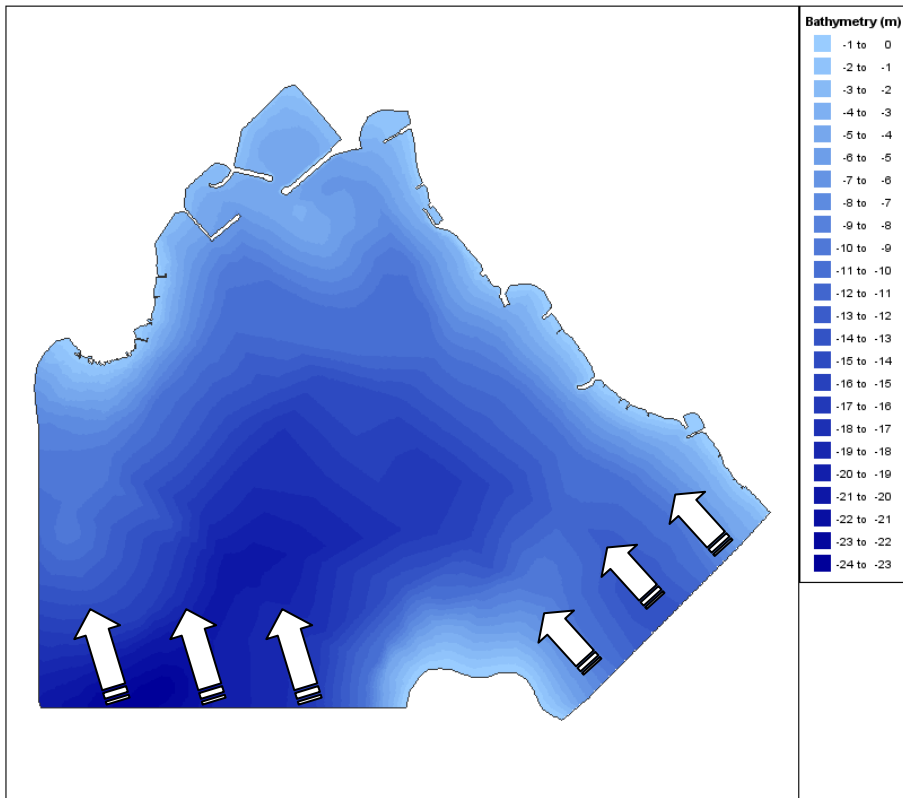
Na prikazu prostornih domena (Slike 13-23) u podlozi je digitalizirana batimetrija na kojoj su označene linije tekućih granica na kojoj je zadan prisilni rubni uvjet - dolazni valni spektar, te je još simbolički naznačen glavni smjer djelovanja dolaznog vala u numeričkom modelu.



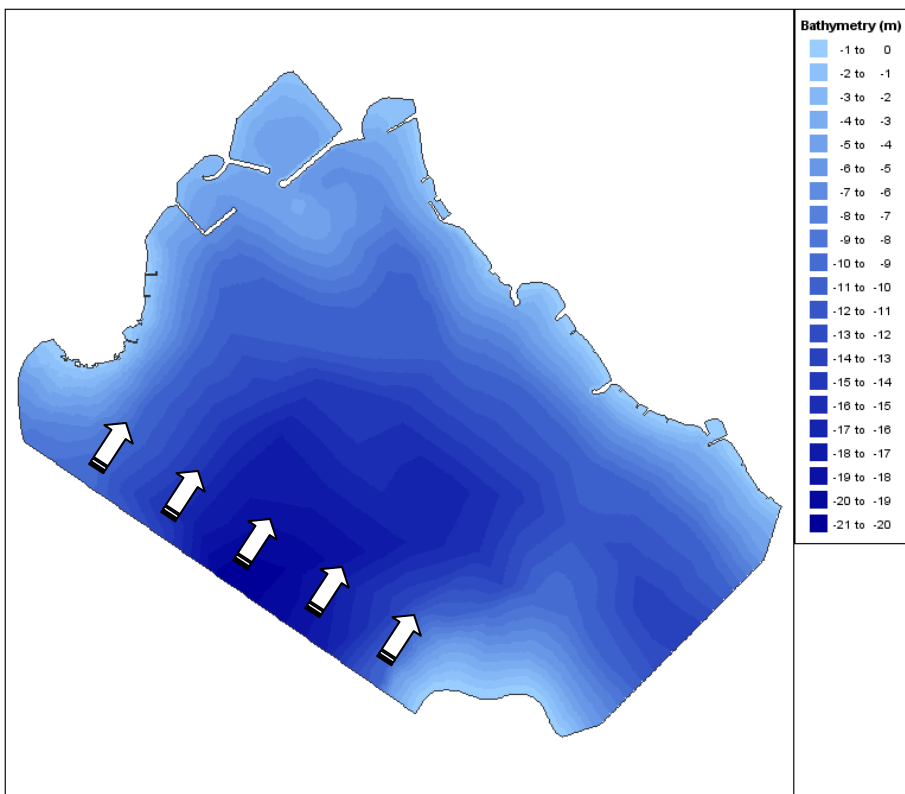
Slika 13. Prostorna domena num. modela s batimetrijom i linijom generiranja vala / Vodice zapad - A1



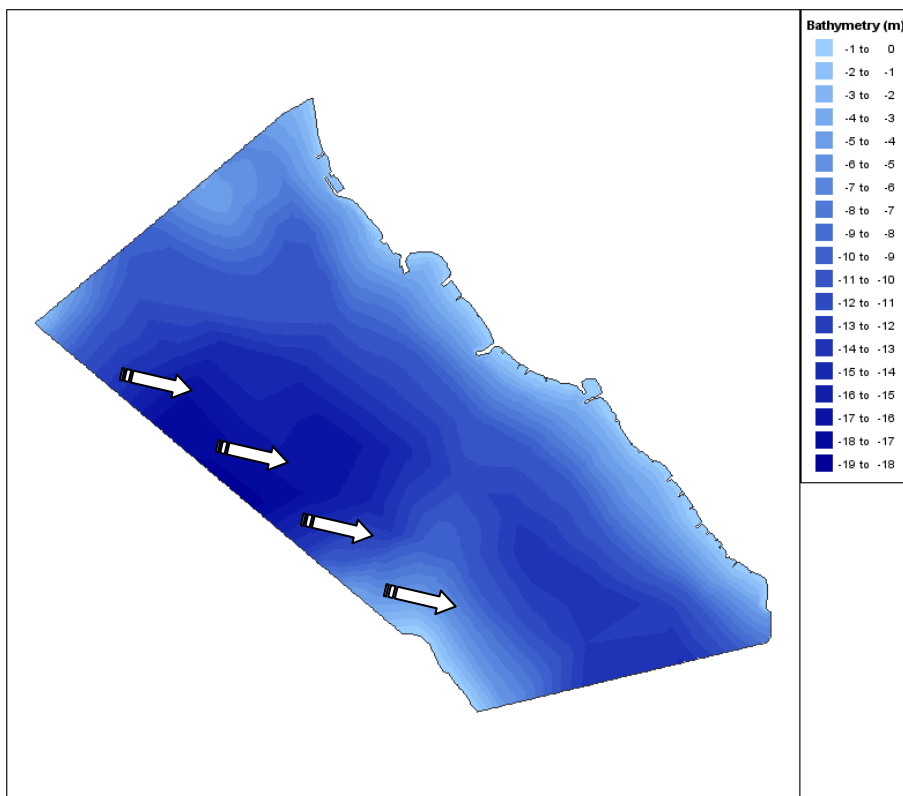
Slika 14. Prostorna domena num. modela s batimetrijom i linijom generiranja vala / Vodice zapad - A3



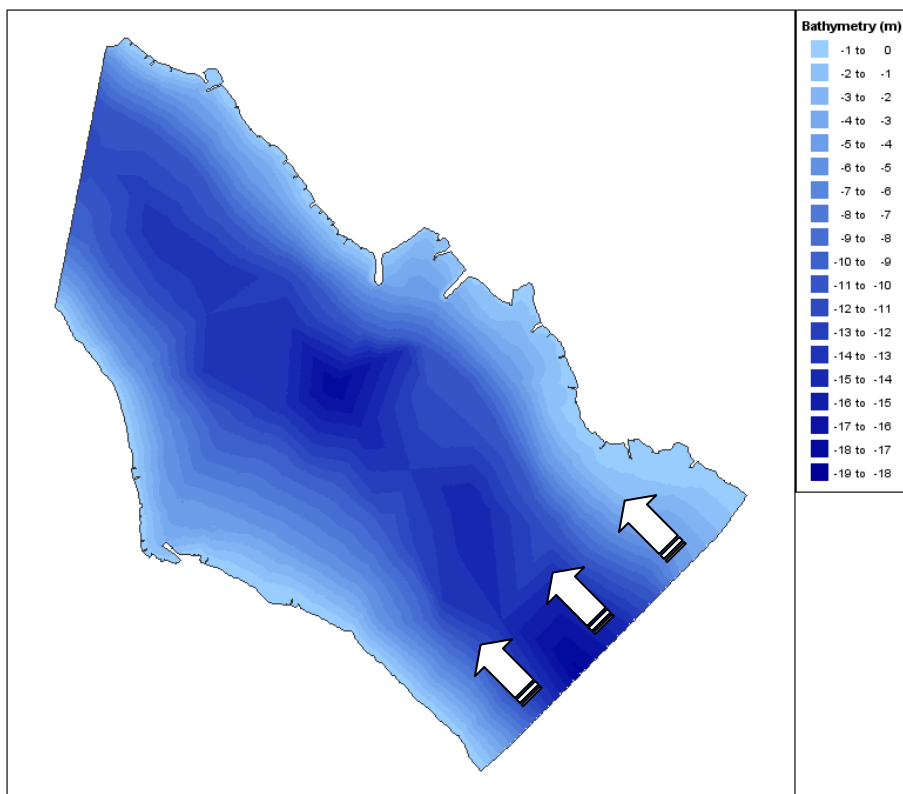
Slika 15. Prostorna domena num. modela s batimetrijom i linijom generiranja vala / Vodice istok - B1



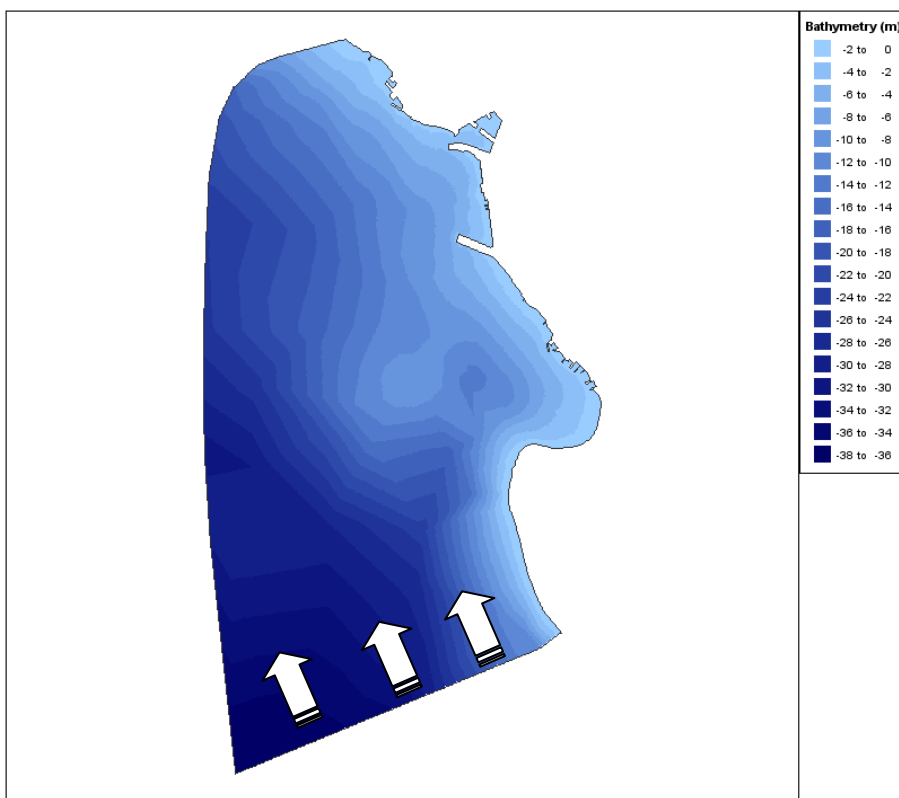
Slika 16. Prostorna domena num. modela s batimetrijom i linijom generiranja vala / Vodice istok - B2



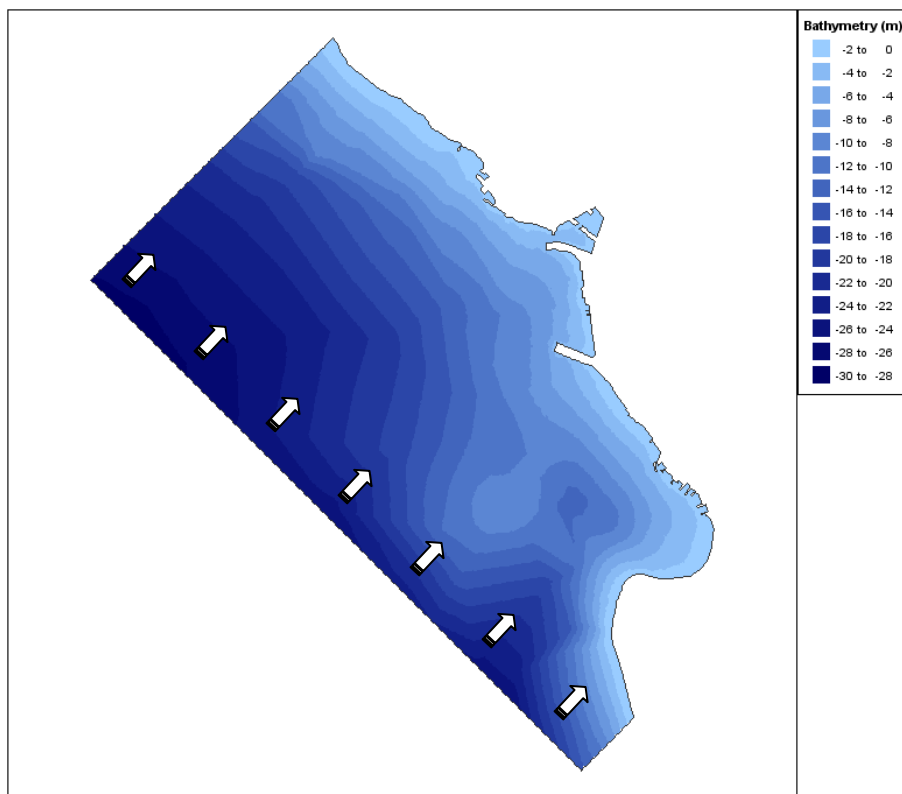
Slika 17. Prostorna domena num. modela s batimetrijom i linijom generiranja vala / Vodice istok - B3



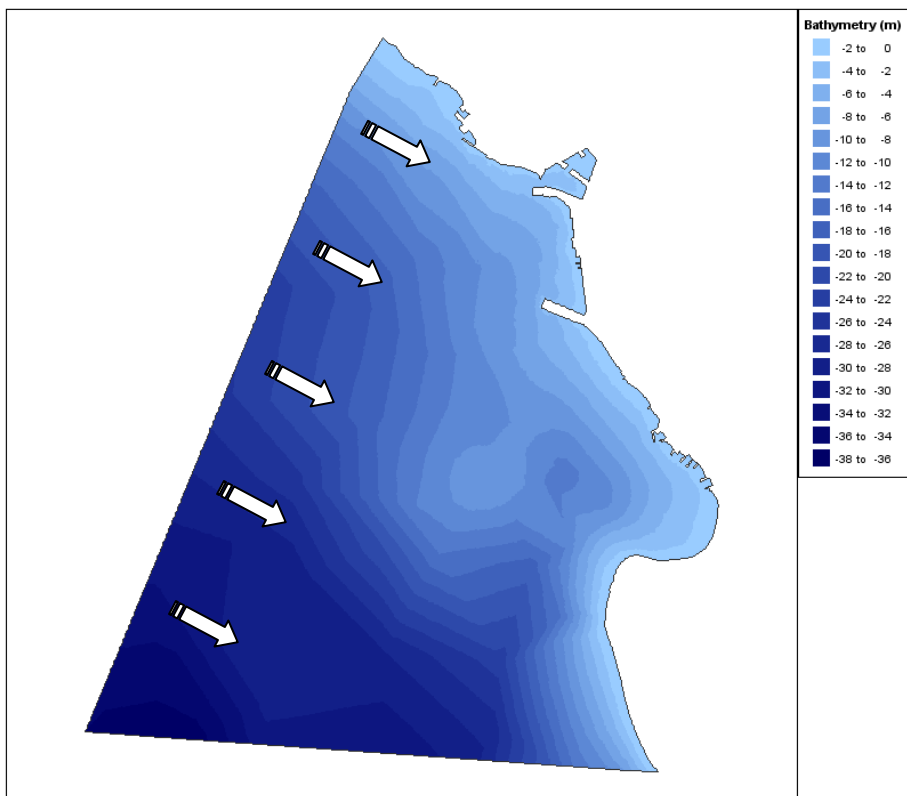
Slika 18. Prostorna domena num. modela s batimetrijom i linijom generiranja vala / Srma - C1



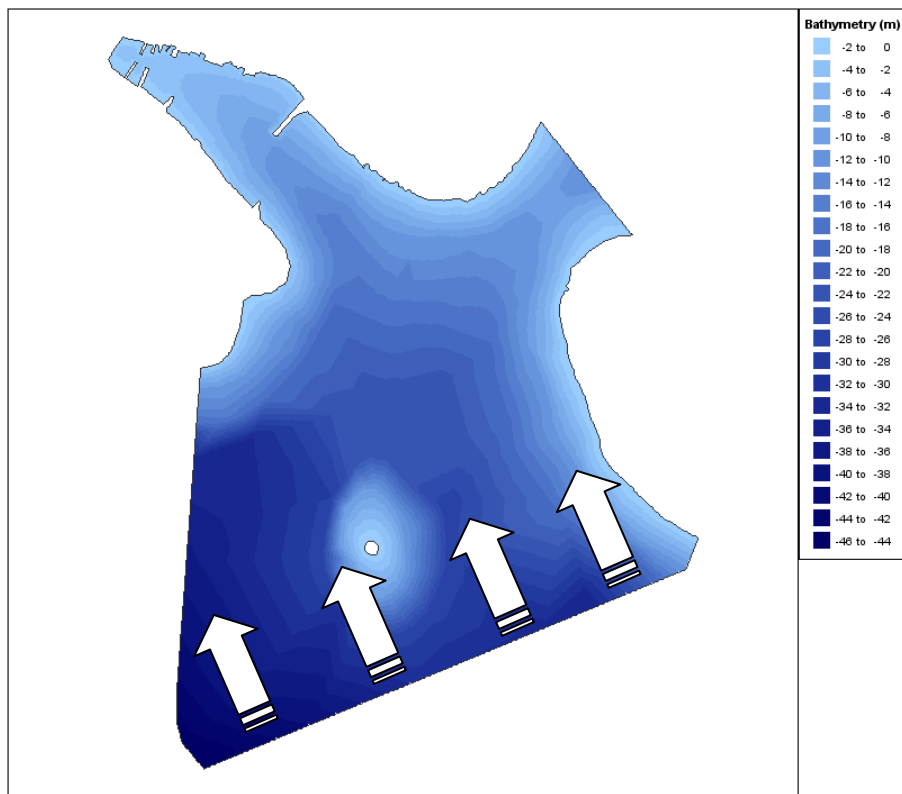
Slika 19. Prostorna domena num. modela s batimetrijom i linijom generiranja vala / Prvić Šepurina - D1



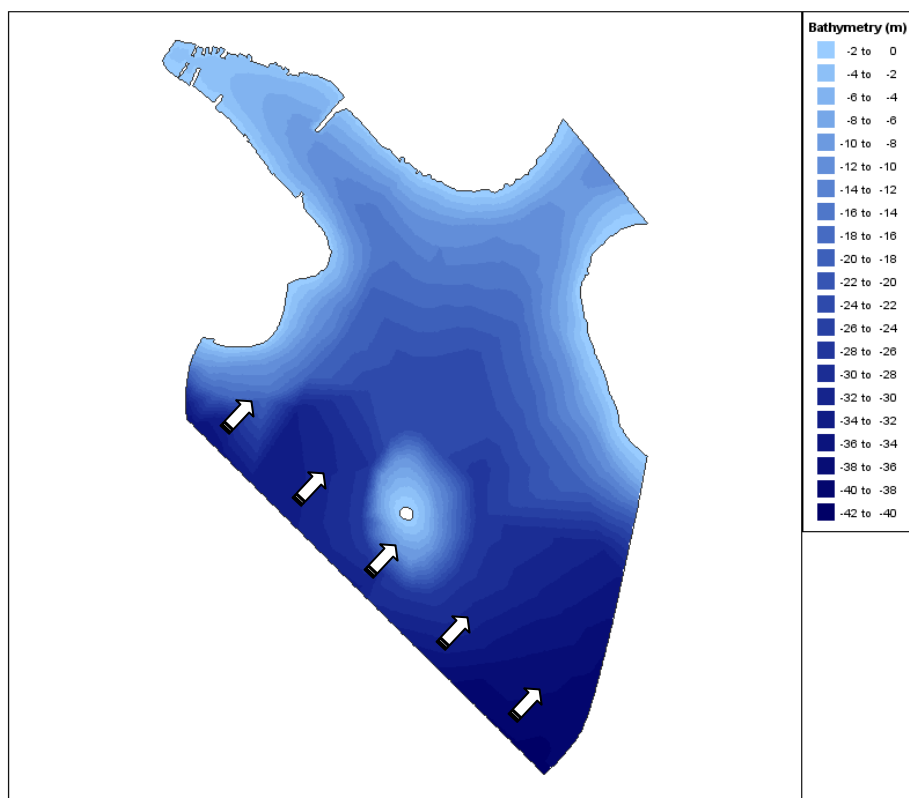
Slika 20. Prostorna domena num. modela s batimetrijom i linijom generiranja vala / Prvić Šepurina - D2



Slika 21. Prostorna domena num. modela s batimetrijom i linijom generiranja vala / Prvić Šepurina - D3



Slika 22. Prostorna domena num. modela s batimetrijom i linijom generiranja vala / Prvić Luka - E1



Slika 23. Prostorna domena num. modela s batimetrijom i linijom generiranja vala / Prvić Luka -E3

3.3 Rubni uvjeti

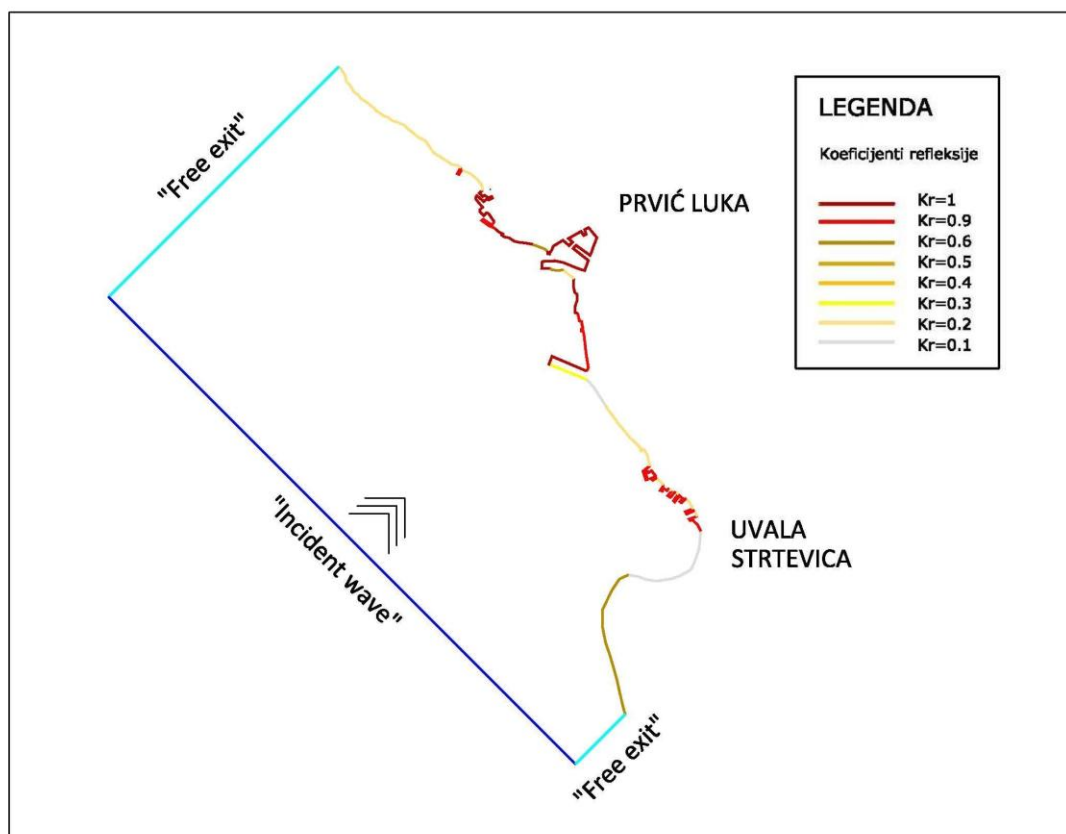
Temeljem digitalizirane batimetrije i obalne linije, generirana je numerička mreža trokutastih konačnih elemenata (Slika 24). Korišteni prostorni inkrement u domenama varira $\Delta x = 2$ do 6 metara, gdje su manje vrijednosti u plićim zonama i području oštrije promjene nagiba dno odnosno za domene koje su korištene za simulaciju valnog spektra s malim periodima vala. Područje za koje nema izmjerenih vrijednosti dubina korištena je linearna interpolacija temeljem vrijednosti susjednih numeričkih čvorova.



Slika 24. Domena modela za područje Prvić Luka - prikaz numeričke mreže konačnih elemenata

Za potrebe numeričkog modela evidentirano je postojeće stanje obalnih građevina luka te stanja plaža. Temeljem uvida u postojeće stanje i literaturnih podataka odabrani su koeficijenti refleksije za segmente obalne linije duž cijelog obalnog pojasa VSP. Numerički opis željenog stupnja refleksije od obalne crte (plaža, obala tipa stijene, obalni zid, gatovi, lukobran i sl.) te disipacija energije vala u prostornoj domeni modela ostvarena je upotrebom refleksijskih rubova modela (*eng. solid type boundary*) i absorbirajućih rubova modela (*eng. free exit type boundary*) sa baždarnim numeričkim koeficijentima. Čvrsta granica modela zadana je koeficijentom refleksije, dok je pomak u fazi je zanemaren. Koeficijent refleksije u modelu varira od 1 do 0.1 što respektivno predstavlja čvrsti

nepropusni vertikalni zid (npr. riva) i blago položena plaža od sitnog šljunka ili pijeska. Apsorbirajućim rubom modela onemogućuje se refleksija valova od fiktivno „krutih“ granica numeričkog modela koje nisu prisutne u stvarnosti odnosno širenje valne energije izvan područja primarnog interesa. Domena modela zatvorena je s južne strane tekućom granicom na moru. Granica tipa „free exit“ omogućuje da valna energija izlazi iz domene modela, dok je na granici tipa „incident wave“ zadan rubni uvjet odnosno dolazni valni spektar s tim da reflektirana valna energija iz modela može slobodno i izaći kroz tu granicu. Primjer definiranja rubnih uvjeta s aspekta refleksije i apsorpcije valne energije dat je za obalnu cjelinu Prvić Luka (Slika 25).



Slika 25. Domena modela s prikazom numeričkih točaka i rubnih uvjeta za varijantu 1b (čvrsta granica, tekuća slobodna granica i tekuća granica incidentnog vala)

Osim navedenog, disipacija energije u modelu tretirana je efektom sloma vala koji je zadan izrazom Dally-a (Dally et al. 1984.). U ovoj analizi trenje s dnom nije tretirano u nijednoj numeričkoj simulaciji iz razloga jer se radi o relativno maloj prostornoj domeni a nadolazeći incidentni val „osjeća“ dno tek pri dolasku u plitkovodnu zonu tj. pri ulasku u akvatorij luke odnosno bliže obali/plažama, pa se može zanemariti. K tome slom vala ima veći disipacijski efekt u odnosu na trenje s dnom u promatranom akvatoriju.

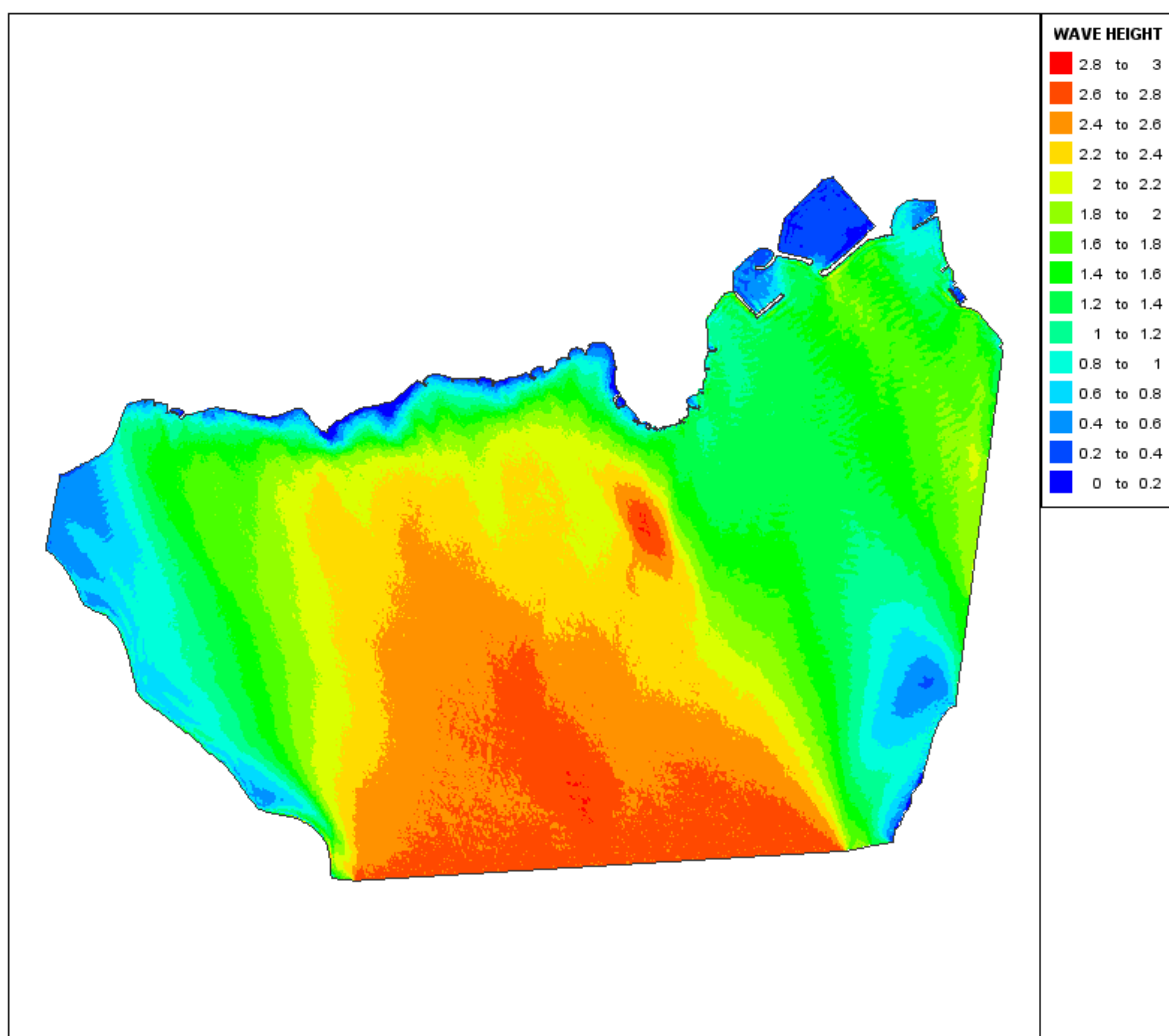
4 REZULTATI MODELA

4.1 Obalna zona Vodice - zapad

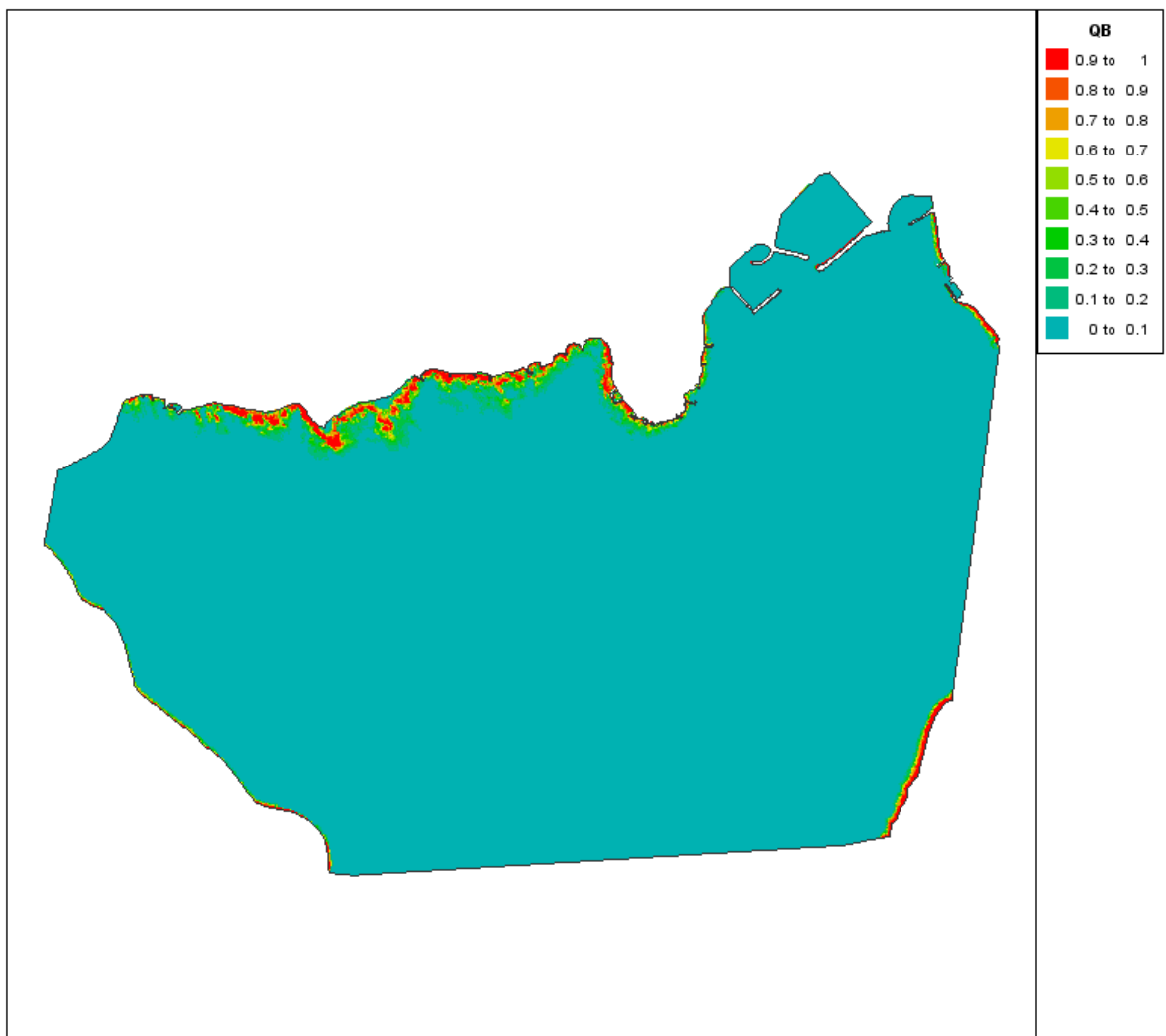
Obalna zona Vodice - zapad obuhvaća prostorne cjeline:

- Kupalište Bristak-istok
- Kupalište Blata
- Kupalište Punta

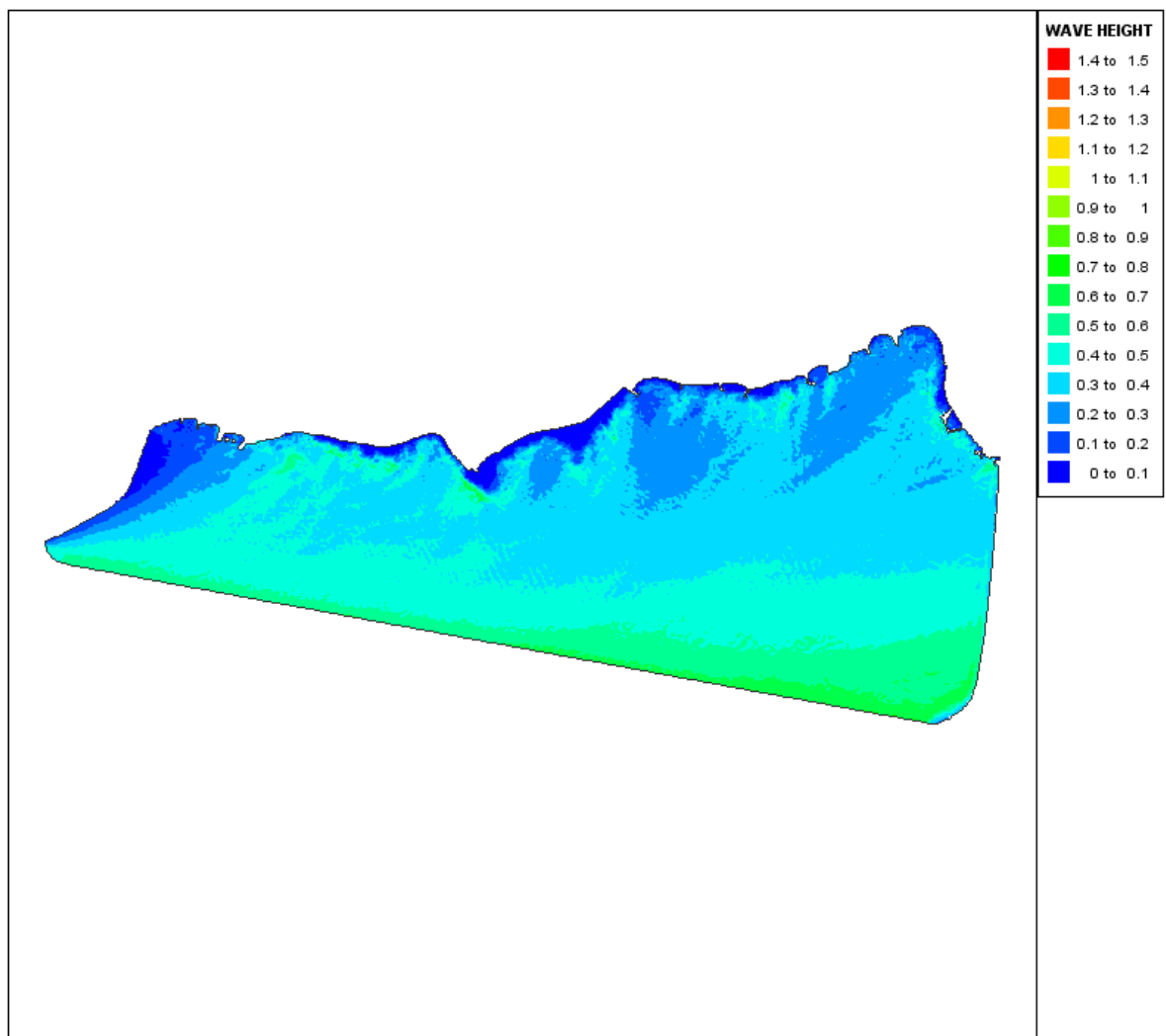
Numeričkim simulacijama analizirano je djelovanje valova iz smjera jugo (sektor I) i maestral (sektor III). Utjecaj valova na plaže analiziran je valnim spektrima s povratnim razdobljem od 5 godina. Prikazana je raspodjela značajne valne visine (H_s) i zona loma (Q_b) dolaznog vala na domeni modela koja objedinjuje navedene prostorne cjeline (Slike 26-29).



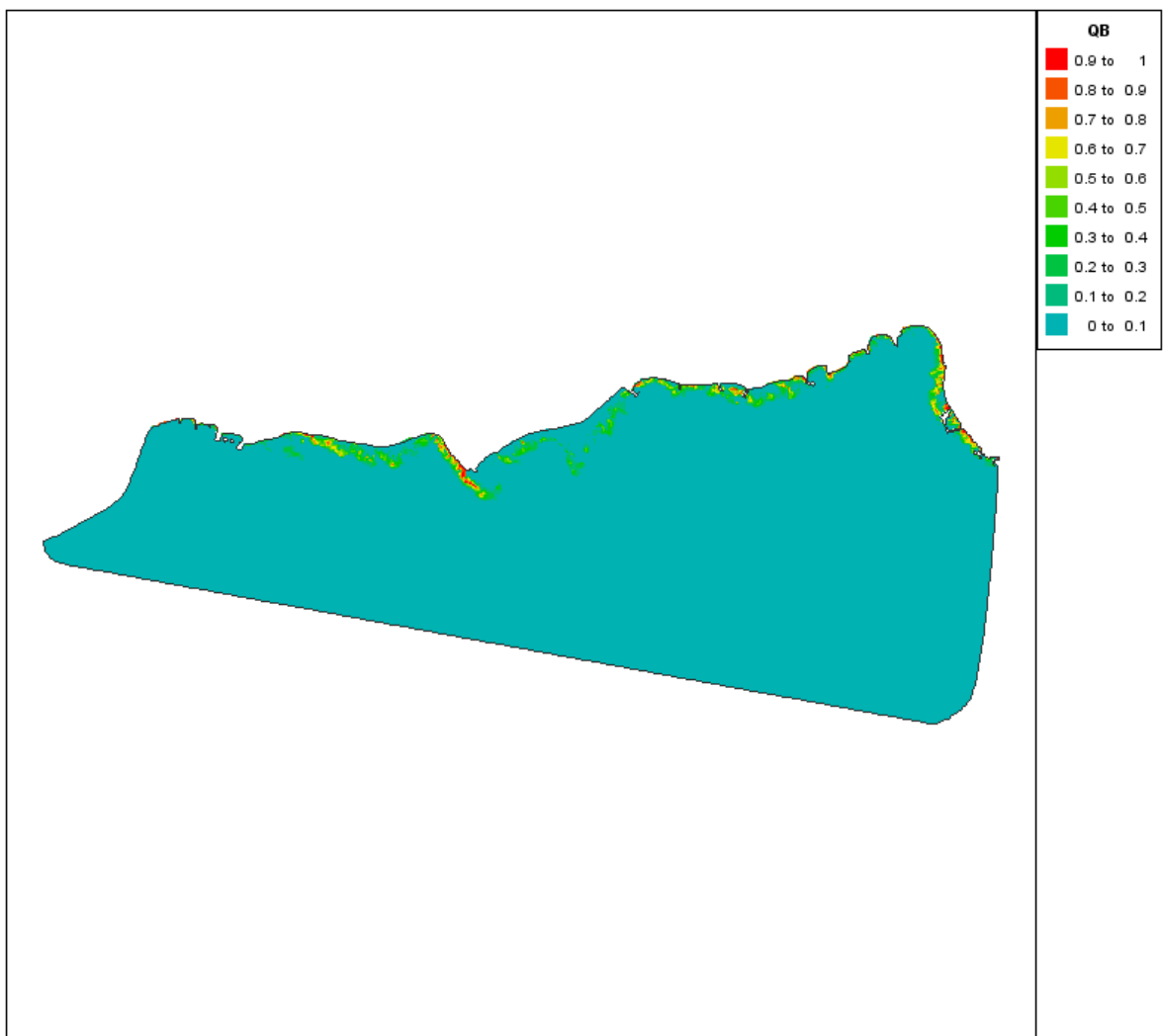
Slika 26. Prikaz značajnih valnih visina za Vodice zapad / A1-5
(dolazni valni spektar: smjer SE-SSE-S / PR=5god / $H_s=2.6$ m / $T_p=6.3$ / $\Delta\theta=33^\circ$ / $z=srm$)



Slika 27. Prikaz zone loma vala za Vodice zapad / A1-5



Slika 28. Prikaz značajnih valnih visina za Vodice zapad / A3-5
 (dolazni valni spektar: smjer WSW-W-WNW / PR=5god / $H_s=0.6$ m / $T_p=2.8$ / $\Delta\theta=33^\circ$ / $z=srm$)



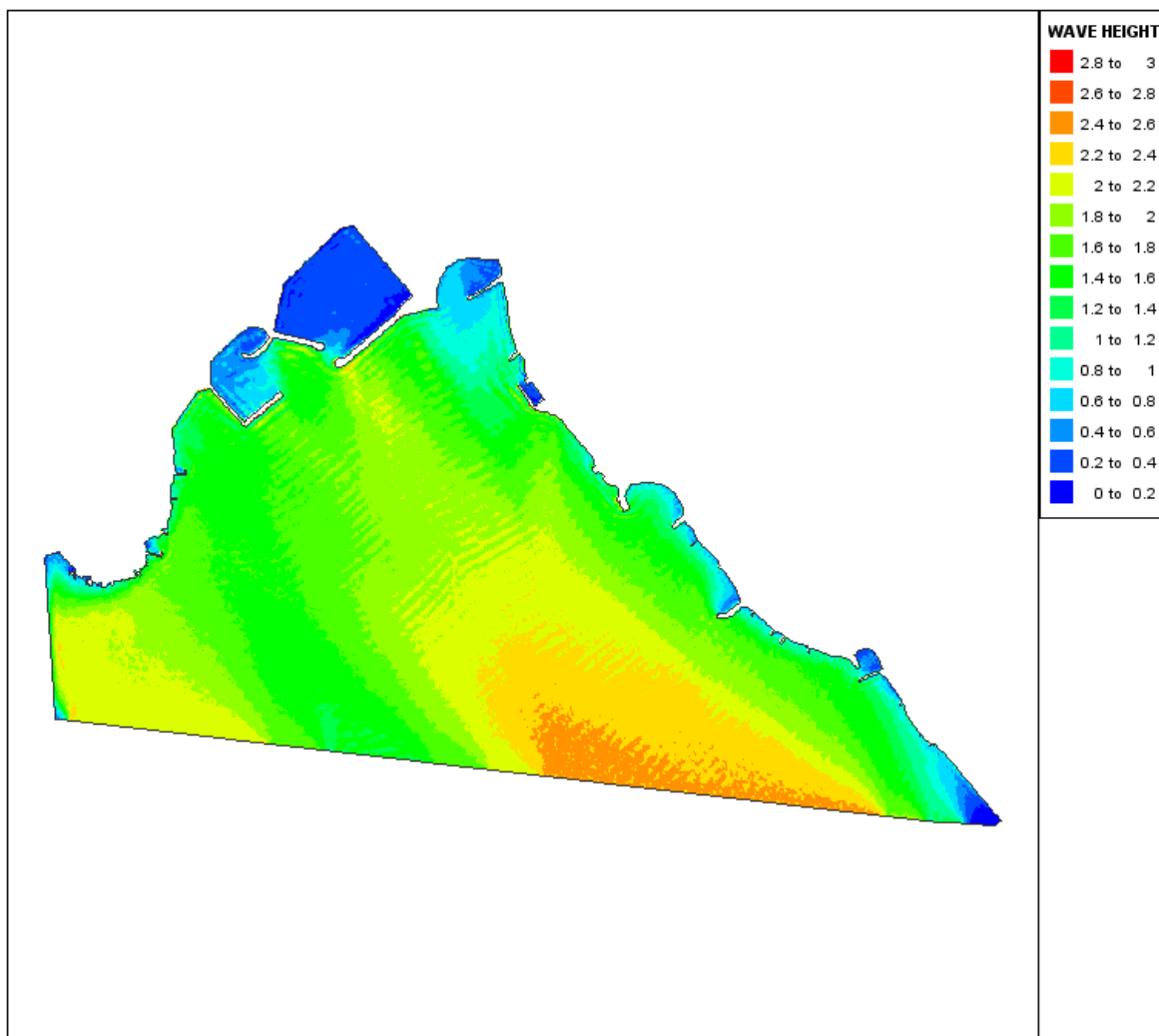
Slika 29. Prikaz zone loma vala za Vodice zapad / A3-5

4.2 Obalna zona Vodice - istok

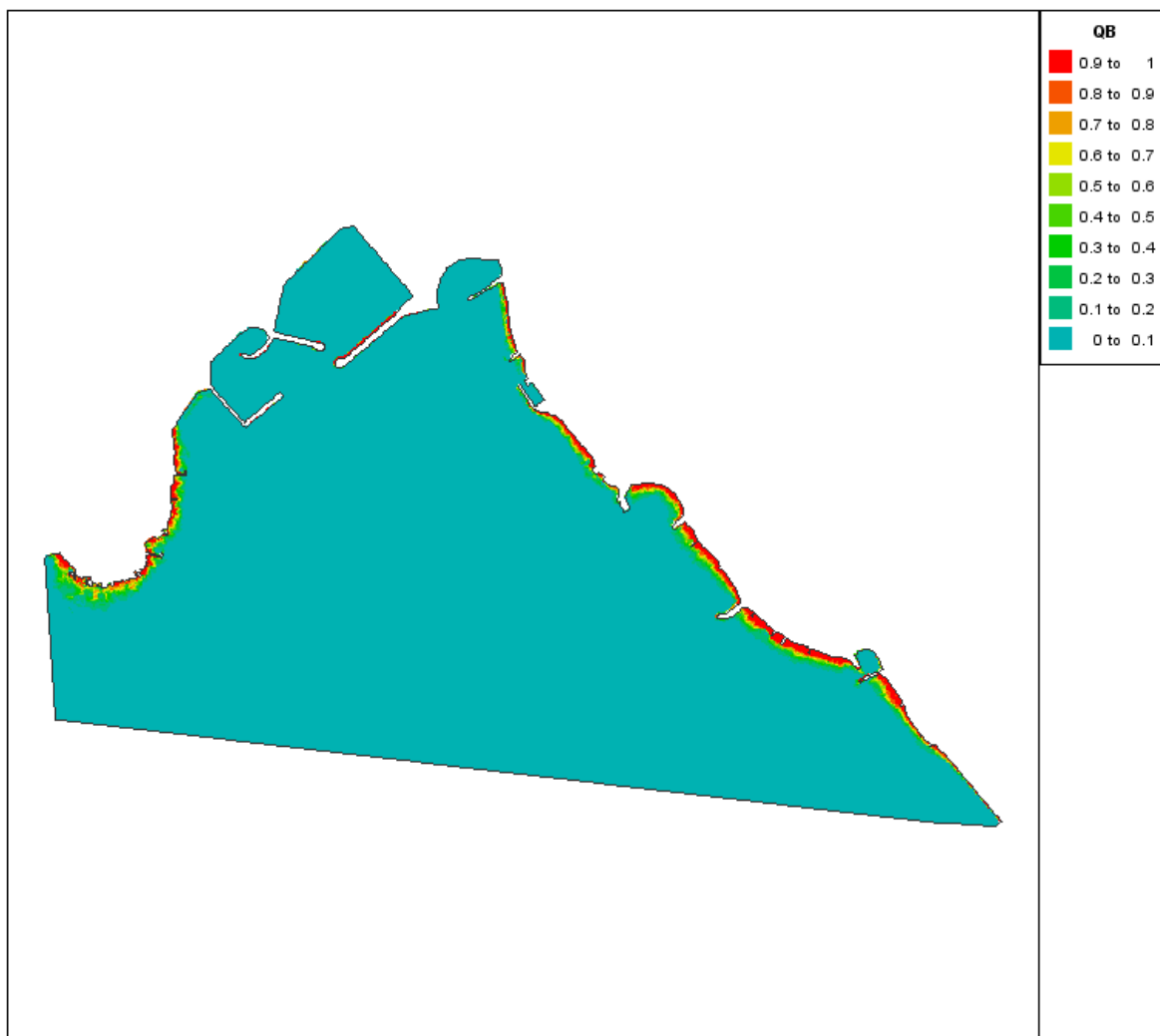
Obalna zona Vodice - istok obuhvaća prostorne cjeline:

- Luka Vodice
- Luka Male Vruje
- Luka Velike Vruje

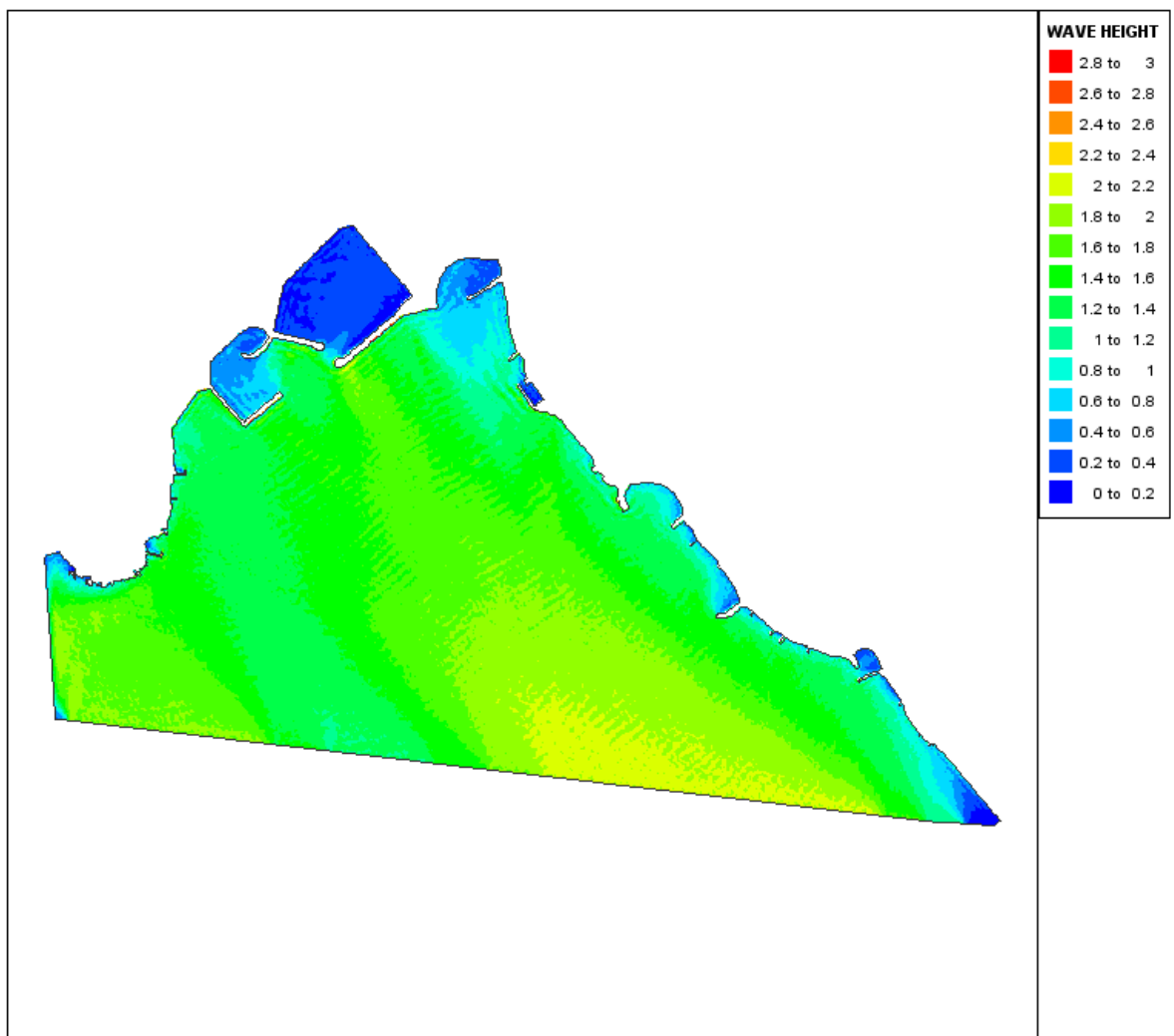
Numeričkim simulacijama analizirano je djelovanje valova iz smjera jugo (sektor I), lebić (sektor II) i maestral (sektor III). Utjecaj valova na plaže analiziran je valnim spektrima s povratnim razdobljem od 5 godina, a za luke s 100 godina. Prikazana je raspodjela značajne valne visine (H_s) i zona sloma (Q_b) dolaznog vala na domeni modela koja objedinjuje navedene prostorne cjeline (Slike 30-39).



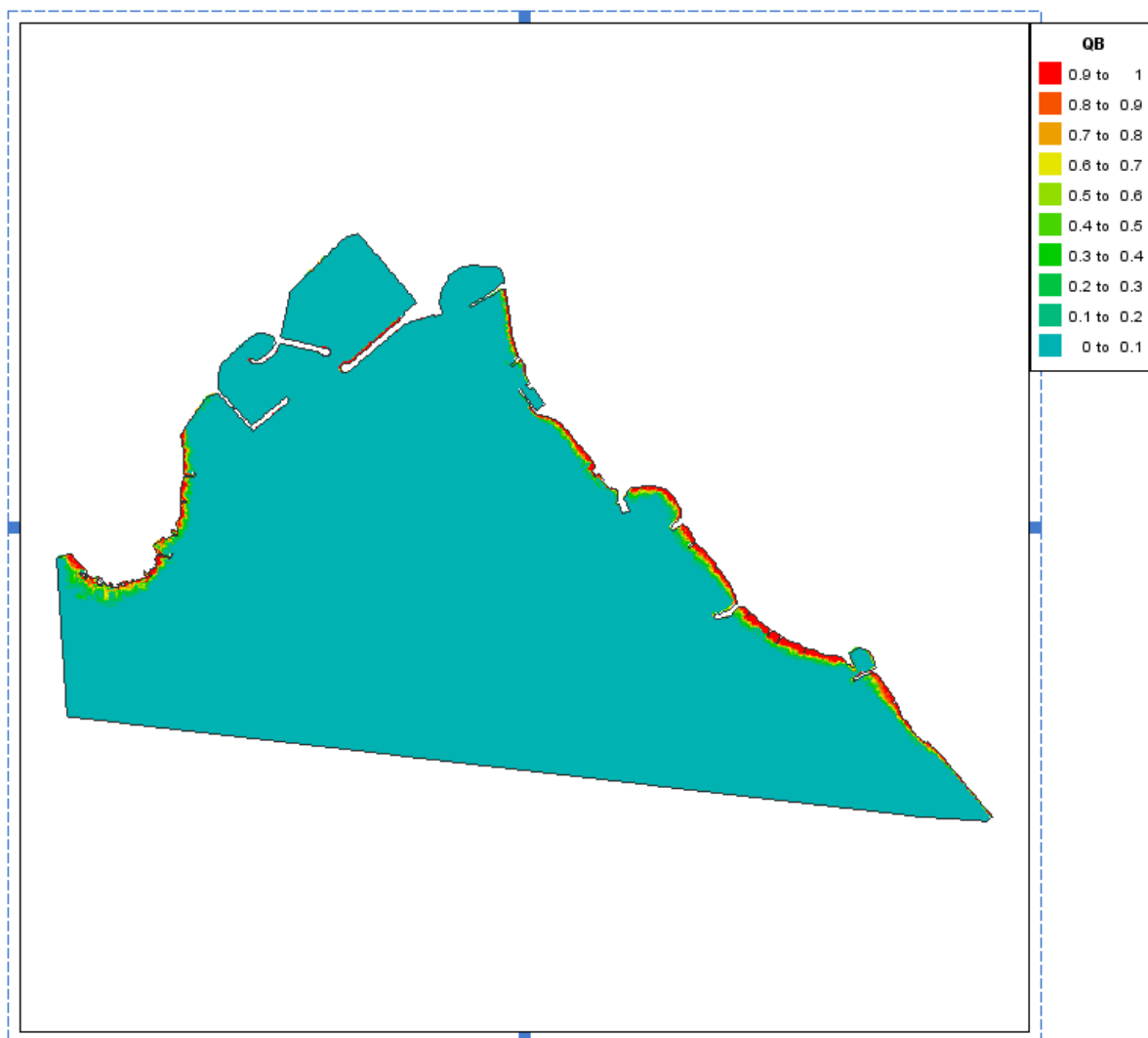
Slika 30. Prikaz značajnih valnih visina za Vodice istok / B1-100
(dolazni valni spektar: smjer ESE-SE-SSE / PR=100god / $H_s=2.4$ m / $T_p=5.8$ / $\Delta\theta=22^\circ$ / z=srm)



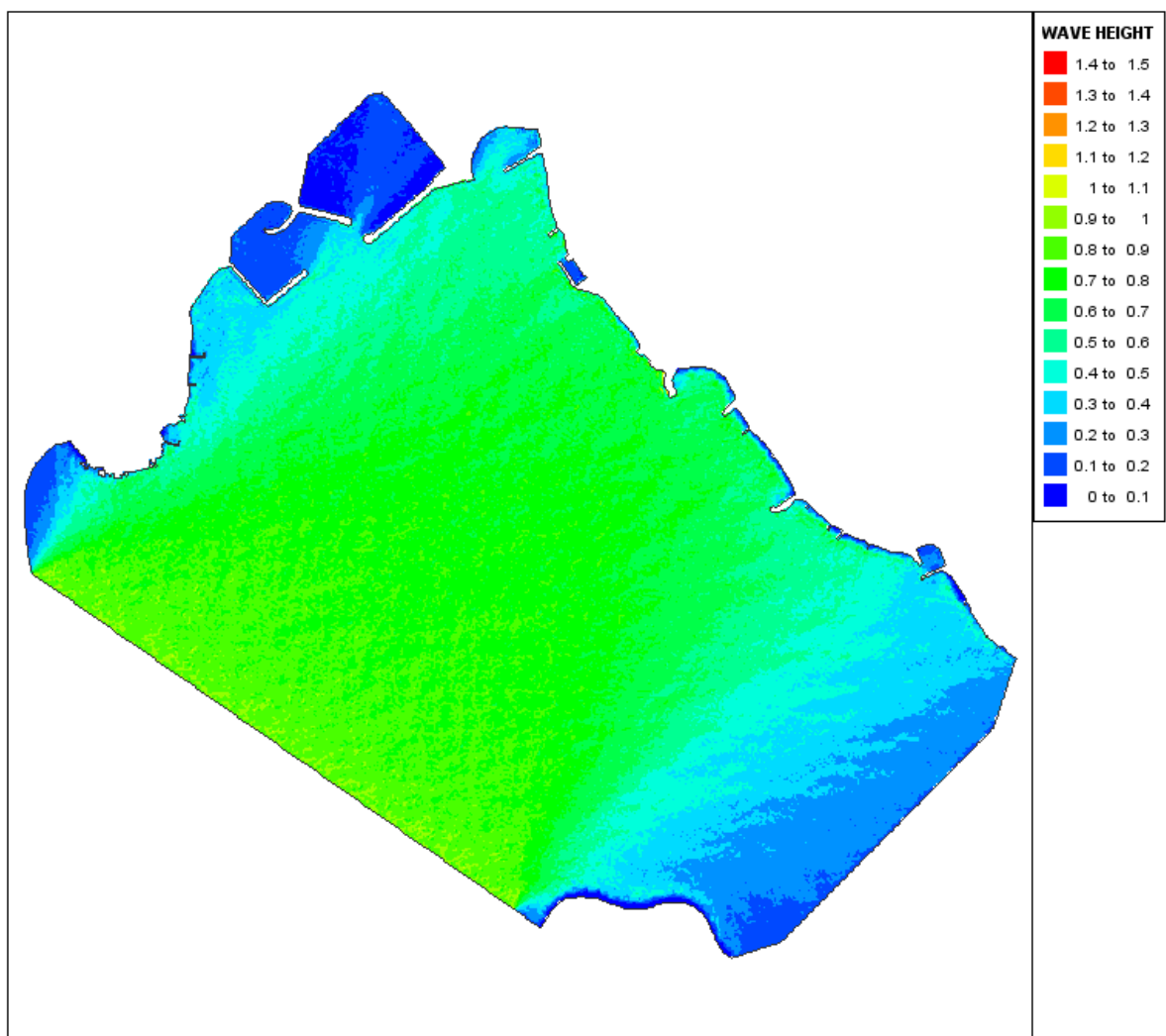
Slika 31. Prikaz zone loma vala za Vodice istok / B1-100



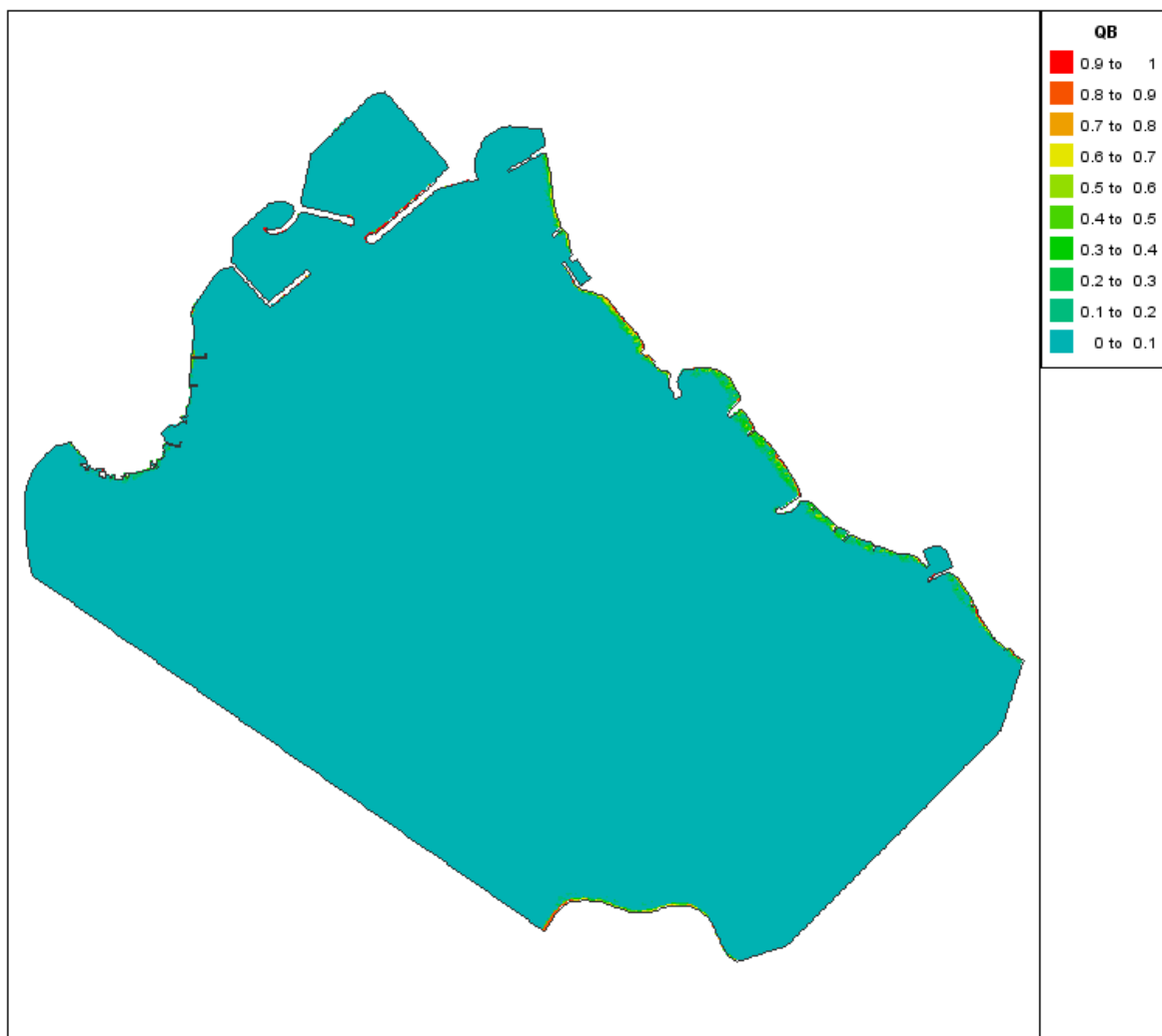
Slika 32. Prikaz značajnih valnih visina za Vodice istok / B1-5
 (dolazni valni spektar: smjer ESE-SE-SSE / PR=5god / $H_s=2.0$ m / $T_p=5.4$ / $\Delta\theta=22^\circ$ / $z=srm$)



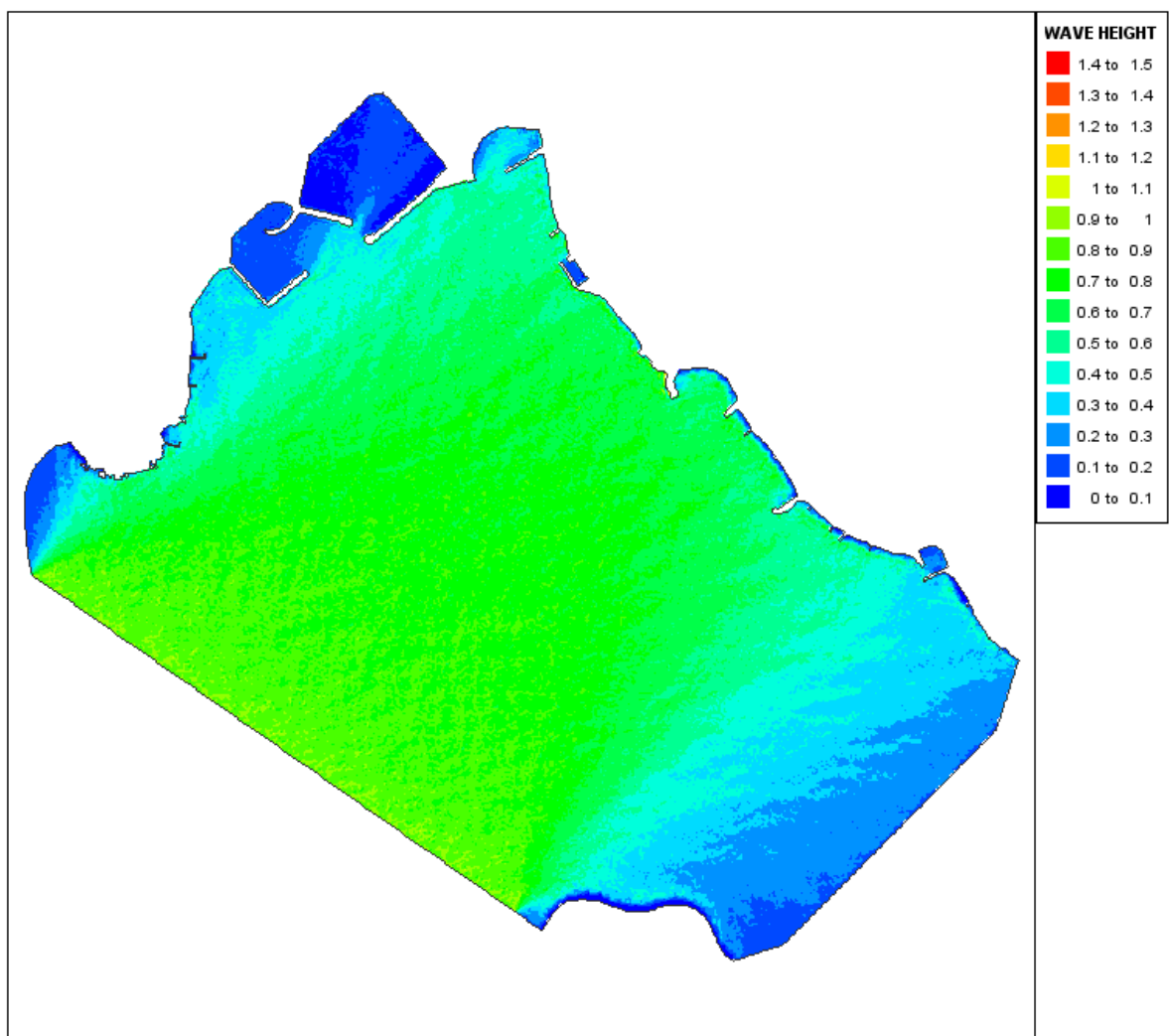
Slika 33. Prikaz zone loma vala za Vodice istok / B1-5



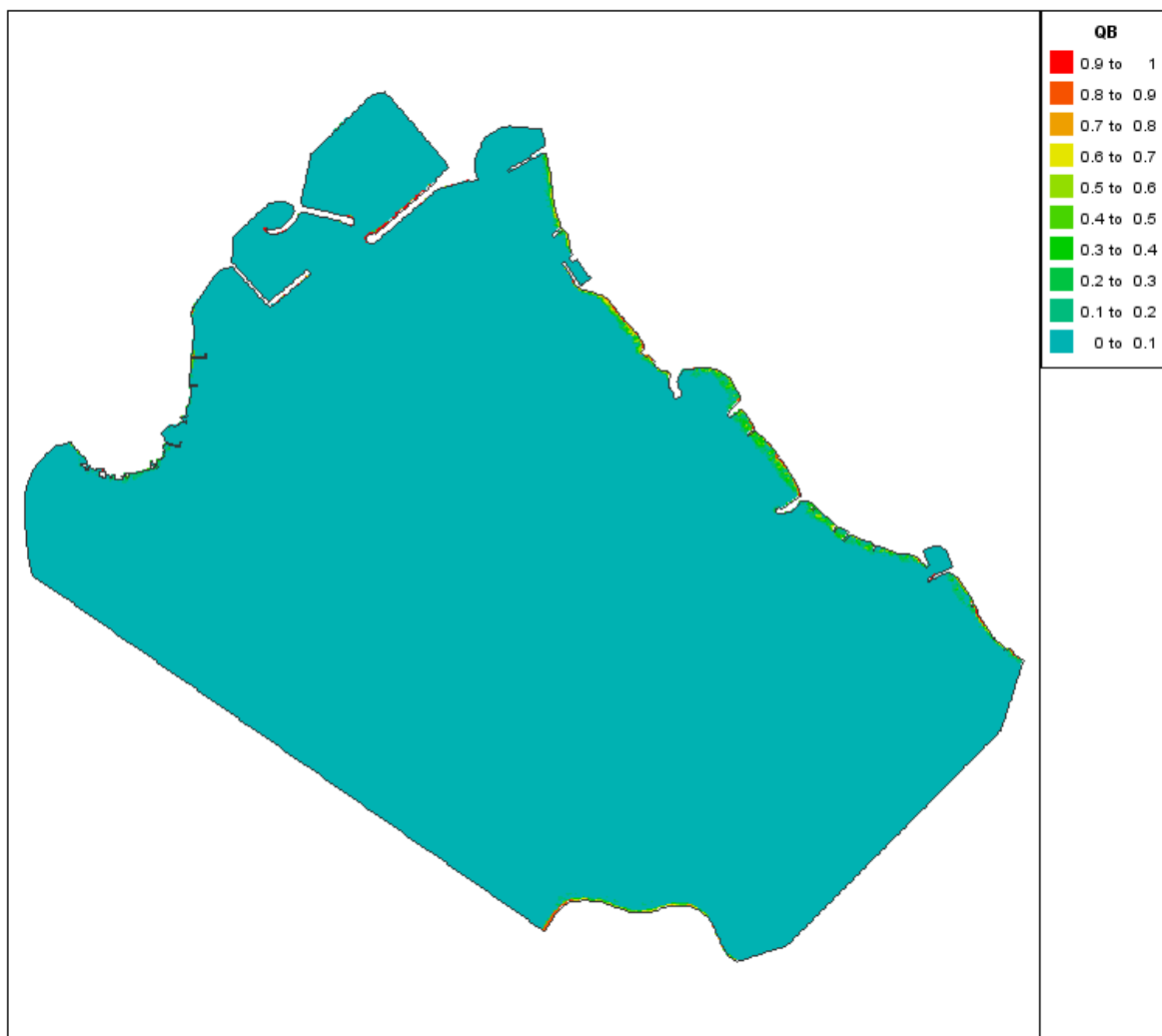
Slika 34. Prikaz značajnih valnih visina za Vodice istok / B2-100
 (dolazni valni spektar: smjer ESE-SE-SSE / PR=100god / $H_s=0.8$ m / $T_p=3.4$ / $\Delta\theta=33^\circ$ / z=srm)



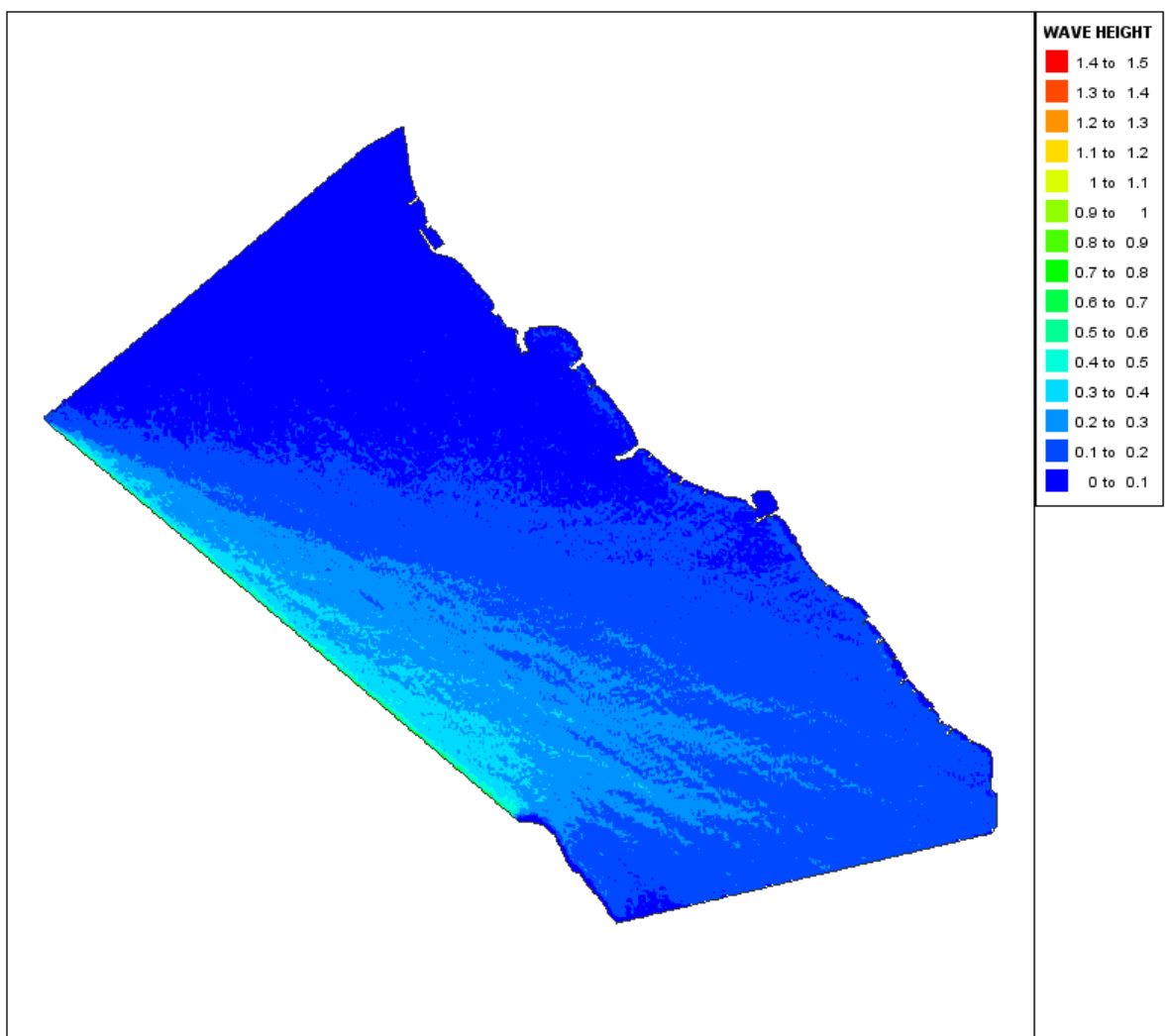
Slika 35. Prikaz zone loma vala za Vodice istok / B2-100



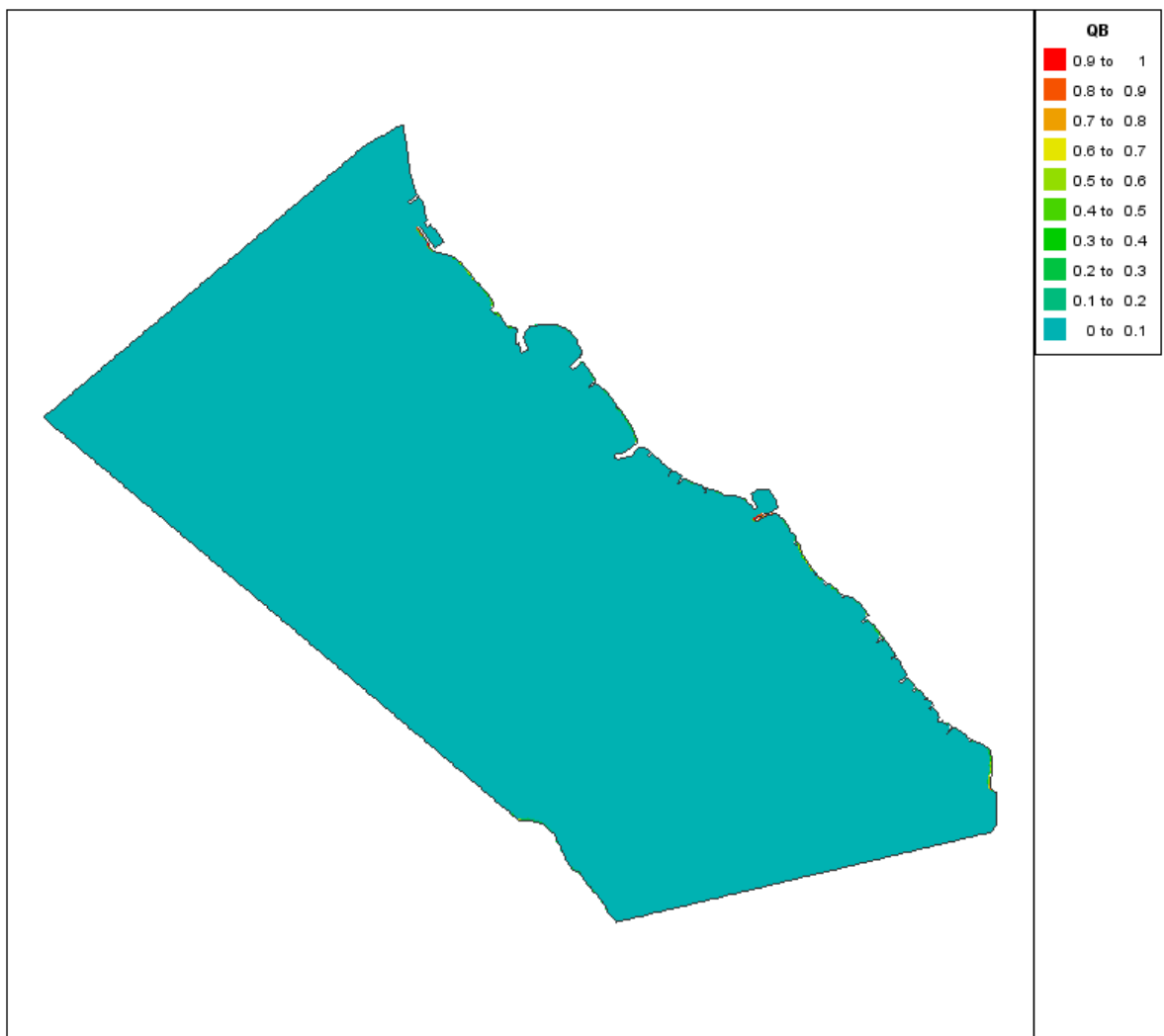
Slika 36. Prikaz značajnih valnih visina za Vodice istok / B2-5
 (dolazni valni spektar: smjer ESE-SE-SSE / PR=5god / $H_s=0.7$ m / $T_p=3.2$ / $\Delta\theta=33^\circ$ / $z=srm$)



Slika 37. Prikaz zone loma vala za Vodice istok / B2-5



Slika 38. Prikaz značajnih valnih visina za Vodice istok i Srima / B3-5, C3-5
 (dolazni valni spektar: smjer W-WNW-NW / PR=5god / $H_s=0.6$ m / $T_p=3.0$ / $\Delta\theta=33^\circ$ / z=srm)



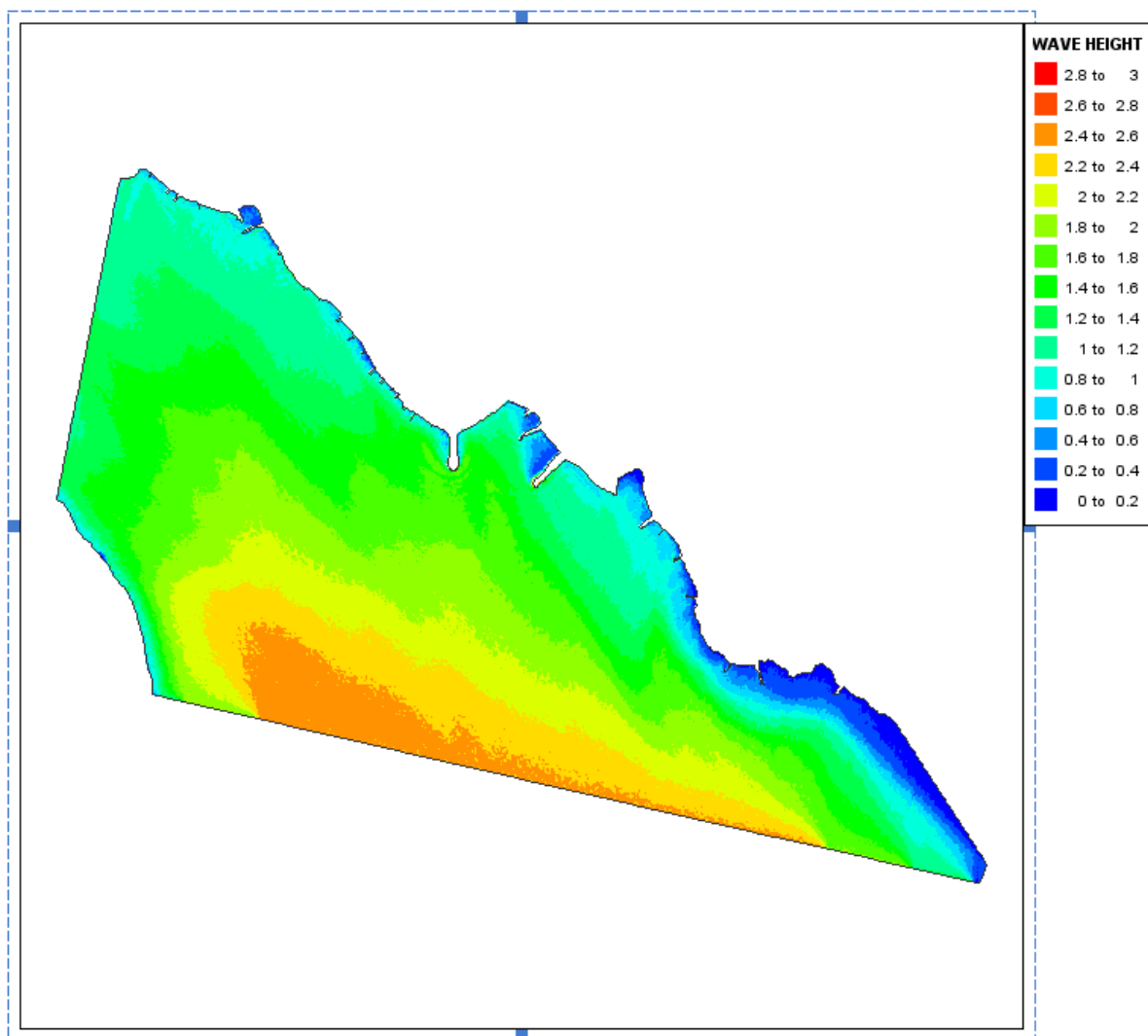
Slika 39. Prikaz zone loma vala za Vodice istok i Srma / B3-5, C3-5

4.3 Obalna zona Srima

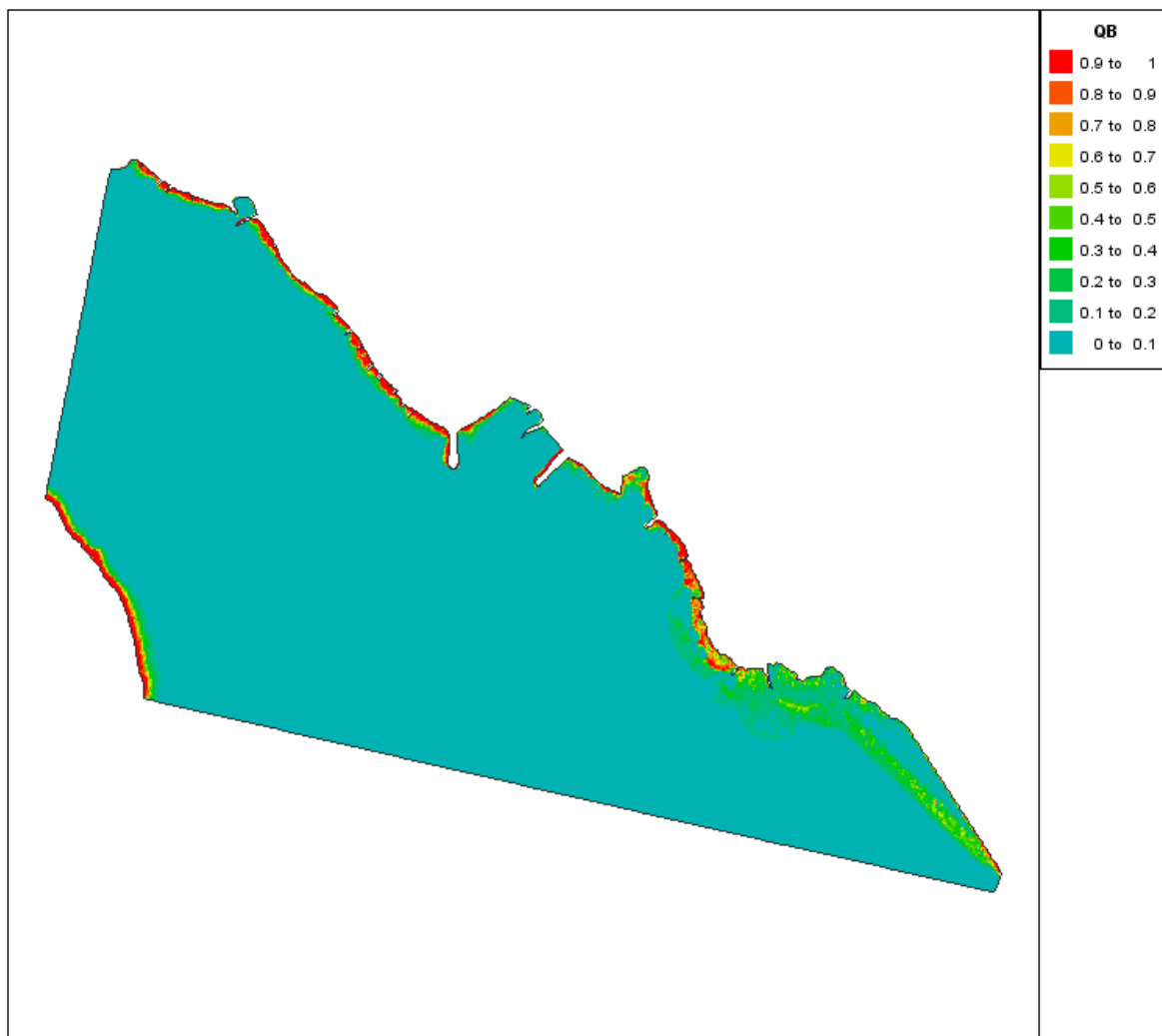
Obalna zona Srima obuhvaća prostorne cjeline:

- Kupalište Lovetovo - Srima sjever
- Luka Srima
- Kupalište Lovetovo - Srima jug
- Luka Perolina (otok Prvić)

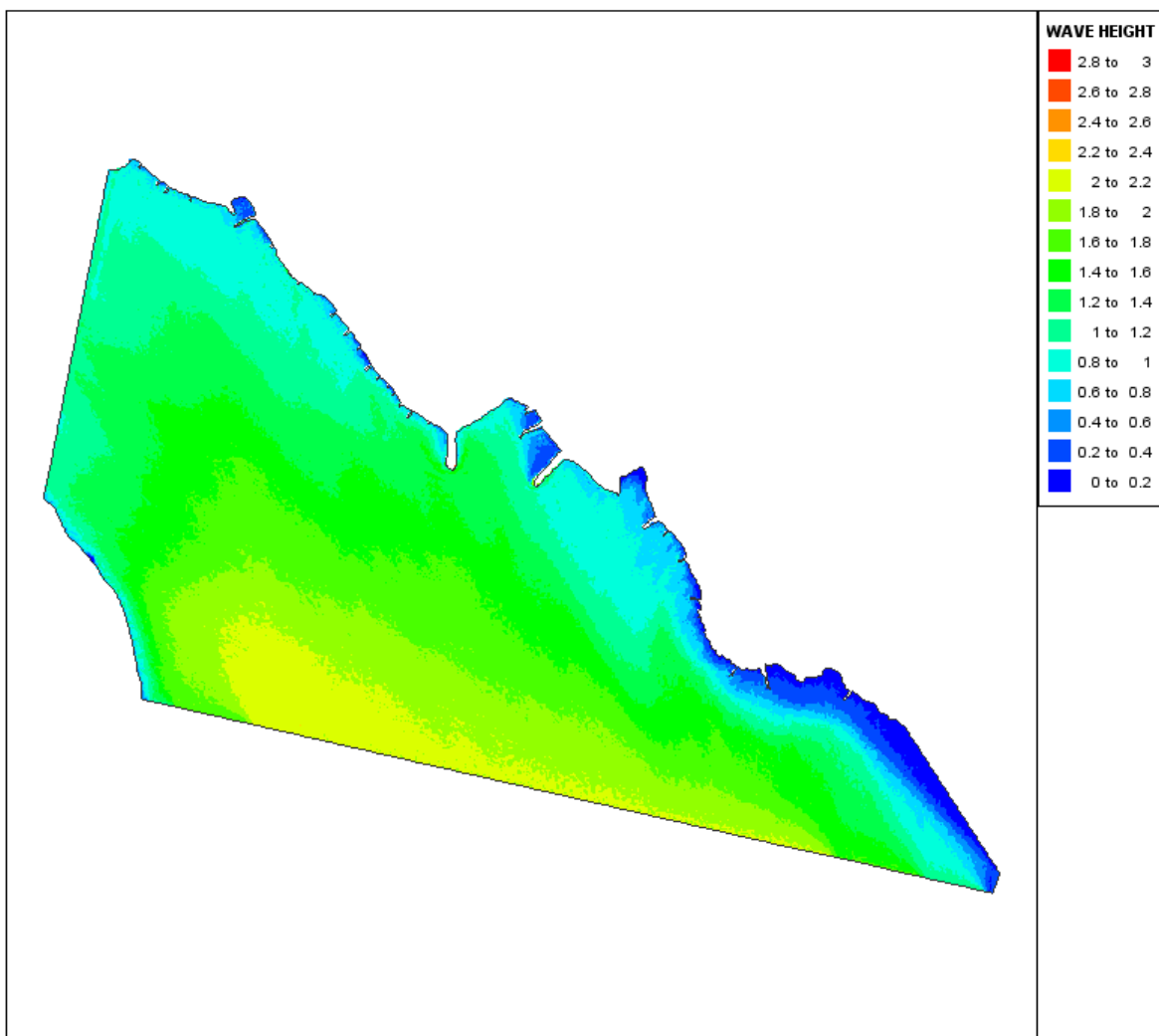
Numeričkim simulacijama analizirano je djelovanje valova iz smjera jugo (sektor I) i maestral (sektor III). Utjecaj valova na plaže analiziran je valnim spektrima s povratnim razdobljem od 5 godina, a za luke s 100 godina. Prikazana je raspodjela značajne valne visine (H_s) i zona sloma (Q_b) dolaznog vala na domeni modela koja objedinjuje navedene prostorne cjeline (Slike 40-45). Za djelovanje maestrала izrađena je domena modela koja obuhvaća obalnu zonu Vodice - istok i Srima, a rezultati su prezentirani u prethodnoj točki 4.2 (Slike 38 i 39).



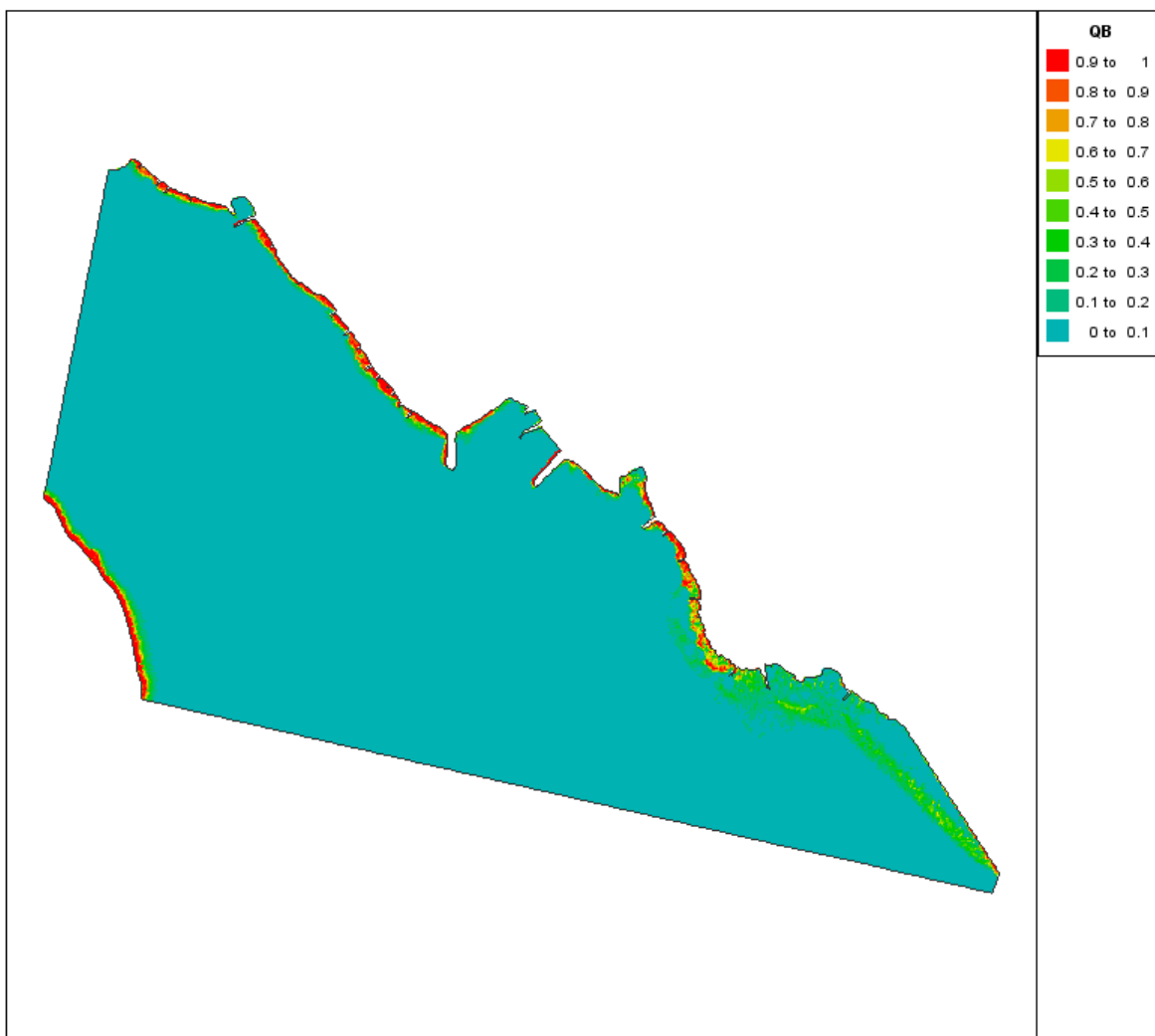
Slika 40. Prikaz značajnih valnih visina za Srima / C1-100
(dolazni valni spektar: smjer ESE-SE-SSE / PR=100god / $H_s=2.4$ m / $T_p=5.8$ / $\Delta\theta=22^\circ$ / z=srm)



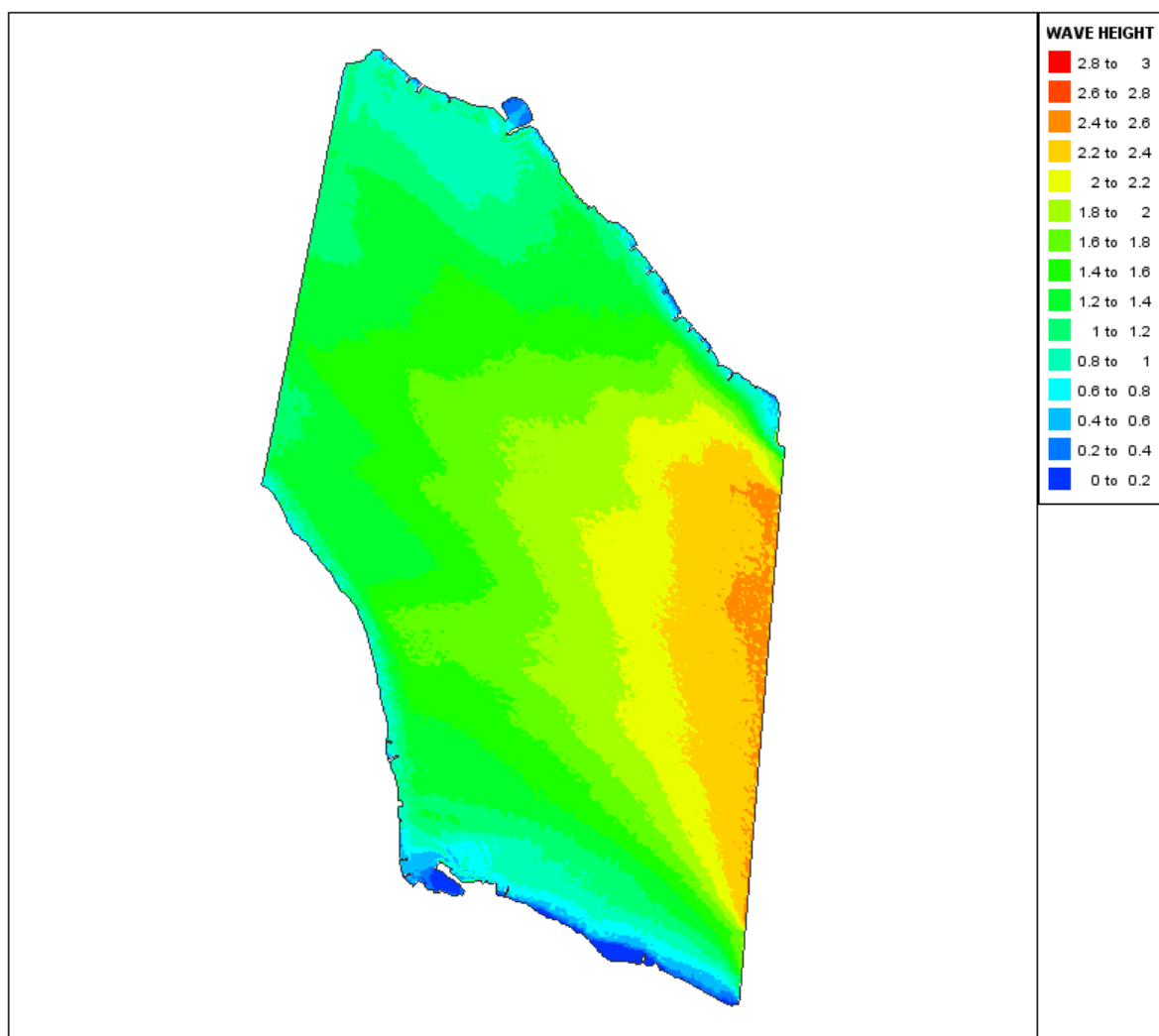
Slika 41. Prikaz zone loma vala za Srima / C1-100



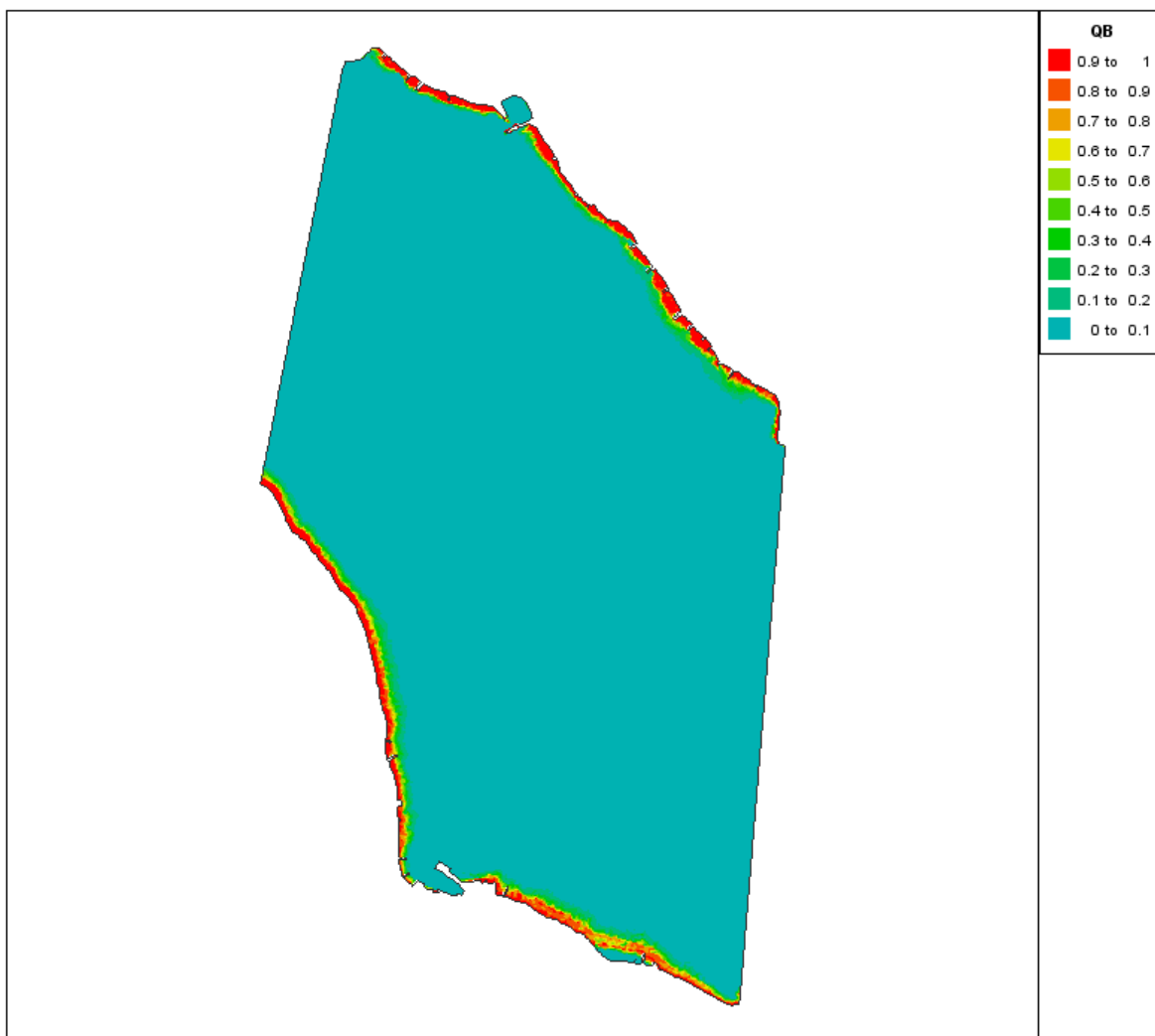
Slika 42. Prikaz značajnih valnih visina za Srima / C1-5
 (dolazni valni spektar: smjer ESE-SE-SSE / PR=5god / $H_s=2.0$ m / $T_p=5.4$ / $\Delta\theta=22^\circ$ / $z=srm$)



Slika 43. Prikaz zone loma vala za Srima / C1-5



Slika 44. Prikaz značajnih valnih visina za Prvić luka Perolina / C1-100
(dolazni valni spektar: smjer ESE-SE-SSE / PR=100god / $H_s=2.4$ m / $T_p=5.8$ / $\Delta\theta=22^\circ$ / z=srm)



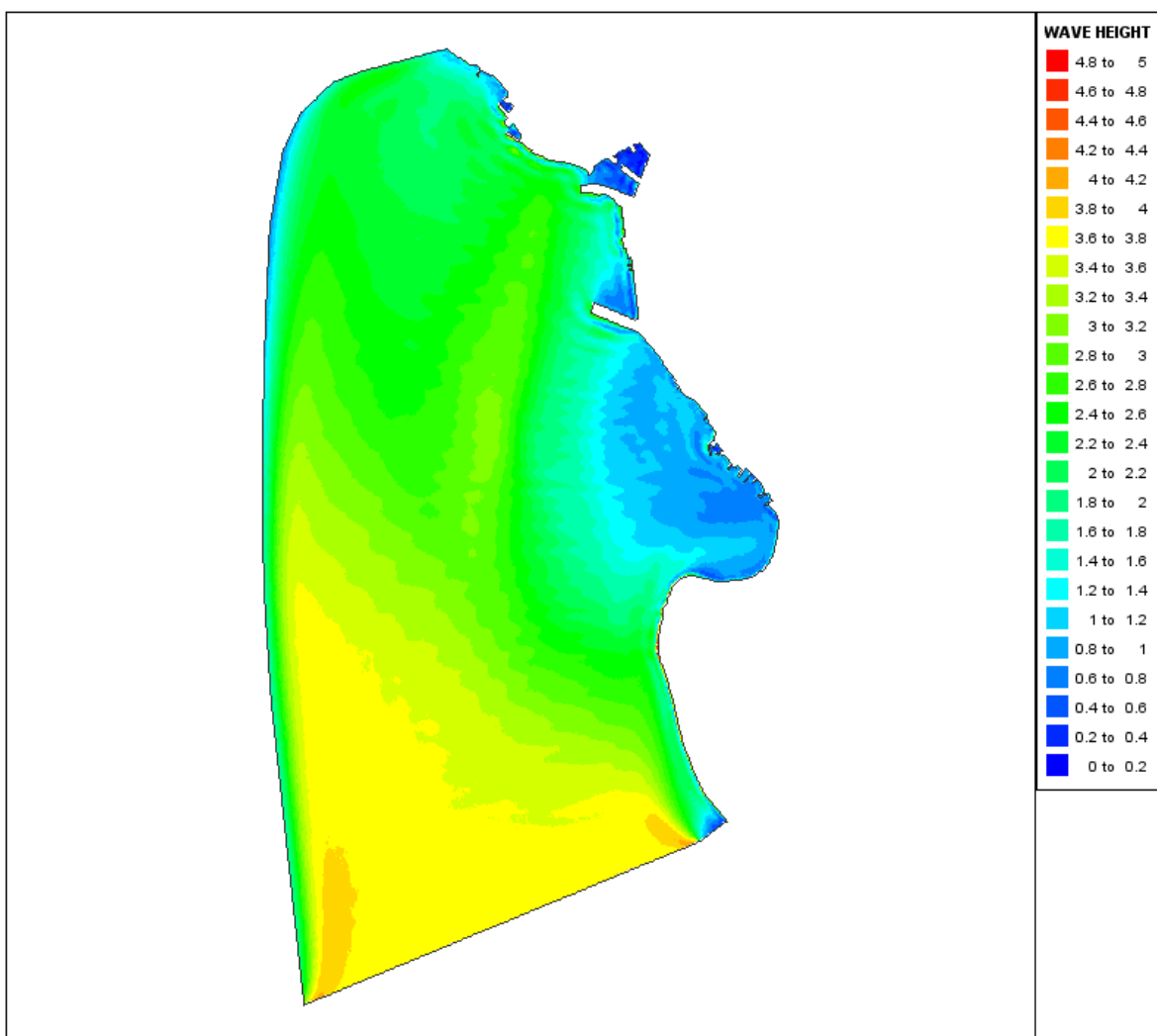
Slika 45. Prikaz zone loma vala za Prvić luka Perolina / C1-100

4.4 Obalna zona Prvić Šepurina

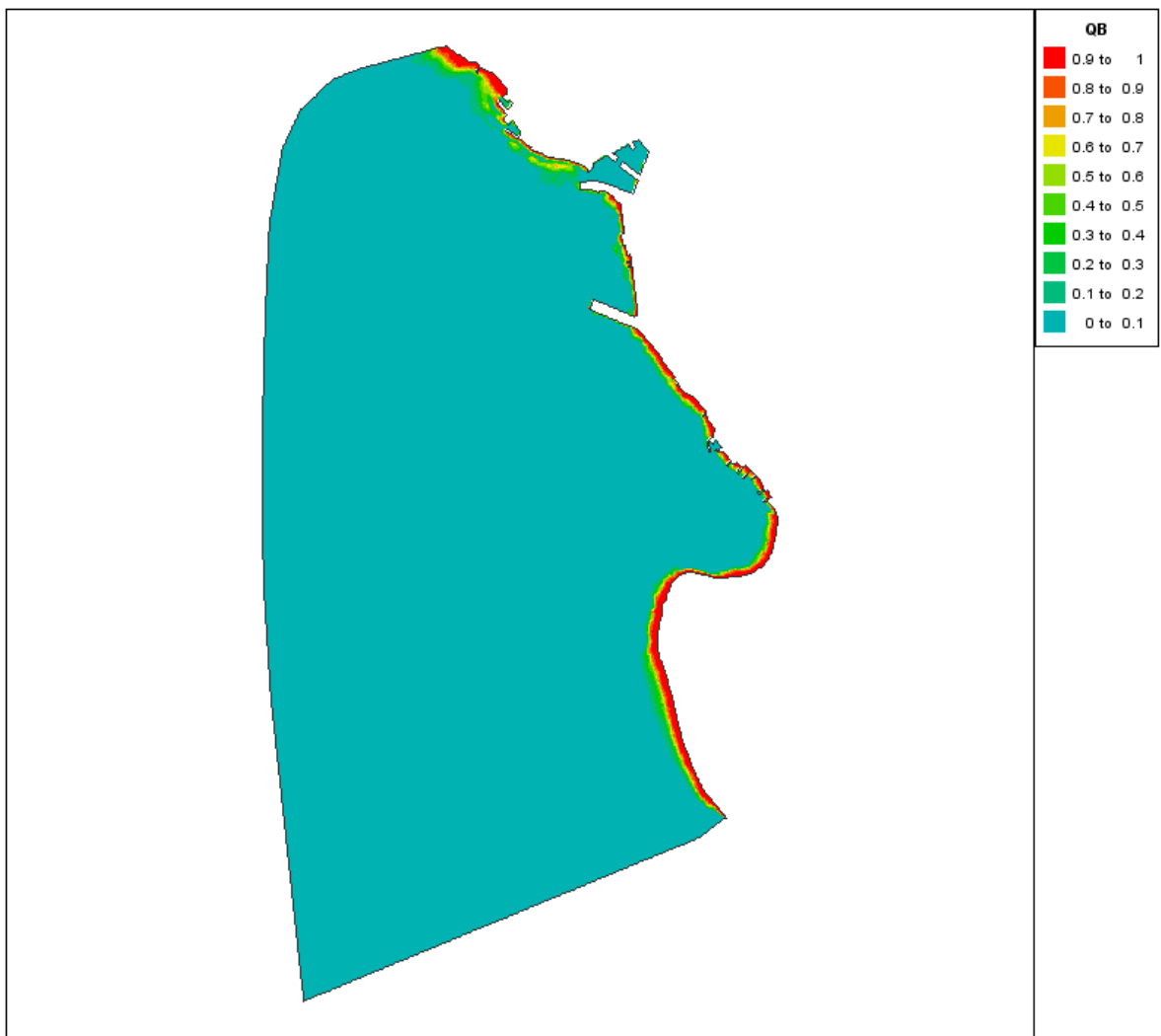
Obalna zona Prvić Šepurina obuhvaća prostorne cjeline:

- Luka Prvić Šepurina
- Kupalište Strteвица

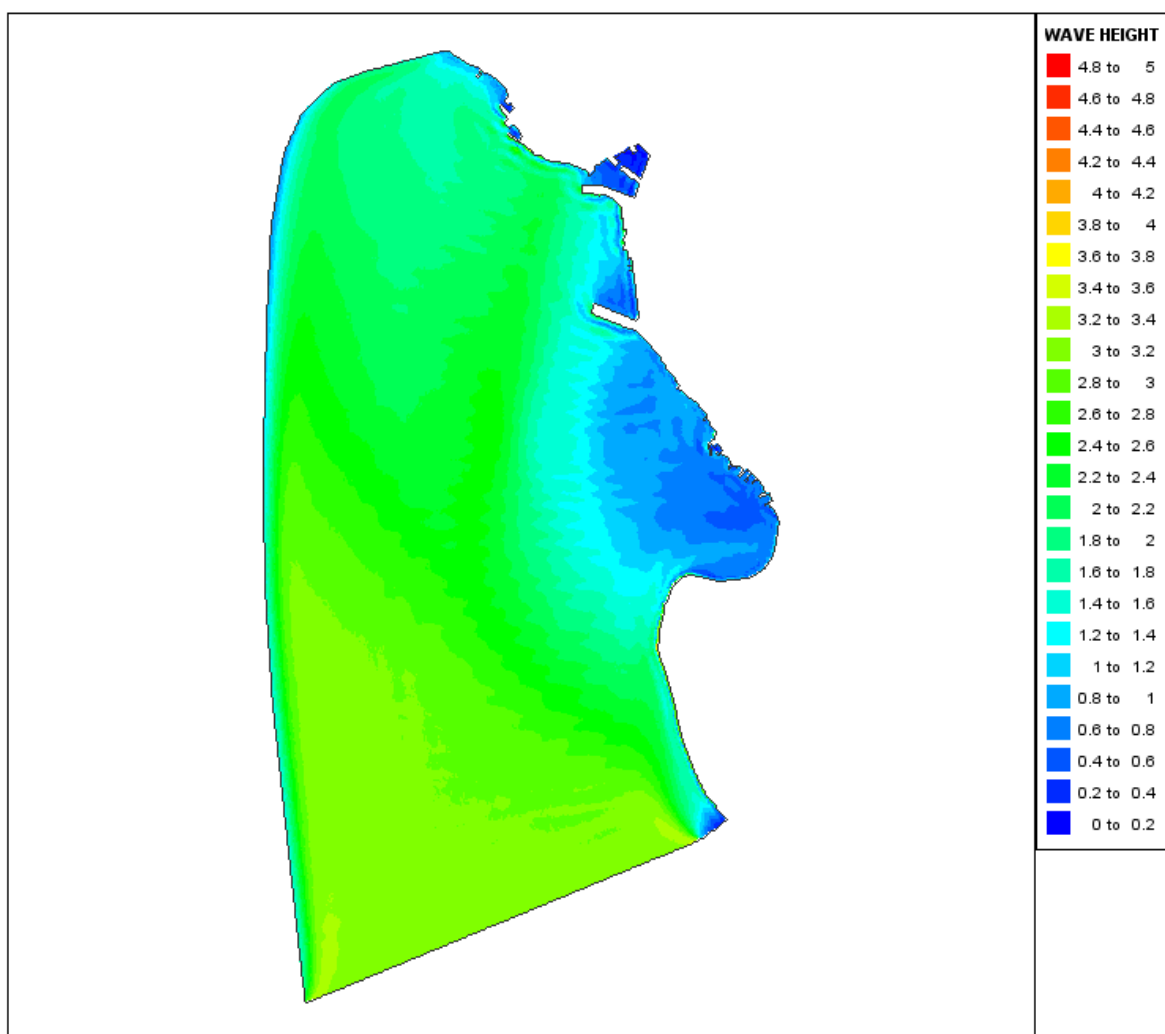
Numeričkim simulacijama analizirano je djelovanje valova iz smjera jugo (sektor I), lebića (sektor II) i maestrala (sektor III). Utjecaj valova na plaže analiziran je valnim spektrima s povratnim razdobljem od 5 godina, a za luke s 100 godina. Prikazana je raspodjela značajne valne visine (H_s) i zona sloma (Q_b) dolaznog vala na domeni modela koja objedinjuje navedene prostorne cjeline (Slike 46-55).



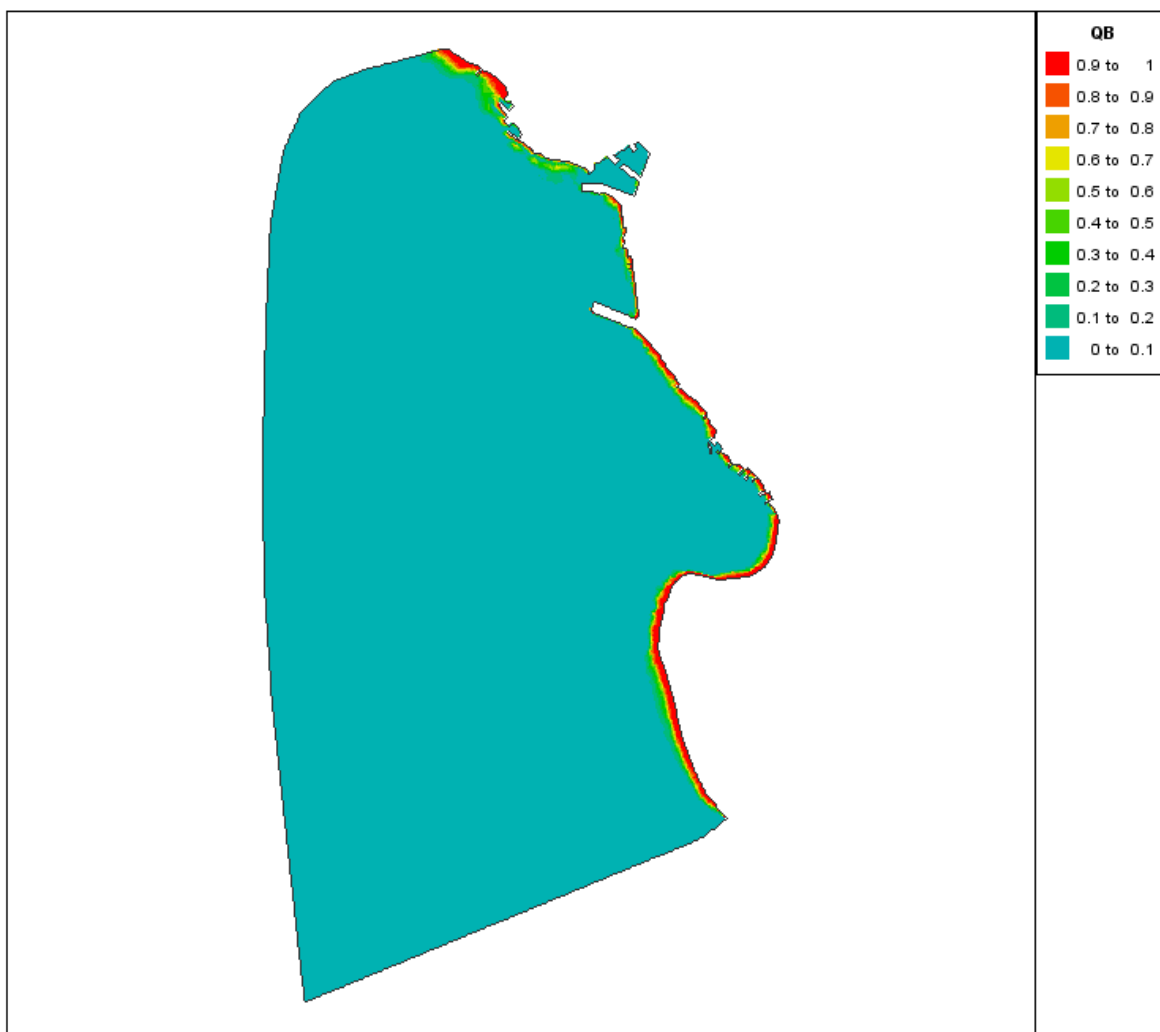
Slika 46. Prikaz značajnih valnih visina za Prvić Šepurina / D1-100god
(dolazni valni spektar: smjer SE-SSE-S / PR=100god / $H_s=3.8\text{ m}$ / $T_p=7.6\text{ s}$ / $\Delta\theta=33^\circ$ / $z=srm$)



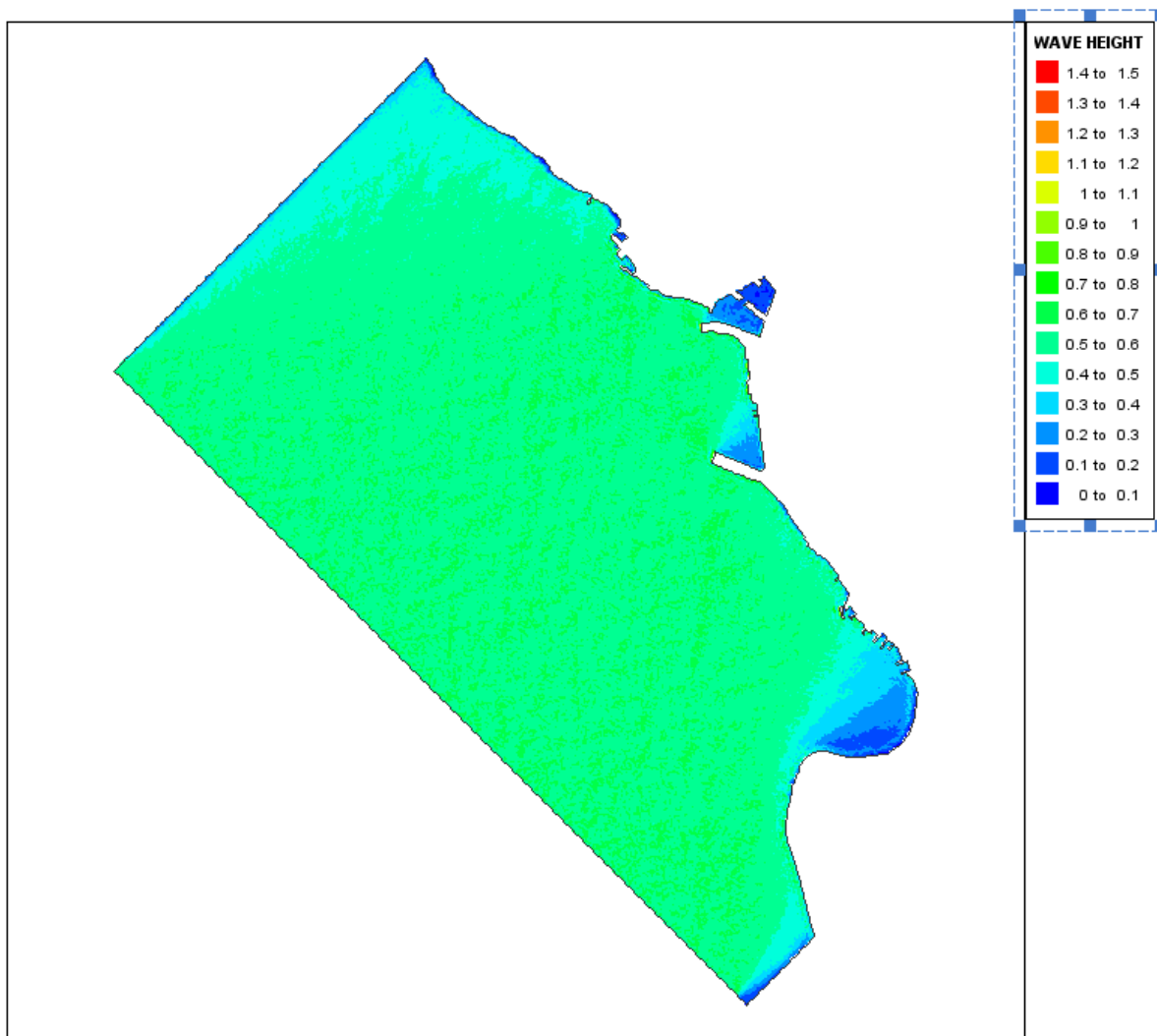
Slika 47. Prikaz zone loma vala za Prvić Šepurina / D1-100god



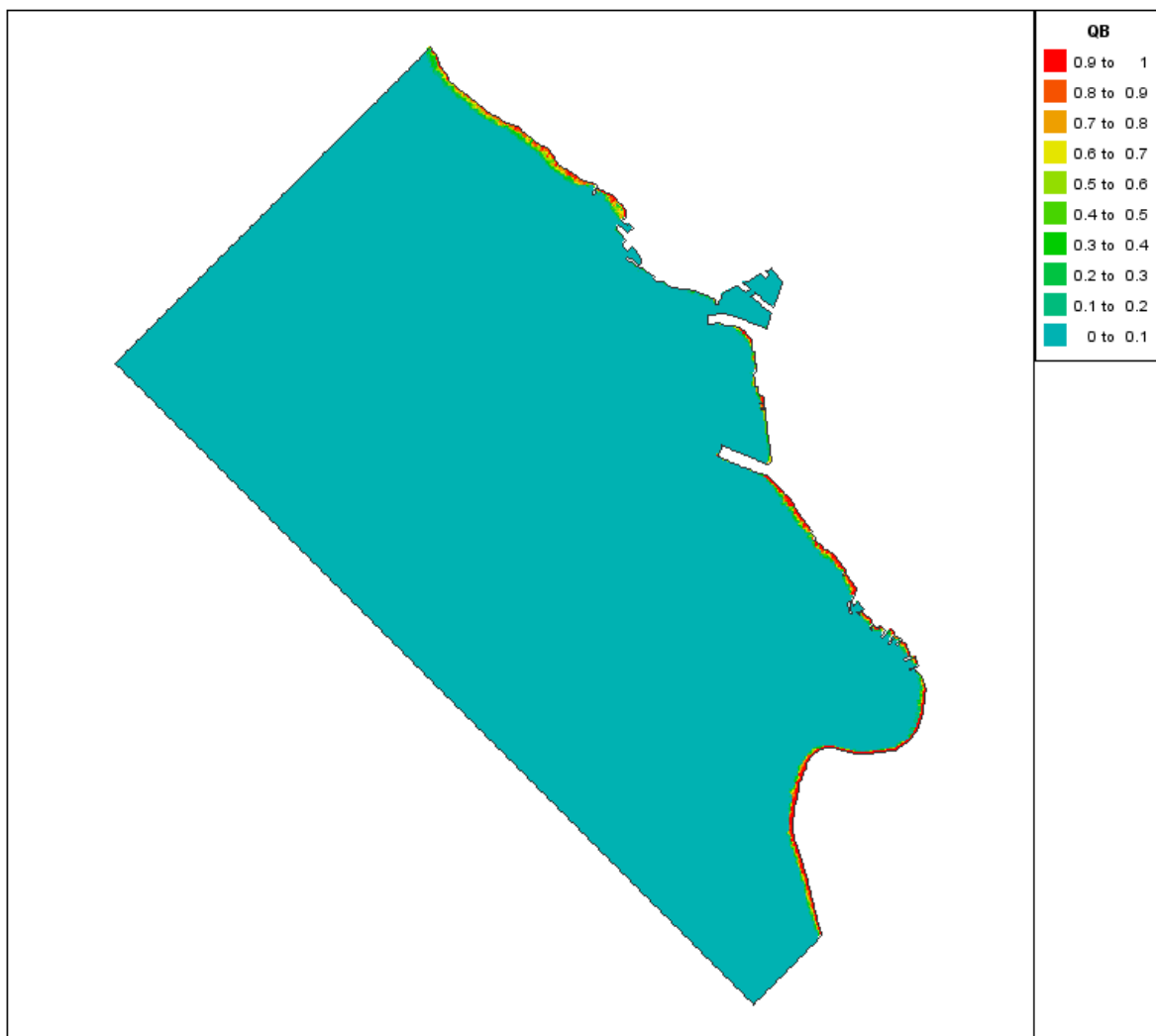
Slika 48. Prikaz značajnih valnih visina za Prvić Šepurina / D1-5god
(dolazni valni spektar: smjer SE-SSE-S / PR=5god / $H_s=3.1\text{m}$ / $T_p=7.0\text{s}$ / $\Delta\theta=33^\circ$ / $z=srm$)



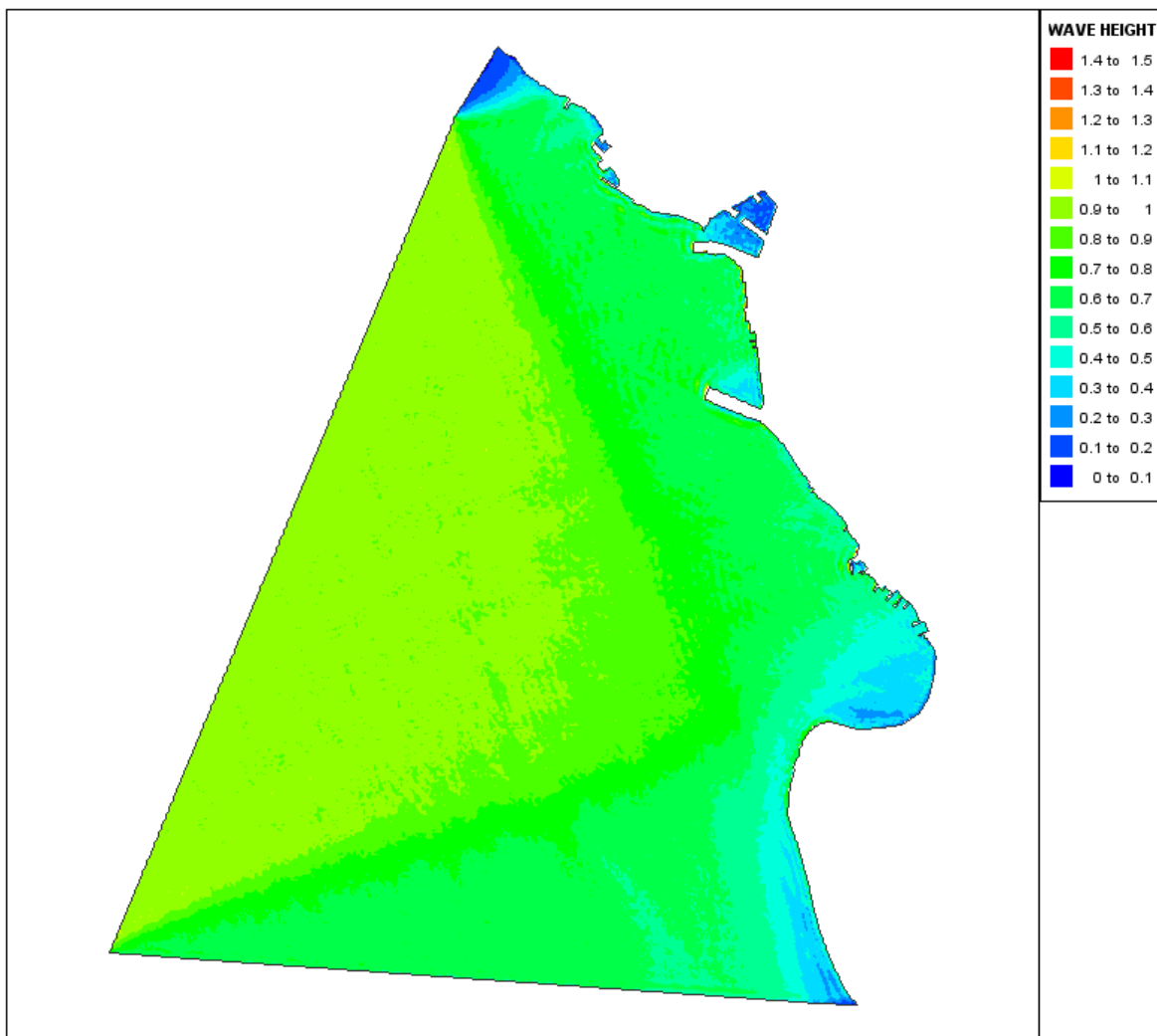
Slika 49. Prikaz zone loma vala za Prvić Šepurina / D1-5god



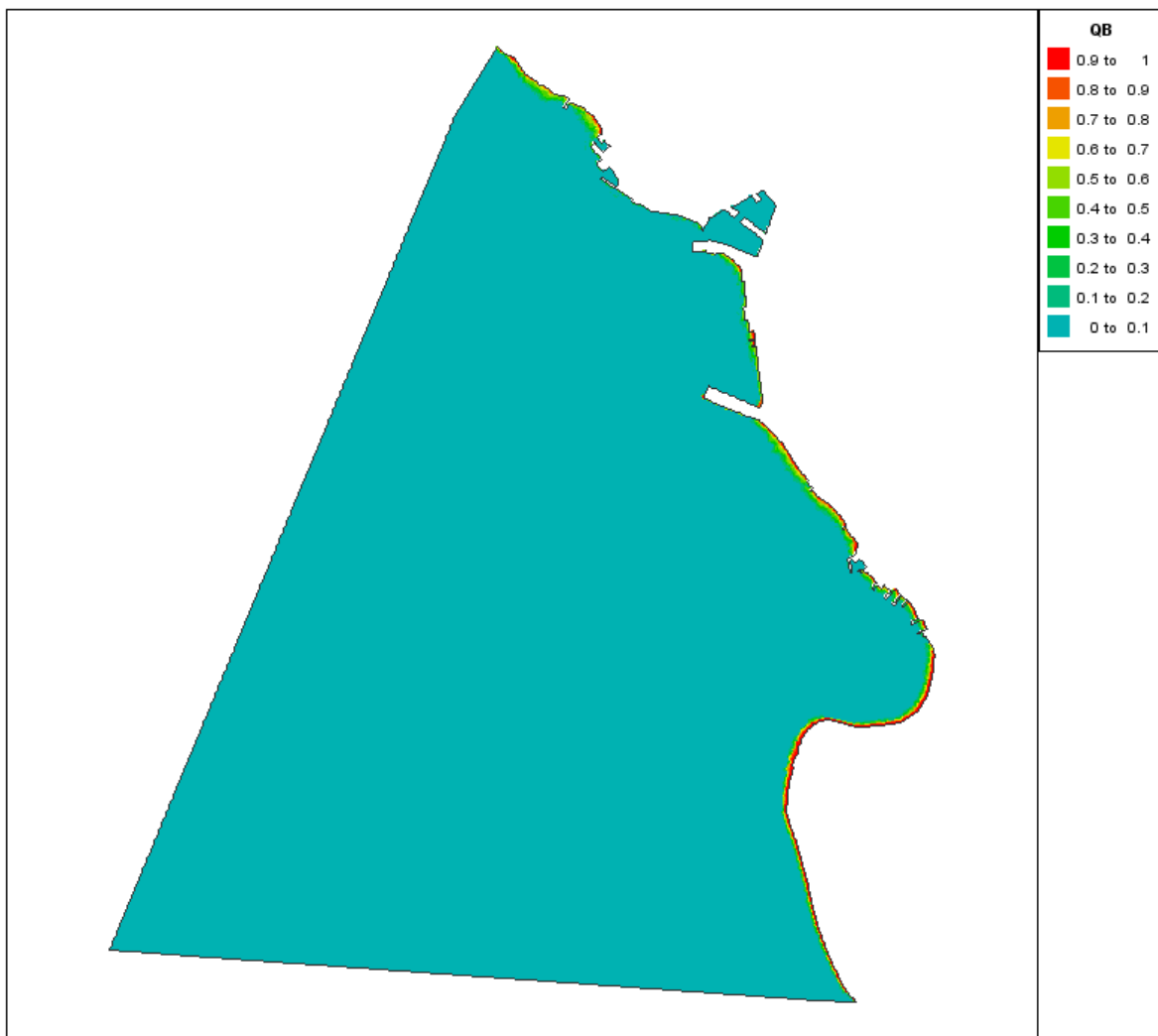
Slika 50. Prikaz značajnih valnih visina za Prvić Šepurina / D2-100god
 (dolazni valni spektar: smjer SSW-SW-WSW / PR=100god / $H_s=0.6m$ / $T_p=2.8s$ / $\Delta\theta=33^\circ$ / $z=srm$)



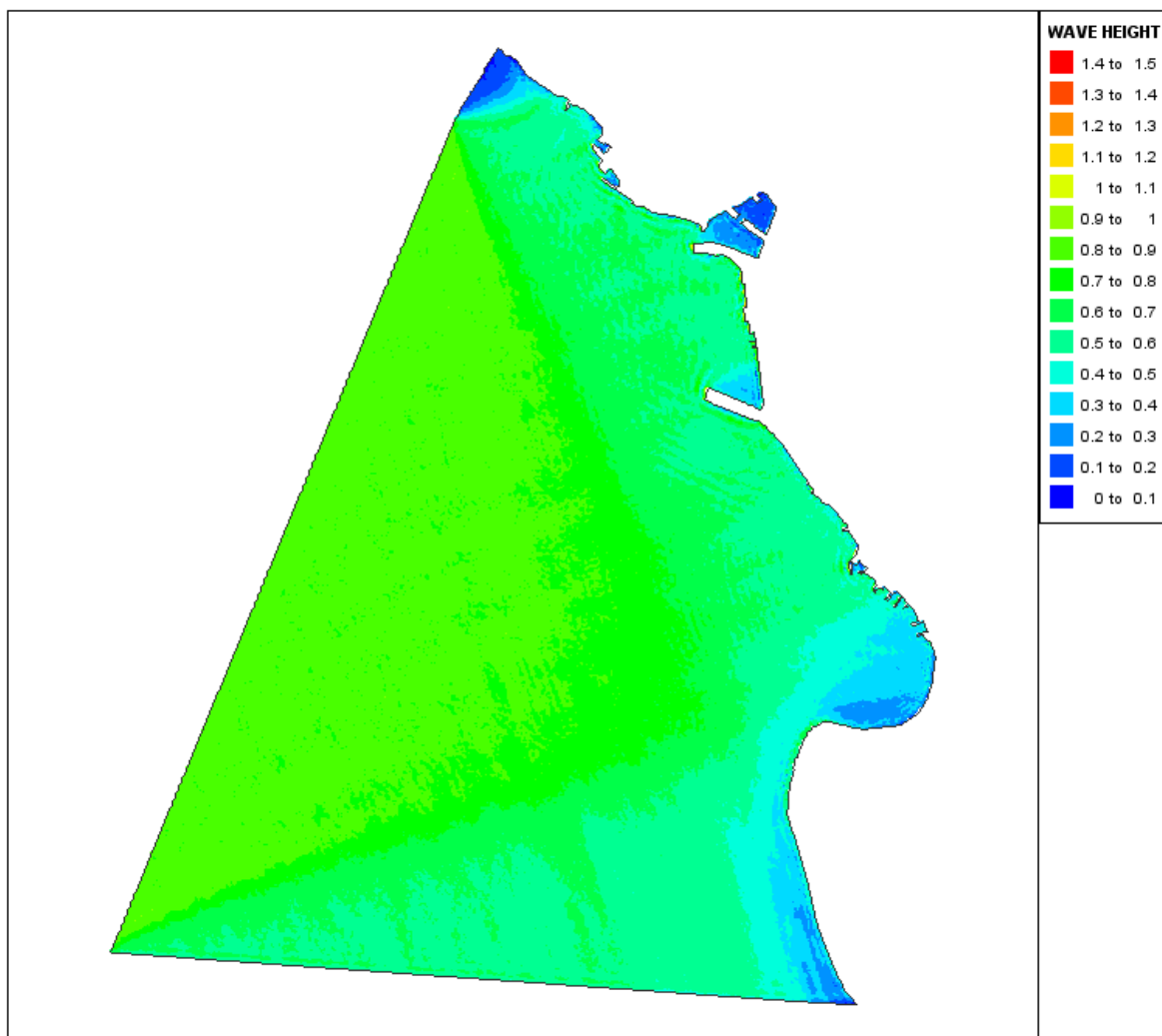
Slika 51. Prikaz zone loma vala za Prvić Šepurina / D2-100god



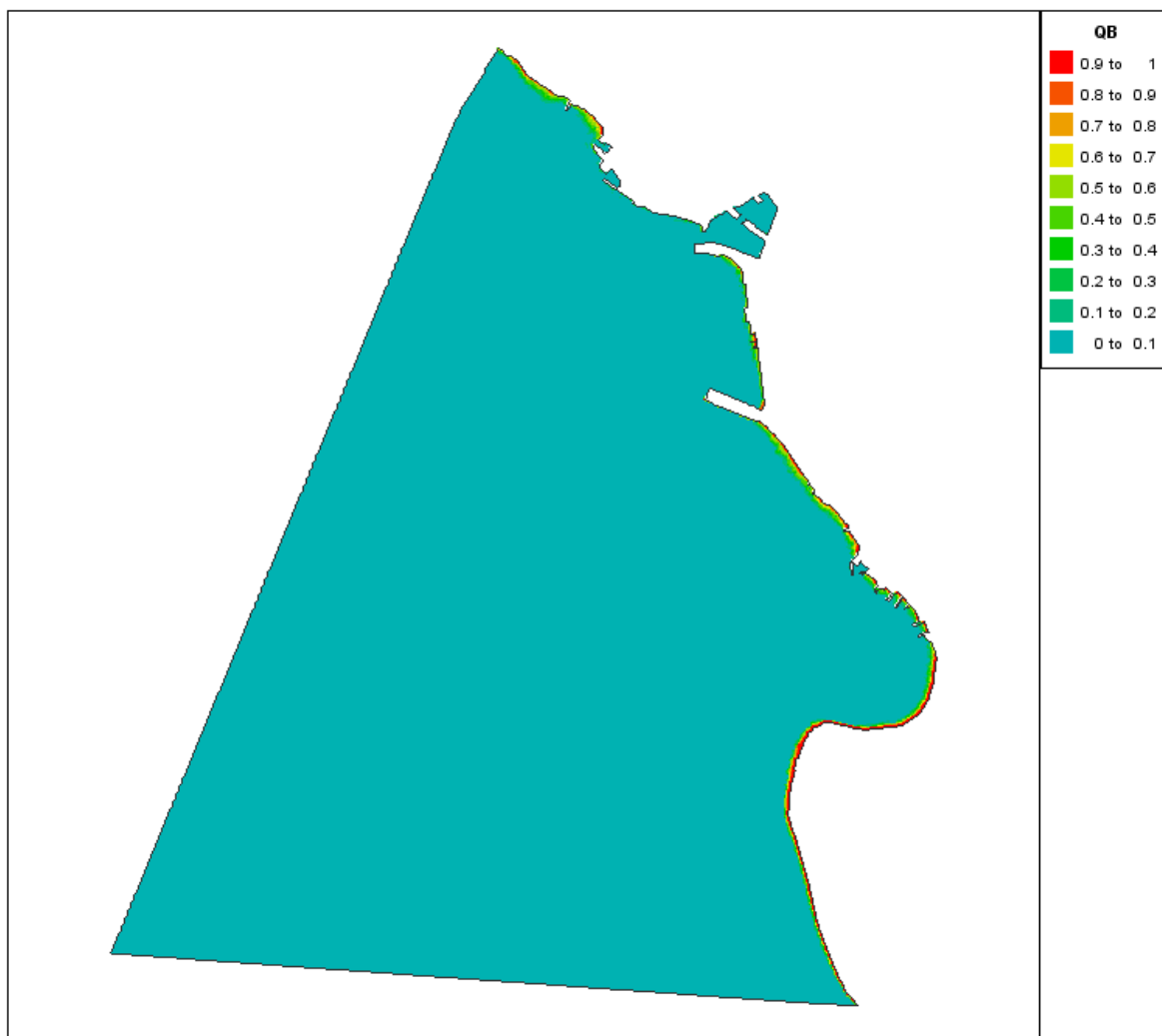
Slika 52. Prikaz značajnih valnih visina za Prvić Šepurina / D3-100god
 (dolazni valni spektar: smjer W-WNW-NW / PR=100god / $H_s=1.0m$ / $T_p=3.8s$ / $\Delta\theta=33^\circ$ / $z=srm$)



Slika 53. Prikaz zone loma vala za Prvić Šepurina / D3-100god



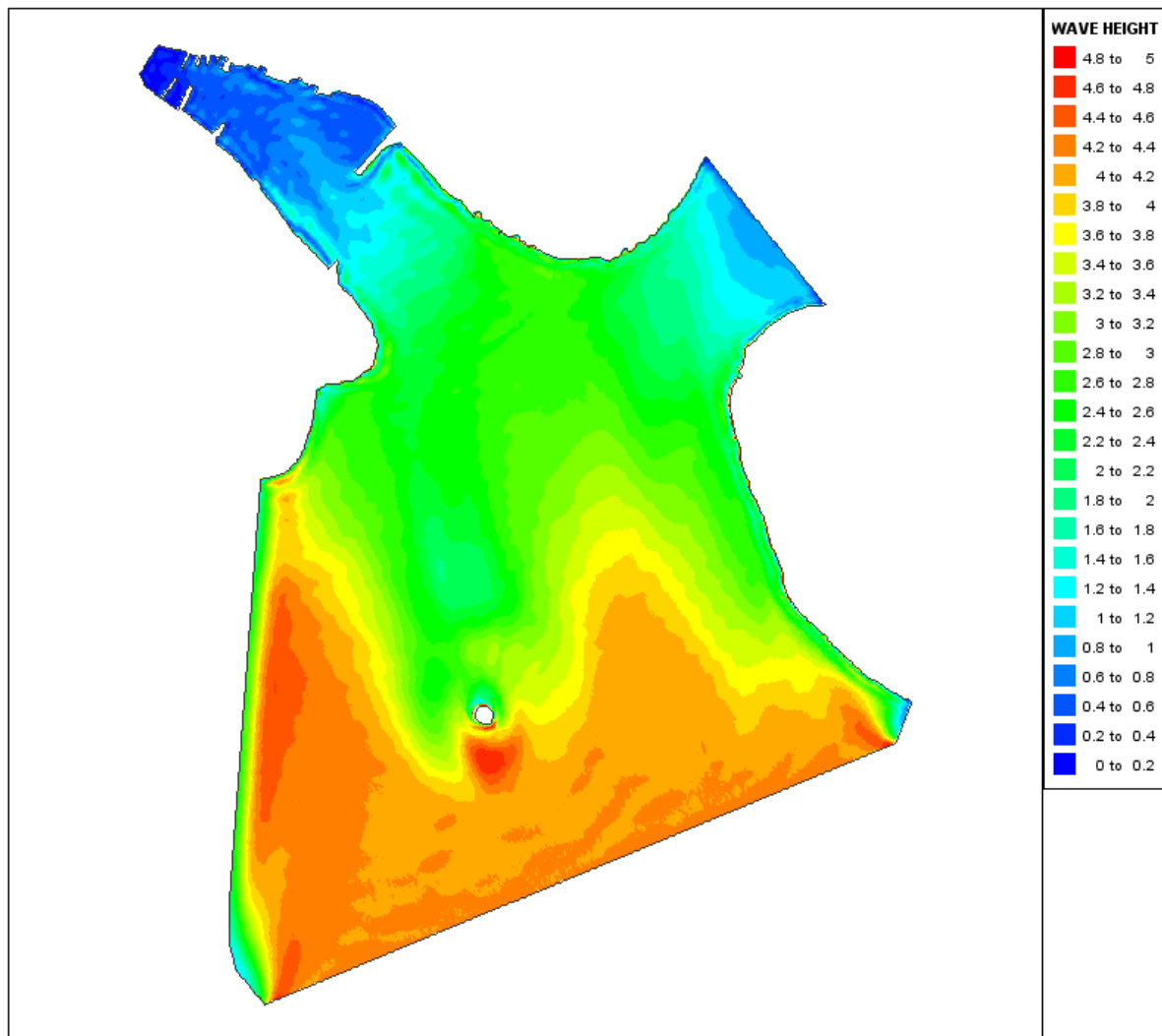
Slika 54. Prikaz značajnih valnih visina za Prvić Šepurina / D3-5god
 (dolazni valni spektar: smjer W-WNW-NW / PR=5god / $H_s=0.9m$ / $T_p=3.7s$ / $\Delta\theta=33^\circ$ / $z=srm$)



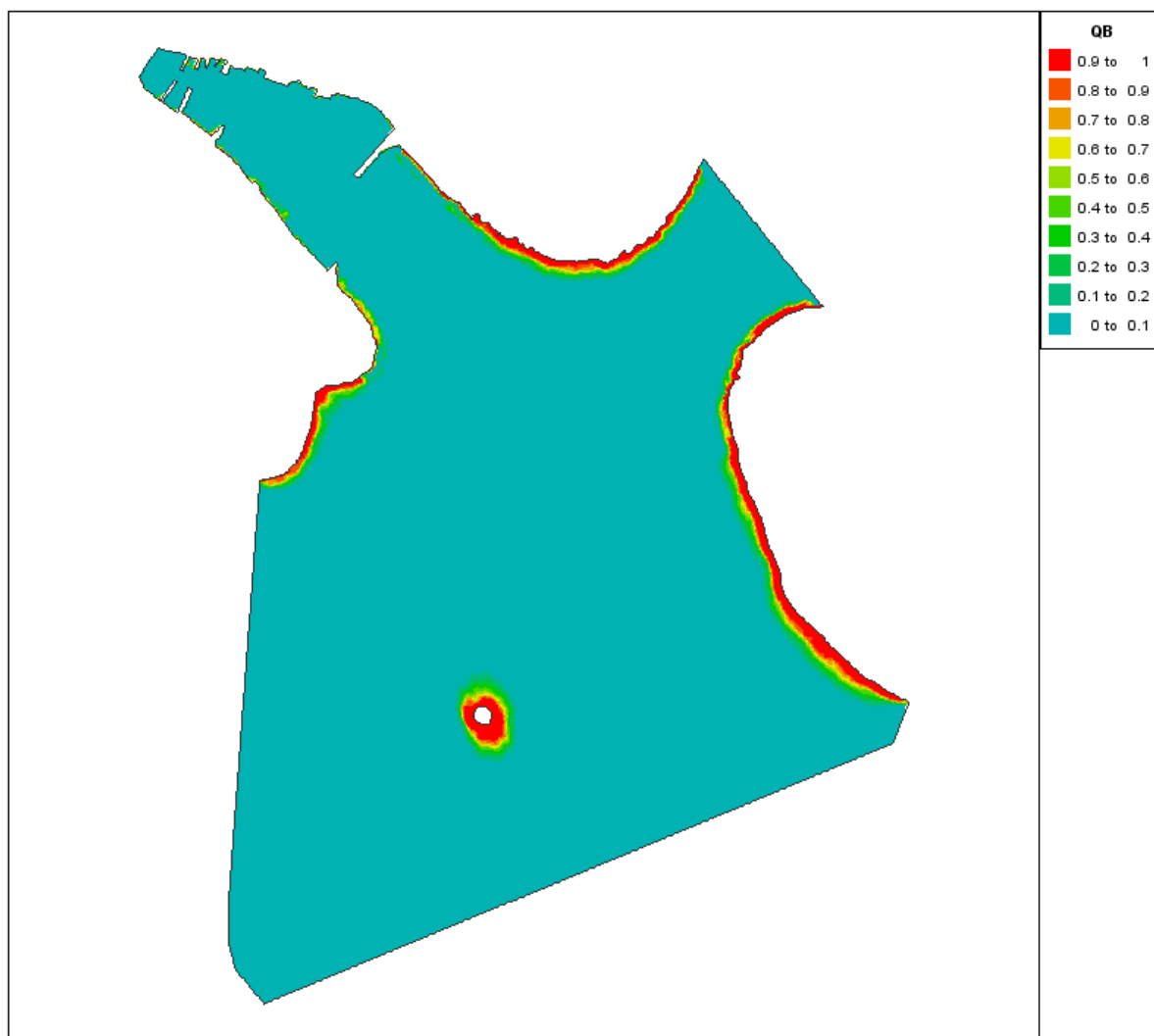
Slika 55. Prikaz zone loma vala za Prvić Šepurina / D3-5god

4.5 Obalna zona Prvić Šepurina

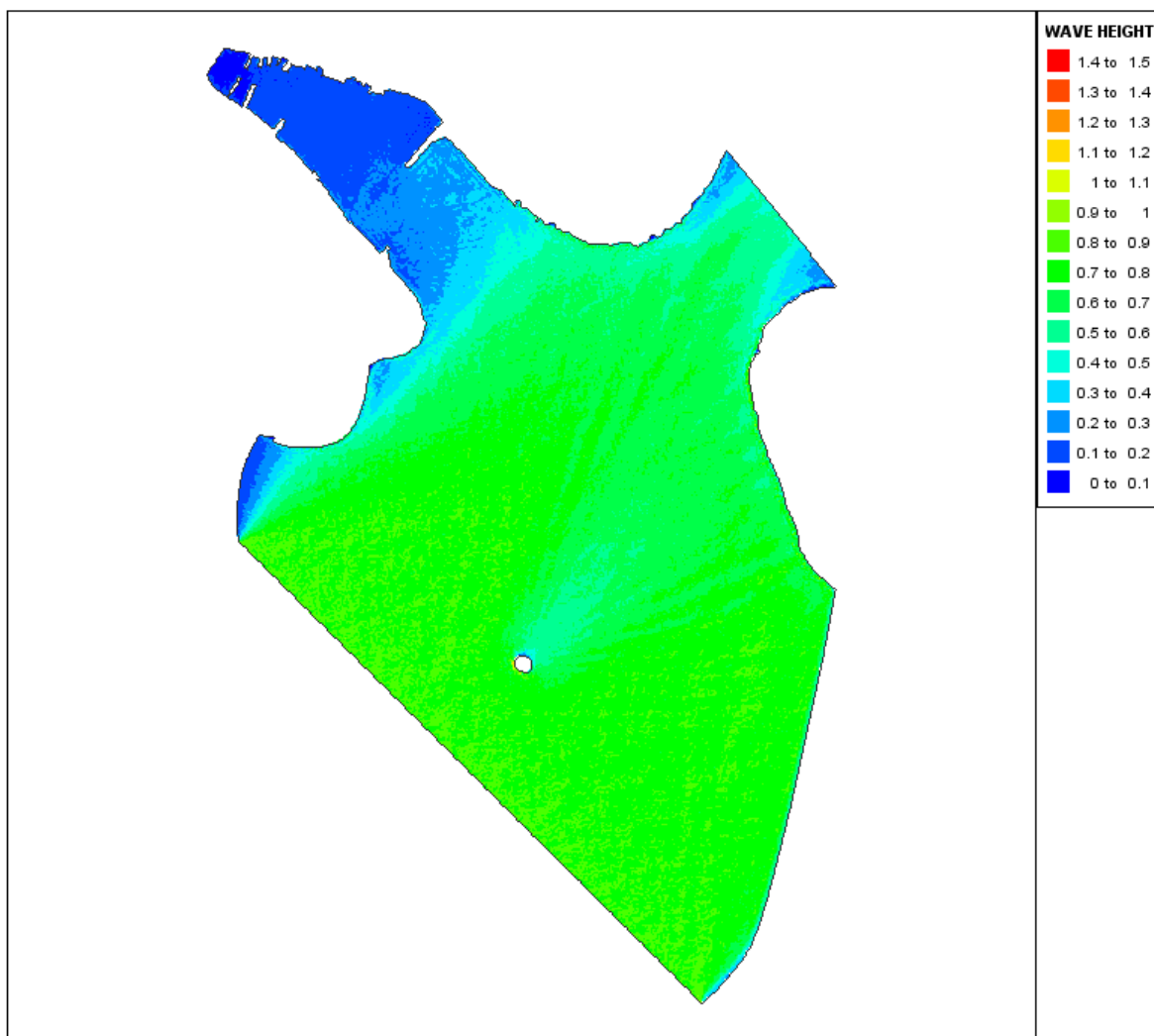
Obalna zona Prvić Luka obuhvaća samo područje istoimene luke. Numeričkim simulacijama analizirano je djelovanje valova iz smjera jugo (sektor I) i lebića (sektor II). Utjecaj valova na luku analiziran je valnim spektrima s povratnim razdobljem od 100 godina. Prikazana je raspodjela značajne valne visine (H_s) i zona sloma (Q_b) dolaznog vala (Slike 56-59).



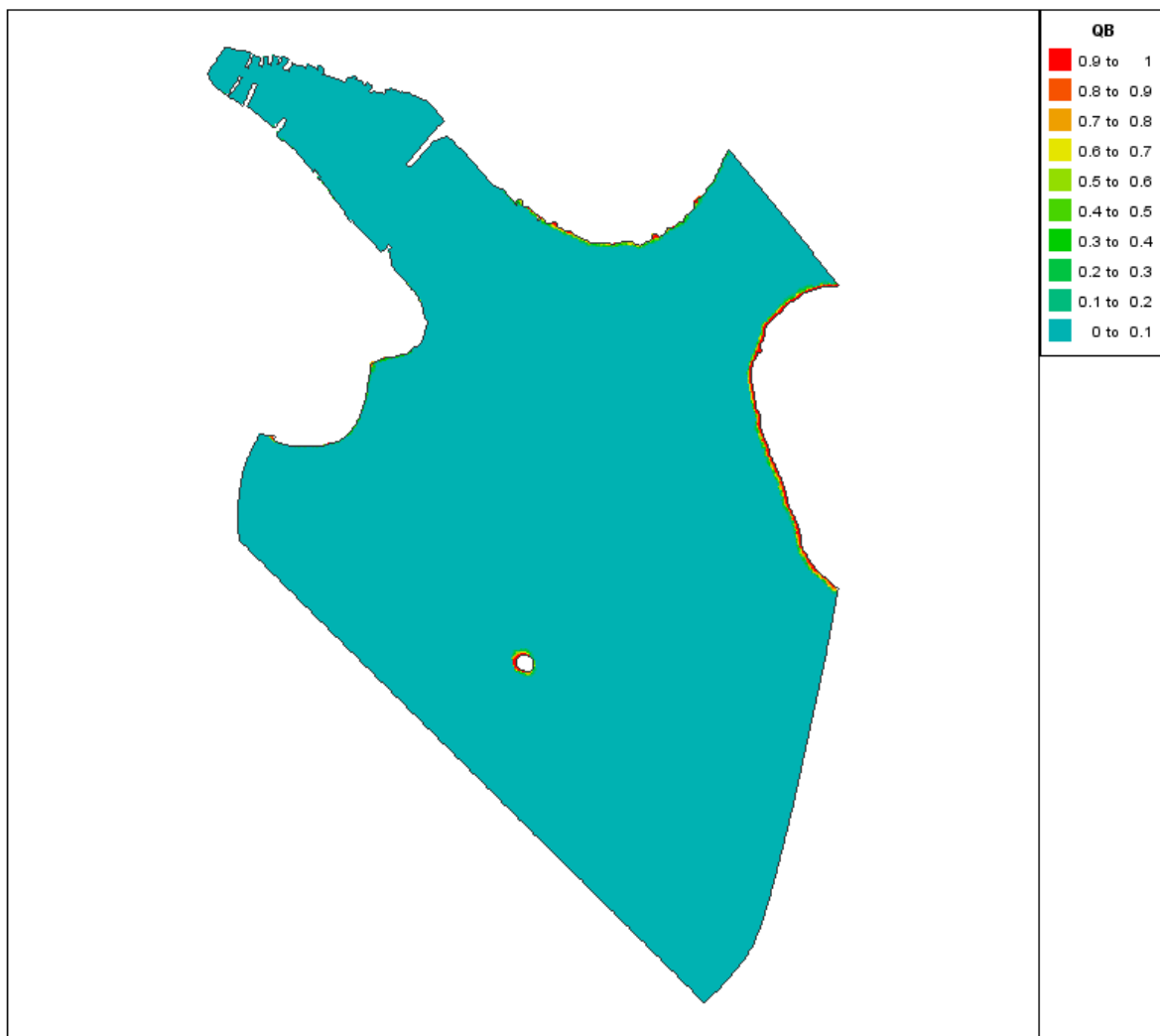
Slika 56. Prikaz značajnih valnih visina za Prvić Luku / E1-100god
(dolazni valni spektar: smjer SE-SSE-S / PR=100god / $H_s=4.2\text{m}$ / $T_p=8.1\text{s}$ / $\Delta\theta=33^\circ$ / $z=\text{srm}$)



Slika 57. Prikaz zone loma vala za Prvić Luku / E1-100god



Slika 58. Prikaz značajnih valnih visina za Prvić Luku / E3-100god
 (dolazni valni spektar: smjer W-WNW-NW / PR=100god / $H_s=0.8\text{m}$ / $T_p=3.4\text{s}$ / $\Delta\theta=33^\circ$ / $z=srm$)



Slika 59. Prikaz zone loma vala za Prvić Luku / E3-100god

5 LITERATURA

1. ARTEMIS • Version 3.1 Principle Note. Report EDF HE-42/97/002. (2012.)
 2. Berkhoff J.C.W.: Mathematical Models for Simple Harmonic Linear Water Waves. Wave Diffraction and Refraction Delft Hydraulics Laboratory. Publication n°163. April 1976.
 3. Dean R.G., Dalrymple R.A.: Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists. Advanced series on ocean engineering, Vol. 2. World scientific Ed., New Jersey, 1991.
 4. Goda Y.: Random Seas and Design of Maritime Structures. University of Tokyo Press., 1985.
 5. Kamphuis J.W.: Introduction to coastal engineering and management. World Scientific, NY, 2000.
 6. Lončar, G., Andročec, V., Petrov, V.: Analiza valnih deformacija na području luke Split. Građevinar 61 (2009) 5, 445-453
 7. Massel S.R.: Ocean Surface Waves : their physics and prediction. Advanced series on ocean engineering, Vol. 11. World scientific Ed., New Jersey, 1996.
 8. Mei C.C.: The applied dynamics of ocean surface waves. John Wiley Ed., New York, 1983.
 9. Mei C.C.: Theory and applications of ocean surface waves. World Scientific, NY, 2005.
 10. Petrov V.: "Izrada matematičkog modela valovanja za Gradsku luku Split", Građevinsko-ArHITEKTONSKI fakultet Split, Split 2007.
 11. Petrov, V., Vranješ, M.: Utjecaj lukobrana na valno polje luke Makarska. Građevinar 62 (2010) 7, 633-640
 12. Vranješ M.: "Elaborat postojećeg stanja obalnih konstrukcija u gradskoj luci Split", Građevinsko-ArHITEKTONSKI fakultet Split, Split, 2007.
-

SADRŽAJ

1	UVOD.....	1
2	TEORIJSKE OSNOVE MODELA.....	3
3	ULAZNI PARAMETRI MODELA	6
3.1	Valni spektri.....	7
3.2	Prostorne domene	10
3.3	Rubni uvjeti	21
4	REZULTATI MODELA	23
4.1	Obalna zona Vodice - zapad	23
4.2	Obalna zona Vodice - istok.....	27
4.3	Obalna zona Srima	37
4.4	Obalna zona Prvić Šepurina.....	43
4.5	Obalna zona Prvić Šepurina.....	53
5	LITERATURA.....	57

}

UVOD*Privjetrište***Privjetrište**

Temeljem navedenih postavki modela, provedena je analiza deformacije valnog polja obalnog pojasa VSP (Tablica 2). Kao rezultat dat je prikaz značajnih valnih visina (Slike 23-34) i prikaz zona loma vala (Slike 23-34). U grafičkoj interpretaciji rezultata korištena je ista paleta boja zbog lakše usporedbe.