

Primljen / Received: 29.6.2009.
 Ispravljen / Corrected: 29.12.2011.
 Prihvaćen / Accepted: 8.6.2012.

Dostupno online / Available online: 16.7.2012.

Hidrodinamička valna analiza - osnova za projektiranje održivih plaža

Autori:



Mr.sc. **Željani Pernet**, dipl.ing. građ.
 Institut IGH d.d., PC Split
zeljan.pernat@igh.hr



Prof.dr.sc. **Mijo Vranješ**, dipl.ing. građ.
 Sveučilište u Splitu
 Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
mijo.vranjes@gradst.hr

Stručni rad

Željani Pernet, Mijo Vranješ

Hidrodinamička valna analiza - osnova za projektiranje održivih plaža

Uređivanje i stabilizacija pomičnih dijelova obalne crte složena je zadaća jer je u takvim priobalnim područjima složena interakcija mora i obale. Ako se analiziraju plaže, bilo prirodne bilo novoizgrađene, zadaća je još zahtjevnija budući da one služe za odmor i rekreaciju te je nužno i odgovarajuće održavanje. Za pravilno oblikovanje i održavanje plaža primjenjuje se numeričko modeliranje. U radu je primjenom modela CGWAVE provedena optimalizacija oblika plaže od zrnatih materijala u svrhu osiguranja njezine održivosti.

Ključne riječi:

plaže, zrnati materijal, održivost plaža, numeričko modeliranje

Professional paper

Željani Pernet, Mijo Vranješ

Hydrodynamic wave analysis as basis for sustainable beach design

The regulation and stabilization of movable parts of shoreline is a complex task, as the sea and shore interaction is quite complex in such coastal areas. If the analysis concerns beaches, either natural or newly built ones, the task becomes even more complex as they are used for rest and recreation, and so an appropriate maintenance must also be provided. Numerical modelling is conducted to enable proper shaping and maintenance of beaches. In this paper, the CGWAVE model is used to optimize a beach made of granular material, in order to ensure its sustainability.

Key words:

beaches, granular material, sustainability of beaches, numerical modelling

Fachbericht

Željani Pernet, Mijo Vranješ

Hydrodynamische Wellenanalyse – Grundlage für die Projektierung von nachhaltigen Stränden

Die Adaptierung und Stabilisierung von beweglichen Teilen der Küstenlinie ist eine komplizierte Aufgabe, weil in den Gebieten vor der Küste die Interaktion von Meer und Küste schwierig ist. Wenn die Strände analysiert werden, sei es natürliche oder neu ausgebaute, ist die Aufgabe noch anspruchsvoller, da sie zum Urlaub sowie zur Erholung dienen und die Instandhaltung notwendig und entsprechend ist. Für eine regelmäßige Gestaltung und Instandhaltung des Strandes wird eine numerische Modellierung angewandt. In der Arbeit wurde durch Anwendung des CGWAVE-Modells die Optimierung der Strandform aus körnigen Materialien zum Zwecke der Sicherstellung ihrer Nachhaltigkeit durchgeführt.

Schlüsselwörter:

Strände, körniges Material, Nachhaltigkeit der Strände, numerische Modellierung

1. Uvod

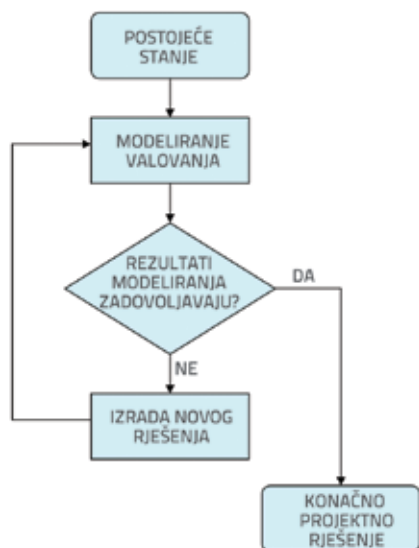
Dosadašnja praksa projektiranja plaža od zrnatih materijala, na obali hrvatskog Jadrana, ukazuje na potrebu provođenja hidrodinamičkih valnih analiza postupkom numeričkog modeliranja valovanja. Oblikovanje i postizanje stabilnosti plaža složena je i vrlo osjetljiva zadaća. Održivost se plaža, prije svega, ogleda u njihovoj sposobnosti zadržavanja postojeće (ili umjetno zadane) konfiguracije u uvjetima brojnih djelovanja prirodnog ili umjetnog karaktera. Glavni prirodni utjecaj na morske plaže jest djelovanje valova, pa iz toga proizlazi i potreba za detaljnim poznavanjem razvijenog valnog polja u priobalnom akvatoriju, a to je moguće dobiti isključivo detaljnim numeričkim modeliranjem valovanja ili dugotrajnim mjerenjem u prirodi. U radu je na primjeru plaže hotela Split prikazana mogućnost takvog postupka analize kao osnove za projektiranje održivih plaža od zrnatih materijala.

2. Hidrodinamičko modeliranje valovanja za potrebe projektiranja

2.1. Osnovni pristup

Slijed postupaka kojima se uz pomoć modeliranja valovanja dolazi do kvalitetnoga projektnog rješenja plaže prikazan je na slici 1.

Najprije se obavlja modeliranje valovanja za postojeću konfiguraciju obalne crte, analiziraju se rezultati i na osnovi njih se donosi odluka o potrebi za intervencijom u akvatoriju plaže. Ako rezultati pokažu potrebu za intervencijom, izrađuje se novo rješenje za koje se ponovno obavlja modeliranje valovanja. Postupak se ponavlja dok se ne postignu zadovoljavajući rezultati analiziranog rješenja koje tada postaje osnova za detaljnu razradu konačnoga projektnog rješenja.



Slika 1. Slijed postupaka hidrodinamičke valne analize za projektiranje održivih plaža

2.2. Osnovna jednadžba procesa valovanja primijenjenoga numeričkog modela CGWAVE

Aproksimaciju gibanja valova u priobalju moguće je dati jednadžbom blagog nagiba [1, 2] koja u osnovnom obliku glasi:

$$\nabla \cdot (CC_g \nabla_{\phi}) + \omega^2 \frac{C_g}{C} \phi = 0 \tag{1}$$

gdje je C brzina vala, C_g brzina grupe valova, $\phi(x, y)$ kompleksni dvodimenzionalni potencijal, a ω kružna frekvencija. Jednadžba (1) je eliptična parcijalna diferencijalna dvodimenzionalna jednadžba koja daje rješenja nepoznatih potencijala $\phi(x, y)$ u horizontalnoj ravnini. Jednadžba (1) vrijedi za uvjet blagog nagiba dna, odnosno za $|\nabla D|/kD \ll 1$ (D -dubina, k -valni broj) [3]. Ona uključuje sve oblike transformacije vala u priobalju kao što je difrakcija, refrakcija, utjecaj pličine i refleksija. Kako bi se u model uključili i nelinearni procesi, kao što su lom vala i trenje po dnu, osnovna se jednadžba (1) proširuje [4, 5]:

$$\nabla \cdot (CC_g \nabla \phi_0) + \left(\omega^2 \frac{C_g}{C} + iC_g \omega W_d \right) \phi_0 = 0 \tag{2}$$

gdje je W_d koeficijent koji kombinira utjecaj loma vala i trenja po dnu [5].

Primijenjenim numeričkim modelom CGWAVE [7], nakon zadavanja rubnih uvjeta rješava se jednadžba blagog nagiba u unutarnjem području modela koje se diskretizira mrežom trokutnih konačnih elemenata [5].

Eliptična se jednadžba blagog nagiba nakon diskretizacije može napisati matrično, a nakon provedene modifikacije izraza, zbog uvjeta koji jamče njezinu konvergenciju, može se pisati u obliku [5, 6]:

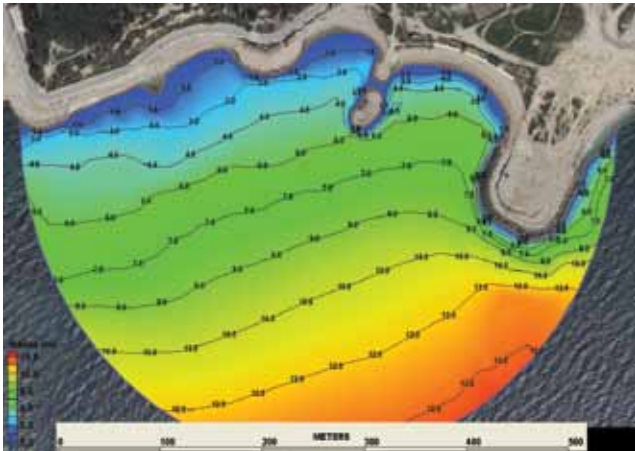
$$[A^*][A]\{\phi\} = [A^*]\{f\} \tag{3}$$

gdje je $[A]$ matrica koeficijenata, $\{\phi\}$ je nepoznati vektor vrijednosti potencijala u čvorovima mreže, $\{f\}$ je vektor rubnih uvjeta, a $[A^*]$ je kompleksna konjugirana transponirana matrica od matrice $[A]$. Rješavanje se obavlja iterativnom metodom konjugiranih gradijenata, a algoritam rješavanja koji je implementiran u CGWAVE dan je u literaturi [5, 7]. Nakon što se dobiju rješenja potencijala ϕ , mogu se izračunati različiti kinematički parametri za svaki čvor mreže konačnih elemenata [5].

2.3. Postupak numeričkog modeliranja valovanja

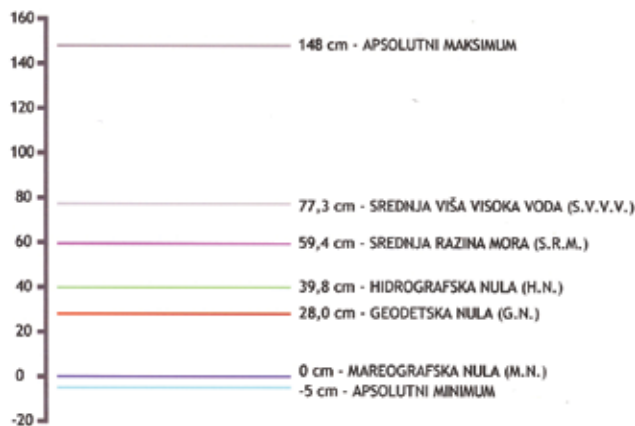
2.3.1. Geodetski i hidrografske podaci

Za stvaranje područja modela potrebne su trodimenzionalna geodetska podloga u tekstualnom (ASCII) obliku, odnosno koordinate točaka (x, y, z) kojima je definirana batimetrija dna i linija obalnog ruba. Radi preglednosti i kontrole ispravnosti postavljanja područja moguće je unijeti i realno grafičko okruženje, npr. ortofoto podlogu (slika 2.).



Slika 2. Postojeće stanje i batimetrija akvatorija plaže hotela Split na ortofoto podlozi

Prema batimetriji dna (slika 2.), dubine su u prosječnom nagibu od otprilike 1:15, a to je znatno manje od maksimalno primjenjivog nagiba za jednadžbu blagog nagiba [4, 5, 8]. Također, vrlo je važno poznavati statističke podatke o oscilacijama morskih razina na predmetnoj lokaciji. Kako ne postoje mjerenja morskih razina na predmetnoj lokaciji plaže hotela Split, koristit ćemo se podacima mjerenja mareografske postaje Split u razdoblju od 1995.-2005.godine [2], smještene u Gradskoj luci Split (slika 3.).



Slika 3. Odnosi karakterističnih veličina u odnosu na mareografsku nulu za mareografsku postaju Split, prilagođeno prema [9]

Za sve provedene numeričke simulacije valovanja primjenjivat će se srednja razina mora (S.R.M.), ne zaboravljajući činjenicu da se pri olujnom jugu razina mora može podignuti za više od 0,50 m od srednje razine.

2.3.2. Vjetrovalni podaci

Svojim položajem unutar Jadranskog mora (slika 4.), prostor plaže hotela Split predstavlja relativno dobro zaštićeni akvatorij izložen vjetrovnim valovima generiranim unutar Splitskog i Bračkog kanala (valovi III. i IV. kvadranta).



Slika 4. Širi akvatorij plaže hotela Split

Valovi koji su relevantni za oblikovanje lica plaže i samog žala jesu valovi koje generira vjetar SE-jugo, SSW-lebić i WSW-maestral. U zimskom razdoblju dominira jugo koje u snažnim valovima tijekom godine donese najviše energije na obalnu crtu. Znači da jugo ima najjače djelovanje i najviše utječe na oblik i održivost plaže. Lebić je kratkotrajna i rijetka pojava, s valovima koji razaraju plažu razbacujući plažni materijal. U ljetnom razdoblju često puše maestral uzrokujući umjerene valove, koji također pridonose oblikovanju šljunčanih plaža, a ujedno utječu na njihovu održivost. Dakle, za predmetnu plažu potrebno je provesti valne analize za dva smjera incidentnih valova (jugo i maestral) koji najviše pridonose njezinoj održivosti s obzirom da za valove lebića nije moguće napraviti odgovarajuću zaštitu plaže.

Kako se ne raspolaže s mjerenjima valova na predmetnoj lokaciji, za simulacije valovanja potrebno je definirati parametre dubokovodnih valova, odnosno dubokovodnih valnih spektara za incidentne smjerove valova na osnovi mjerenja vjetra [10]. Postoje mnoge korištene metode dobivanja ovih dubokovodnih valnih parametara (npr. Gröen-Dorrensteinova metoda), kao i brojne metode valnih prognoza. Za analizu predmetne plaže rabiće se valni parametri prema literaturi [11], i to za povratna razdoblja od 5 godina (tablica 1.).

Pri modeliranju valovanja takvih vrsta akvatorija, koji su radovito izloženi vjetrovnim valovima s varijacijom osnovnog smjera na lokalnoj razini i kad se valni uvjeti opisuju energetske spektrom, potrebno je uzeti određenu direkcijsku disperziju oko osnovnog smjera incidentnih valova [2, 12]. Za ovaj slučaj odabrana je direkcijska disperzija od 25° oko osnovnih smjerova incidentnih valova.

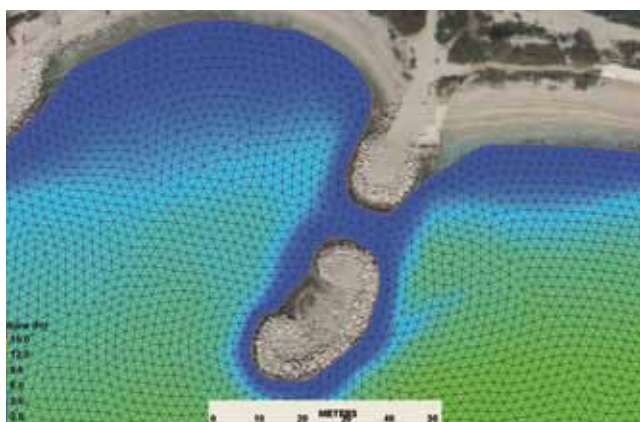
Tablica 1. Parametri dubokovodnih valova

Smjer valova	H_s [m]	T_0 [s]	T_p [s]
SE (jugoistok)	2,9	6,3	7,6
WSW (zapad-jug-zapad)	1,2	4,1	4,9

H_s – značajna valna visina
 T_0 – srednji valni period
 T_p – vršni spektralni period

2.3.3. Izrada modela za proračun

Kako je već spomenuto, područje modela diskretizira se mrežom konačnih elemenata čija veličina ovisi o lokalnoj valnoj dužini λ [11]. Minimalna je potrebna rezolucija mreže konačnih elemenata 8 do 10 točaka po jednoj valnoj dužini [3, 5, 13]. Kako razmatrani akvatorij ima približnu površinu od 146.000 m², potrebno je napraviti najpovoljniji odabir minimalnog konačnog elementa da vrijeme proračuna bude prihvatljivo. Odabran je trokutni element stranice približno 2,0 m i generirana je mreža s približno 60.000 konačnih elemenata i oko 36.000 čvorova (slika 5.).



Slika 5. Detalj mreže konačnih elemenata

2.3.4. Rubni uvjeti

Obalni rubni uvjeti

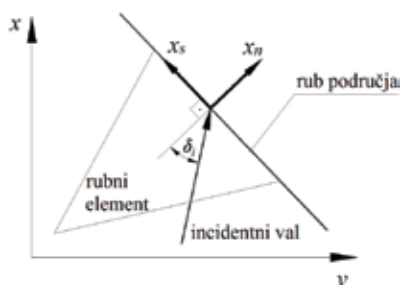
Rubni uvjet u općem obliku za obalnu liniju glasi [3]:

$$\frac{d\phi}{dn} = ik \frac{1-K_r}{1+K_r} \phi \tag{4}$$

gdje je K_r koeficijent refleksije obale (između 0 i 1), a n je normala na obalni rub. Rubni uvjet (4) za konačni element (slika 6.) na obalnom rubu glasi [5, 13]:

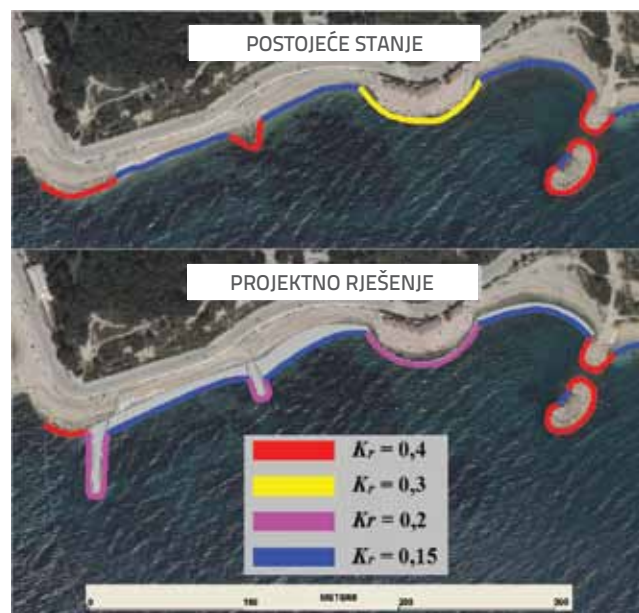
$$\frac{\partial\phi}{\partial x_n} = ik \cos\delta_i \frac{1-K_r}{1+K_r} \phi; \frac{\partial\phi}{\partial x_s} = ik \sin\delta_i \phi \tag{5}$$

gdje su x_n i x_s koordinate njegova lokalnog sustava, a δ_i je kut incidentnog vala na obalni rub koji se dobiva iteracijom [5, 13] (slika 6.).



Slika 6. Rubni element i smjer incidentnog vala na rub

Obalna linija postojećeg stanja i novih rješenja plaže hotela Split sastoji se od svega nekoliko karakterističnih obalnih profila, koji svojim refleksivnim karakteristikama pridonose kompleksnosti valnog polja deformacija u neposrednom akvatoriju plaže, a za njih su odabrani koeficijenti refleksije (slika 7.) prema literaturi [11, 12, 13, 14].



Slika 7. Koeficijenti refleksije obale po dionicama za postojeće stanje i konačno projektno rješenje

Rubni uvjeti za otvorenu granicu

Prije definiranja ovog rubnog uvjeta potrebno je kazati da se u numeričkom modelu CGWAVE otvorena granica zadaje segmentom kružnice zbog zadovoljenja Sommerfeldova radijacijskog uvjeta [11]. Pojednostavljenim rječnikom ovaj uvjet kaže da se svi valovi koji uđu u područje modela kroz otvorenu granicu, a zatim se rasprše zbog prepreka u akvatoriju modela, moraju propustiti natrag kroz otvorenu granicu. Ukupni se dvodimenzionalni kompleksni potencijal $\phi(x, y)$ na otvorenoj granici može izraziti kao:

$$\phi = \phi^i + \phi^r + \phi^s \tag{6}$$

ϕ^i je potencijal incidentnih valova, ϕ^r potencijal reflektiranih valova, a ϕ^s je potencijal raspršenih valova. Daljnjim raščlanjivanjem i pojednostavljenjima [1, 3, 13] dobiva se ukupni rubni uvjet za otvorenu granicu:

$$\frac{\partial\phi}{\partial x_n} = \left(ik - \frac{1}{2R} \right) (\phi - \phi^0) + \frac{\partial\phi^0}{\partial x_n} \tag{7}$$

gdje je x_n koordinata lokalnog sustava na otvorenoj granici, položena okomito na tangentu segmenta kružnice, a R je polumjer kružnice. Kako otvorena granica predstavlja liniju generiranja incidentnih valova, na njoj se moraju zadati incidentni valni uvjeti definirani energetske dubokovodnim

valnim spektrom. Odabrani frekvencijski spektar za numeričke simulacije valovanja jest JONSWAP [13], s različitim parametrima za smjerove juga (SE) i maestra (WSW) (tablica 1) i s direkcijskom disperzijom od 25° oko osnovnog smjera incidentnih valova.

3. Analiza rezultata numeričkog modeliranja valovanja

Proveden je niz numeričkih simulacija valovanja u predmetnom akvatoriju s jednom razinom mora (S.R.M.) i s dva smjera incidentnih valova (SE i WSW), a ovdje se daju samo rezultati za postojeće stanje i za konačno projektno rješenje plaže hotela Split [4].

Modeliranjem valovanja dobiju se različiti parametri značajni za morfodinamiku plaže i procjenu njezine održivosti [2, 3, 10]. Važan je parametar valna visina H_s koja ukazuje na potencijalnu količinu energije koju valovi donesu na obalu. Nadalje, važni su parametri i horizontalne orbitalne brzine čestica valova na dnu u_d (orbitalne brzine na dnu) i snaga vala (dužobalni protok valne energije) P_r , a oba parametra služe za procjenu veličine i smjera potencijalnog pronosa plažnog materijala zbog strujanja izazvanih valovima [5, 15]. Kako se dominantna dužobalna strujanja zbog valova i najveći pronos plažnog materijala javljaju u području loma vala [15], osobito je zanimljivo promatrati gore navedene parametre u tom području [10, 11]. Za određivanje linije loma vala primjenjuje se sljedeći uvjet [10]:

$$H_{sb} = 0,76 \cdot d_b \tag{8}$$

gdje su H_{sb} i d_b značajna valna visina i dubina u točki loma vala. Za konkretan slučaj razmatrane plaže određene su dvije kontrolne linije u pravcu za sve slučajeve incidentnih valova za postojeće i projektirano stanje (slika 8.).

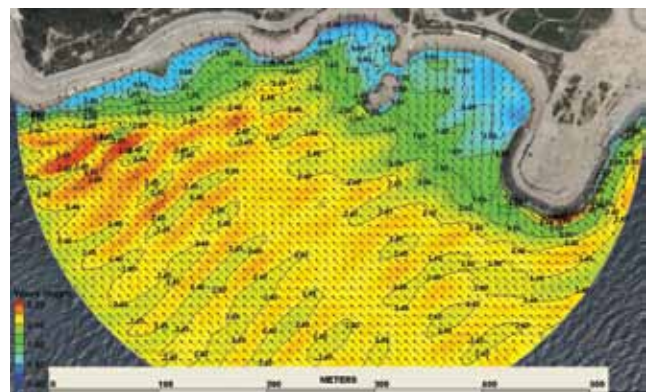


Slika 8. Linija loma vala za postojeće stanje plaže i incidentni smjer valova SE te odabrane kontrolne linije

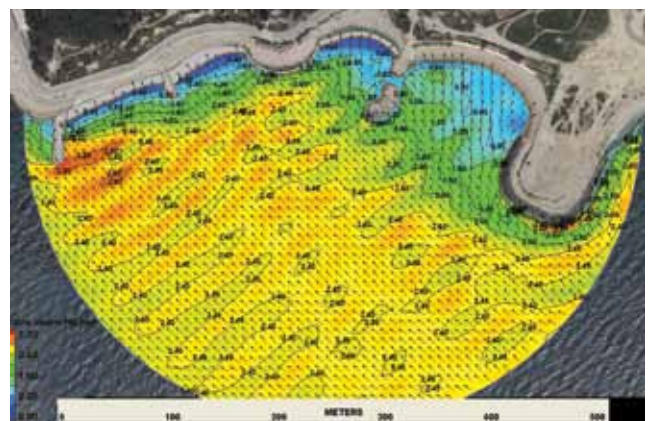
Valna visina H_{sb} u točki loma vala u direktnoj je vezi sa snagom vala [10, 15]:

$$P_r = \frac{\rho g}{16} H_{sb}^2 C_{gb} \sin 2\alpha_b \tag{9}$$

gdje je C_{gb} lokalna grupna valna brzina, a α_b kut između smjera vala i smjera nagiba dna u točki loma vala. Na osnovi podatka o snazi vala P_r moguće je, za određeni granulometrijski sastav plažnog materijala, odrediti iznos njegovog potencijalnog volumetrijskog dužobalnoga transporta Q_r [11]. Budući da ne raspoložemo podacima o granulometrijskom sastavu plažnog materijala razmatrane plaže, navodimo samo podatke o veličini snage vala P_r u svrhu otkrivanja dijelova obale s mogućim problemima pronosa plažnog materijala. Rezultati numeričkog modeliranja valovanja prikazani su kao polja razvijenih valnih visina H_s s naznačenim vektorima smjera incidentnih valova (slike 9. do 12.) i polja ukupnih orbitalnih brzina na dnu u_d i njihovi vektori (slike 13. do 16.). Naposljetku prikazuju se varijacije H_s i P_r u kontrolnim linijama (slike 17. i 18.).

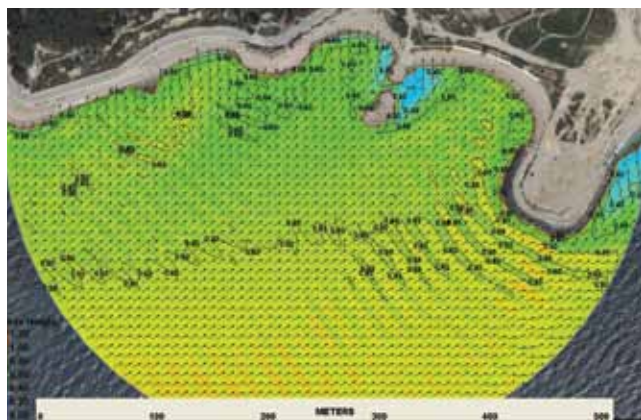


Slika 9. Polje H_s i vektori smjera za postojeće stanje (SE)

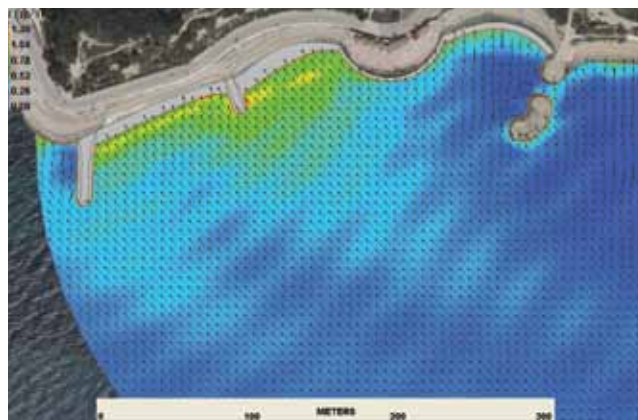


Slika 10. Polje H_s i vektori smjera za konačno projektno rješenje (SE)

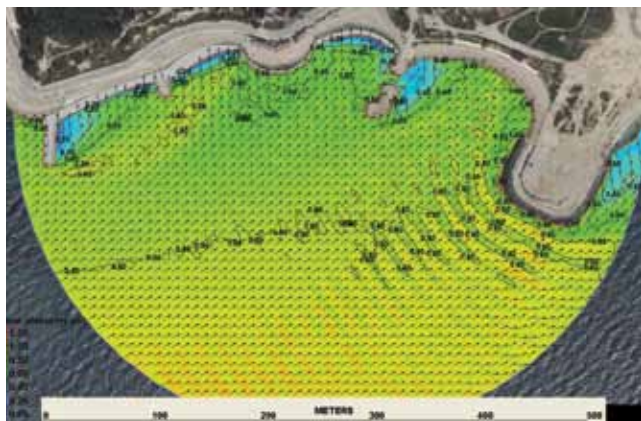
Iz rezultata se vidi da valovi iz smjera SE imaju puno veći utjecaj na plažu od valova iz smjera WSW. Rezultati za postojeće stanje pokazuju dijelove obale s mogućim problemima s pronosom (donošenjem i odnošenjem) plažnog materijala, a ogledaju se u povećanim vrijednostima orbitalnih brzina na dnu u_d za incidentni smjer SE (slika 13.) i valne snage P_r (slika 18.). Orbitalne brzine



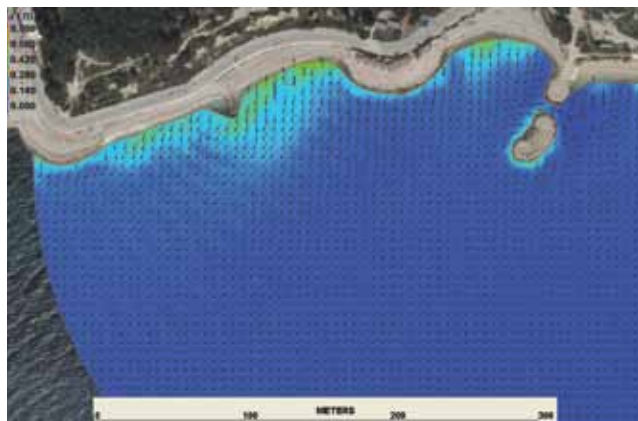
Slika 11. Polje H_s i vektori smjera za postojeće stanje (WSW)



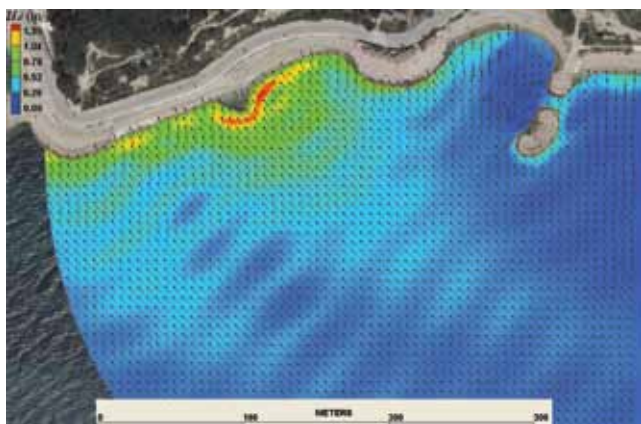
Slika 14. Polje u_d i vektori smjera za konačno projektno rješenje (SE)



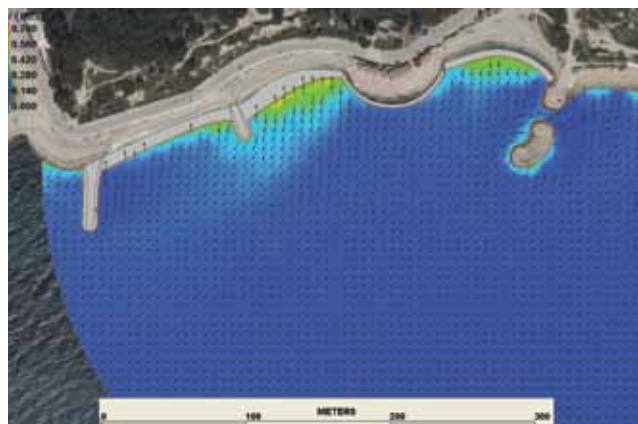
Slika 12. Polje H_s i vektori smjera za konačno rješenje (WSW)



Slika 15. Polje u_d i vektori smjera za postojeće stanje (WSW)



Slika 13. Polje u_d i vektori smjera za postojeće stanje (SE)

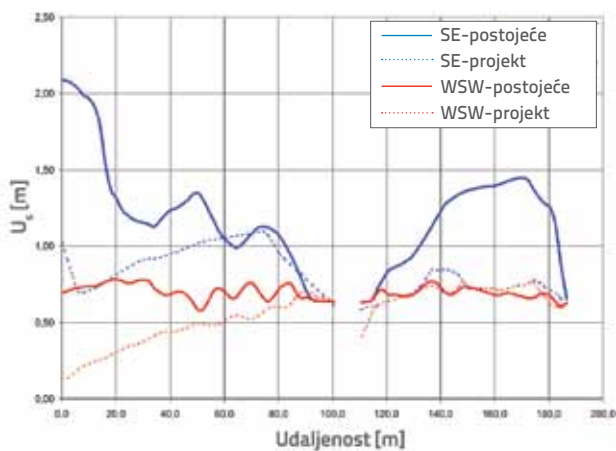


Slika 16. Polja u_d i vektori smjera za konačno projektno rješenje (WSW)

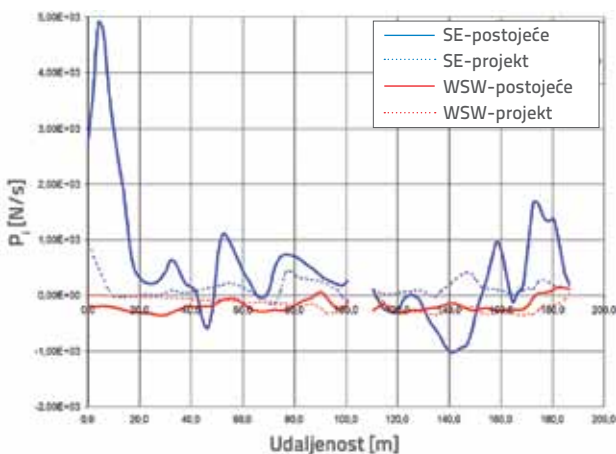
na dnu u_d najveće su u središnjem dijelu plaže gdje dosežu vrijednosti od 1,30 m/s (slika 13.), dok je snaga vala P_f najizraženija na najzapadnijem dijelu plaže u prvih 20 metara kontrolne linije s maksimalnom vrijednošću od približno 5×10^3 N/s (slika 18.). Ova područja, u kojima su zapažene povećane vrijednosti u_d i P_f , ujedno su i najizloženi dijelovi stvarnog stanja na terenu. U tim je područjima potrebno napraviti određene intervencije kako bi se smanjio pronos plažnog materijala s vremenom i na taj način povećala održivost plaže. U isto se vrijeme intervencije moraju

planirati da se njihovom izgradnjom ne pogorša stanje valnog polja u razmatranom akvatoriju. Iz rezultata za konačno projektno rješenje vidljivo je da su polja valnih visina H_s vrlo slična onima za postojeće stanje i to za oba incidentna smjera valova (slike 9 do 12). No primjetne su značajnije razlike valnih visina unutar područja loma vala u blizini intervencija, a to se osobito vidi u kontrolnim linijama (slika 17.). Za konačno projektno rješenje valne su visine H_s za smjer WSW i do 3,5 puta manje od valnih visina postojećeg stanja, a za smjer SE i do 2 puta manje (slika 17.).

Razlog tome treba tražiti u činjenici da su novi dijelovi obale planirani s relativno niskim koeficijentima refleksije (slika 7.), a to utječe na cijelo valno polje unutar područja loma vala. Što se tiče orbitalnih brzina po dnu u_d za konačno projektno rješenje, vidljivo je znatno smanjenje vrijednosti za dominantni smjer SE u cijelom području razmatrane plaže (slika 14.). Za incidentni smjer WSW primjetno je smanjenje orbitalnih brzina po dnu u zapadnom i središnjem dijelu plaže, dok su vrijednosti nešto povećane u istočnom dijelu, ali s boljim usmjerenostima vektora. Snaga vala P_i , koja najveće vrijednosti ima u zapadnom dijelu postojećeg stanja plaže za incidentni smjer SE, napravljenim je intervencijama znatno smanjena (slika 18.). Što se tiče snage vala za smjer WSW, ona je za konačno projektno rješenje ostala na približno istoj razini kao za postojeće stanje (slika 18.).



Slika 17. Varijacija u_d za postojeće stanje i konačno projektno rješenje plaže i oba incidentna smjera valova



Slika 18. Varijacija P_i za postojeće stanje i konačno projektno rješenje plaže i oba incidentna smjera valova

4. Analiza primijenjenoga tehničkog rješenja

Na osnovi dugogodišnjeg motrenja dolaska i djelovanja valova na obalnu crtu plaže hotela Split te na osnovi rezultata

dobivenih ovim numeričkim modelom postignuta je vrlo dobra i stabilna šljunčana plaža. Izbor krupnoće žala proveden je prema literaturi [8]. Upotrijebljen je kameni drobljenac iz bližih kamenoloma, dakle vapnenac. Oštri rubovi zrna u samo jednoj zimskoj sezoni izbrušeni su i dobivene su zaobljene valutice. Kako se plaža prihranjivala kamenim materijalom pred samu sezonu kupanja 2010. godine, na površinu i na lice plaže donesen je savski šljunak u sloju debljine oko 10 centimetara. Tijekom zimskog razdoblja 2010/11. žalo je potpuno izmiješano i potpuno zaobljeno. Sada je prosječno zrno $d_{50}=32$ mm. Na slikama 19. do 22. vidi se stanje žala u zimskom i u ljetnom razdoblju.



Slika 19. Stanje žala u siječnju 2011.



Slika 20. Stanje žala u ožujku 2011.



Slika 21. Plaža u kolovozu 2011.



Slika 22. Plaža u kolovozu 2011. (detaljni prikaz)

5. Zaključak

Optimizaciju oblika plaže od zrnatih materijala u svrhu osiguranja njezine održivosti, moguće je izvršiti uz pomoć detaljnoga numeričkog modeliranja valovanja. Pri tome je nužno dobro poznavanje specifičnih vjetrovalnih uvjeta razmatranog prostora. Iz rezultata numeričkog modeliranja valovanja dobiva se niz parametara koji su značajni za

morfolodinamiku i održivost plaža, kao što su valne visine H_s , orbitalne brzine na dnu u_d i snaga vala P_r . Optimizirani oblik plaže dobiven takvim postupkom postaje kvalitetna osnova za detaljnu razradu projekata plažni. Analizirano konačno projektno rješenje plaže hotela Split donijelo je cijeli niz morfolodinamičkih i hidrodinamičkih poboljšanja razmatranog akvatorija u odnosu na postojeće stanje, a time i uvelike povećalo održivost same plaže.

LITERATURA

- [1] Berkhoff J.C.W.: *Computation of combined refraction-diffraction*, Proceedings 13th Int. Conf. Coastal Eng., ASCE, Vancouver, 471-490, 1972.
- [2] Berkhoff J.C.W.: *Mathematical model for simple harmonic linear water waves. Wave refraction and diffraction*, Publication no.163, Delft Hydraulics Laboratory, the Netherlands, 1976
- [3] Fumin X. et al, *Effects of storm waves on rapid deposition of sediment in the Yangtze Estuary channel*, Water Science and Engineering – Vol. 1, No. 1, 27-36, 2008.
- [4] Booij N.: *Gravity Waves on Water with Non-uniform Depth & Current*, Ph.D.thesis, Technical Univ of Delft, the Netherlands, 1981.
- [5] Demirebilek Z., Panchang V.G.: *CGWAVE: A Coastal Surface Water Wave Model of the Mild Slope Equation*, Technical Report CHL-98-26, US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 39, 180, 1998
- [6] Panchang V.G., Wei G., Pearce B.R.: *Solution to the Mild-Slope Wave Problem by Iteration*, Applied Ocean Research, 13(4), 187-199, 1991.
- [7] Zhang J.: *Incorporating Rubble Mound Jetties in Elliptic Harbor Wave Models*, Graduate Studies of Texas A&M University, 2007.
- [8] Dean R.G., Dalrymple R. A.: *Coastal Processes with Engineering Applications*, Cambridge University Press 2004.
- [9] Hrvatski hidrografski institut-Split, *Stanje morskih struja i razi mora u Gradskoj luci Split*, 2008
- [10] Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske, *Vjetrovalna klima za razdoblje 1966.-2005.*, Zagreb, 2006.
- [11] U.S.Army Corps of Engineers, *CEM (Coastal Engineering Manual)*, 2003.
- [12] Goda Y.: *Random Seas and Design of Maritime Structures*, Advanced Series on Ocean Engineering – Volume 15, World Scientific, 2000.
- [13] Chen W., Panchang V.; Demirebilek Z.: *On the modeling of wave-current interaction using the elliptic mild-slope wave equation*, Ocean Engineering 32, 2135-2164, 2005
- [14] Thompson E.F., Chen H.S., Hadley L.L.: *Validation of Numerical Model for Wind Waves and Swell in Harbors*, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 122, 5, 245-257, 1996
- [15] Sorensen R.M.: *Basic Coastal Engineering*, Third Edition, Springer, 2006