

Optimizacija prostornog rasporeda valnih konvertora

Serdarušić, Andrijana

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:237:487076>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-28**

Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Andrijana Serdarušić

**OPTIMALIZACIJA PROSTORNOG
RASPOREDA VALNIH KONVEKTORA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Andrijana Serdarušić

**OPTIMALIZACIJA PROSTORNOG
RASPOREDA VALNIH KONVEKTORA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Andrijana Serdarušić

OPTIMIZATION OF THE SPATIAL ARRANGMENT OF WAVE CONVECTORS

MASTER THESIS

Zagreb, september 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Andrijana Serdarušić

OPTIMALIZACIJA PROSTORNOG RASPOREDA VALNIH KONVEKTORA

DIPLOMSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Goran Lončar
Komentor: doc. dr. sc. Damjan Bujak

Zagreb, rujan 2024.

SAŽETAK

U ovom radu prikazani su rezultati studije koje su provedene s ciljem određivanja klime valova oko niza hipotetskih valnih uređaja. Kao cilj ovog rada razmatraju se promjene visine vala uzvodno i nizvodno od postavljenih uređaja za različite razine apsorpcije vala. To se postiže modeliranjem valnih uređaja kao poroznih struktura s različitim razinama poroznosti, uz uvođenje u obzir djelomične refleksije i djelomičnog prijenosa. U tu svrhu koristi se valni model MIKE-21 Boussinesq.

Rezultati su prikazani u obliku značajnih polja visine valova. Rezultati provedenih numeričkih simulacija prikazani su u vidu prostorne raspodjele značajnih valnih visina (polja H_s) na prostornoj domeni Boussinesq numeričkog modela. Ova studija ilustrira kako varijacije u apsorpciji valova od strane uređaja utječu na stupanj refleksije valova i prijenosa oko uređaja. Rezultati provedenog istraživanja pokazali su da se primjenom 2 reda konvertera postavljenik u 5 naizmjeničnih kolona prosječna incidenta značajna valna visina smanjuje za prosječno 47.3% , a ukoliko se postavi 5 redova konvertera smanjenje je prosječno 77,2%.

KLJUČNE RIJEČI: valni uređaji, apsorpcija vala, model MIKE-21 Boussinesq, stupanj refleksije vala, stupanje prijenosa oko uređaja.

SUMMARY

This paper presents the results of a study carried out to determine the change in wave climate around an array of hypothetical wave devices. The main objective of this work is to investigate the change in wave height in the upstream and downstream of the devices for different levels of wave absorption. This is achieved by modeling the wave devices as porous structures with different porosity levels, with the inclusion of partial reflection and partial transmission. The MIKE 21 Boussinesq wave model is used for this purpose.

The results are presented in the form of significant wave height fields. This study illustrates how the variations in wave absorption by the devices affect the degree of wave reflection and transmission around the devices. The results of the conducted research showed that by applying 2 rows of converters placed in 5 alternating columns, the average incident significant wave height is reduced by an average of 47,3%, and if 5 rows of converters are installed, the reduction is an average of 77,2%.

KEY WORDS: wave devices, wave absorption, MIKE-21 Boussinesq model, degree of wave reflection, transmission around the devices.

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. NUMERIČKI MODEL VALNIH DEFORMACIJA	3
3. REZULTATI NUMERIČKOG MODELA VALNIH DEFORMACIJA	10
4. ZAKLJUČAK	24
Popis literatura:	25
Popis slika:	26

1. UVOD

Potreba za proizvodnjom električne energije bez zagađenja prepoznata je diljem svijeta i rezultirala je interesom za obnovljivu energiju. Zbog sve većeg interesa za obnovljivim izvorom energije dolaze brojne inovacije pa jedan takav oblik obnovljive energije proizlazi iz oceanskih valova te sada postoje brojni koncepti uređaja koji se predlažu za ekstrakciju energije valova, dizajniranih za lokacije od obale do duboke vode. Kako bi bili isplativi, ovi će uređaji biti raspoređeni u nizovima kao 'valna farma'. Kada je više uređaja instalirano u nizovima, tada će proizvodnja energije svakog pojedinog uređaja ovisiti o geometrijskoj konfiguraciji i uključivat će parametre kao što su razmak između uređaja i orijentacija prema prevladavajućem smjeru vala.

Prvi cilj je procijeniti učinak ekstrakcije energije valova iz niza uređaja (tri do pet redaka i pet stupaca) na klimu valova. Ovaj rad ispituje ta pitanja pomoću numeričkih valnih modela. Namjera je primijeniti valno modeliranje na slučaj gdje su difrakcija i refrakcija prevladavajući učinci. Iz tog razloga razmatra se niz koji se sastoji od uređaja položenih na dnu, a ne plutajućih uređaja gdje bi dominirati učinci mogli biti zračenje.

Ovo je preliminarna studija u kojoj se koriste tri, četiri i pet redova uređaja za ilustraciju učinka niza na klimu valova. U ovom rad se pokazalo da postavljanje pet redova uređaja može značajno smanjiti nizvodnu visinu vala. Posljedično, ovaj se model može koristiti za određivanje pojedinačnih karakteristika valova i prije i nakon postavljanja farme valova, što omogućuje jednostavnu procjenu utjecaja niza na klimu valova.

Nadalje, prisutnost niza može utjecati na nizvodne obrasce transporta sedimenta i to može rezultirati erozijom/taloženjem plaže što ovisi o prirodi valova, karakteristikama njihovog smjera, protoku plimne struje i batimetriji itd.

Još jedna primjena ove studije mogla bi biti pomoć u predviđanju scenarija valova u blizini farmi valova gdje se odvijaju aktivnosti u slobodno vrijeme kao što su surfanje i vodeni sportovi. Rezultati ove studije također se mogu primijeniti u planiranju različitih obalnih objekata i za druga pitanja zaštite okoliša.

Nelinearni 'Boussinesqov valni model' korišten je za proučavanje interakcije između valova i niza hipotetskih uređaja za energiju valova postavljenih na dnu. Boussinesqov valni model formuliran je tako da uključuje širenje valova ili interakciju sa strukturom čvrste ili propusne prirode i ovaj je model uspješno primijenjen na mnoge probleme lučkog inženjerstva. Treba napomenuti da se ovaj model može primijeniti samo na fiksne strukture i nije primjenjiv za pokretne strukture. Budući da ovaj model objašnjava nekoliko valnih fenomena uključujući difrakciju i prijenos valova kroz strukturu, autori su pokušali primijeniti ovaj model na uređaj

za energiju vala pod pretpostavkom da je uređaj fiksiran na dnu. Slični pristupi korišteni su u drugim studijama Millera i suradnika.[3] i Beels et al.[4] modelirati valne uređaje.

Interakcija valova s nizom struktura koje pronalaze primjenu u mnogim pomorskim i neobalnim inženjerskim praksama već je provedena u brojnim istraživačkim radovima. Kagemoto i Yue [5] razvili su teoriju interakcije za konačni broj tijela proizvoljne geometrije u vodi konačne dubine, koja dopušta upadni val na svako tijelo od raspršenog vala zbog svih ostalih tijela. Peter i Meylan su ovu teoriju interakcije proširili do beskonačne dubine [6]. U kontekstu uređaja za energiju valova, hidrodinamičku interakciju između uređaja teorijski su proučavali Budal [7], Falnes i Budal [8] i Evans [9]. Mavrakos i McIver [10] koristili su tri različite metode u modeliranju valnih uređaja, naime metodu višestrukog raspršenja, metodu ravnog vala i aproksimaciju točkastog apsorbera za izračunavanje sila pobude valova, hidrodinamičkih koeficijenata i q faktora (koji se koriste za procjenu apsorpcije snage karakteristika niza uređaja) za niz okomitih kružnih cilindara. Zaključili su da aproksimacija ravnog vala može točno izračunati hidrodinamičke sile. Falcao [11] je izveo posebne analitičke izraze za apsorpciju valova periodičnim linearnim nizom uređaja s oscilirajućim vodenim stupovima pravokutnog i kružnog oblika. Falcao je zaključio da je maksimalna širina zahvata fazno kontroliranog kružnog oscilirajućeg vodenog stupca bez raspršenja neovisna o polumjeru komore i da hidrodinamička interakcija može značajno promijeniti maksimalnu apsorpciju energije, ovisno o nizu i geometriji kružne komore i kutu učestalost. Većina gore navedenog rada usredotočena je na izvedbu uređaja kao niza, dok je u ovom radu ilustriran učinak valnog niza na klimu susjednih valova. Hidrodinamika apsorpcije snage vala od strane oscilirajućih tijela uključuje kombinaciju problema difrakcije vala i problema zračenja vala. Međutim, u ovom radu, efekt ogiba od niza uređaja samo je modeliran budući da se uređaji smatraju fiksnim, a nadalje softver koji se ovdje koristi nema mogućnost modeliranja učinka zračenja.

Miller i dr.[3] modelirali su farmu valova uz obalu sjevernog Cornwalla pomoću prepreke koja djelomično propušta duljinu od 4 kilometara koristeći valni model i proučavao varijaciju visine valova nizvodno mijenjajući prijenos prepreke na 0%, 40%, 70% i 90 %. Beels i sur.[4] koristio je model valova s blagim nagibom (MildWAVE) implementirajući spužvaste slojeve za apsorpciju snage. Spužvasti slojevi s konstantnim koeficijentima i promjenjivim koeficijentima korišteni su u modeliranju snage koju apsorbira uređaj i raspravljalo se o rezultirajućim učincima na visinu upadnih, reflektiranih i odaslanih valova. Otkrili su da variranje koeficijenata spužve ima minimalan učinak na reflektirane valove, ali puno veći utjecaj na odaslane valove. Simulirali su WEC u stalnoj dubini vode od 30 m s 25% apsorpcije i primijetili veliku zonu sjene nizvodno od uređaja. Thiruvenkatasamy i Neelamani [12] proveli su eksperimente kako bi istražili učinkovitost apsorpcije energije višerezonantnih kesonskih uređaja s oscilirajućim valovima u nizu. Izvijestili su da je prosječna reflektirana energija niza 30%. Druga zanimljiva istraživanja o interakciji valnih nizova mogu se pronaći u McIveru [13]. Sljedeći odjeljci uključuju kratak opis valnih modela, metodologiju korištenu za modeliranje nizova uređaja i raspravu o značaju rezultata iz valnog modela.

Boussinesqov valni model uspješno je korišten za modeliranje prijenosa valova kroz porozne strukture kao što je lukobran [2], pri čemu se neki dio energije dolazećeg vala reflektira, dio prenosi kroz strukture, a dio energije raspršuje (ili apsorbira) unutar struktura. Količina reflektirane ili prenesene energije ovisi o karakteristikama debljine i poroznosti strukture. Ovaj koncept je donekle sličan procesu interakcije vala s valnim uređajem i stoga se koristi u modeliranju valnih uređaja u ovom radu. Ovaj se postupak može vrlo dobro primijeniti na donje montirane fiksne valne uređaje, ali treba ga koristiti s velikim oprezom za modeliranje plutajućih uređaja. Budući da ne može modelirati dinamičku interakciju između vala i plutajućeg uređaja ili između uređaja unutar niza, stoga je upitna primjena ovog valnog modela na brzo pokretne plutajuće uređaje. Međutim, za plutajuće strukture s dubokim gazom s ograničenim ili ograničenim kretnjama, autori vjeruju da bi ovaj valni model ipak dao prihvatljive rezultate ako je glavni interes samo valna klima oko uređaja. Metoda primijenjena u ovoj studiji razlikuje se od studije Millera i sur. [3]. i Beels et al.[4] činjenicom da su valni uređaji modelirani kao porozne strukture postavljeno je pet takvih uređaja što uključuje interakciju između pojedinačnih uređaja i također na susjednu valnu klimu uzimajući u obzir varijacije u batimetriji mora.

2. NUMERIČKI MODEL VALNIH DEFORMACIJA

Primijenjen je numerički model valnih deformacija Mike 21/BW (www.dhigroup.com). Numeričko istraživanje valnog polja provedeno je sa numeričkim modelom kroz niz provedenih analiza u kojima su praćene sve valne deformacije za sadašnje stanje izgradnje i odabrane varijante kojima su uključeni i planirani novi konstrukcijski elementi. Primijenjeni numerički model baziran je na rješavanju vremenske domene u Boussinesq-ovim jednadžbama. Boussinesq-ove jednadžbe sadrže članove kojim je obuhvaćen i utjecaj frekvencijske disperzije i nelinearnosti i to ne samo u dubokovodnom već i u prelaznom i plitkovodnom području. Frekvencijska disperzija uzeta je u obzir u jednadžbama količine gibanja u kojima je uzet u obzir i efekt vertikalnog ubrzanja na distribuciju tlakova. Jednadžbe se rješavaju korištenjem fluks-formulacije sa poboljšanim linearnim disperzijskim karakteristikama. Korištenje tako proširenih jednadžbi Boussinesq-ovog tipa omogućena je analiza i simulacija propagacije usmjerene valne grupe iz dubokovodnog u plitkovodno područje. Maksimalni omjer dubine i duljine dubokovodnog vala kojim je moguće ostvariti simulaciju je 0,5 uz korištenje proširene Boussinesq-ove jednadžbe ili 0,22 ukoliko se koristi samo osnovna Boussinesq-ova formulacija bez proširenja. Jednadžbe se u numeričkom modelu rješavaju sa implicitnom tehnikom konačnih diferencija.

Ovim numeričkim modelom obuhvaćeni su sve kombinacije relevantnih utjecaja na deformacije valova: prostorna varijabilnost dubina (nagibi dna), refrakcija, difrakcija, trenje sa dnom, parcijalna refleksija i transmisija, nelinearna interakcija između dva ili više valova i frekvencijsko širenje Nelinearni fenomeni poput formiranja valne grupe, generiranje viših i nižih harmonika te analiza rezonancije također se mogu istraživati sa primjenjenim numeričkim modelom. Osnovne jednačbe korištenog numeričkog modela su jednačba kontinuiteta (1) i količina gibanja u x i y smjeru (2 i 3):

$$n \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$n \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + \frac{\partial R_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial R_{xy}}{\partial y} + n^2 gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + n\psi_x + n^2 \frac{\tau_x}{\rho} = 0 \quad (2)$$

$$n \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + \frac{\partial R_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial R_{xy}}{\partial x} + n^2 gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + n\psi_y + n^2 \frac{\tau_y}{\rho} = 0 \quad (3)$$

gdje je: p, q integrirane brzine (volumenski fluks) po dubini u Kartezijevu koordinatnom sustavu (x, y); $h = d + \zeta$ trenutna dubina vode; ζ izdizanje vodene površine; R_{xx}, R_{xy}, R_{yy} prekoračenje količine gibanja prouzrokovano uslijed nejednolike raspodjele brzina uz prisutnost vrtložnog valjka koja prema Madsen i sur. (1991) iznosi:

$$(R_{xx}, R_{yy}, R_{xy}) = \frac{\delta}{1 - \delta/h} \left[\left(C_x - \frac{p}{h} \right)^2, \left(C_x - \frac{p}{h} \right) \left(C_y - \frac{q}{h} \right), \left(C_y - \frac{q}{h} \right)^2 \right] \quad (4)$$

gdje je: $\delta = \delta(t, x, y)$ debljina površine vrtložnog valjka; C_x, C_y komponente brzine vrtložnog valjka; ψ_x i ψ_y disperzivni članovi Boussinesqova tipa za plitku vodu i za blagi nagib prema Madsen i Sorensen (1992).

$$\psi_x = - \left(B + \frac{1}{3} \right) d^2 \left(\frac{\partial^3 p}{\partial x^2 \partial t} + \frac{\partial^3 q}{\partial x \partial y \partial t} \right) - Bgd^3 \left(\frac{\partial^3 \zeta}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 \zeta}{\partial x \partial y^2} \right) - d \frac{\partial d}{\partial x} \left(\frac{1}{3} \frac{\partial^2 p}{\partial x \partial t} + \frac{1}{6} \frac{\partial^2 q}{\partial y \partial t} + 2Bgd \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + Bgd \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} \right) - d \frac{\partial d}{\partial y} \left(\frac{1}{6} \frac{\partial^2 q}{\partial x \partial t} + Bgd \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x \partial y} \right) \quad (5)$$

$$\psi_y = - \left(B + \frac{1}{3} \right) d^2 \left(\frac{\partial^3 q}{\partial y^2 \partial t} + \frac{\partial^3 p}{\partial x \partial y \partial t} \right) - Bgd^3 \left(\frac{\partial^3 \zeta}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 \zeta}{\partial y \partial x^2} \right) - d \frac{\partial d}{\partial y} \left(\frac{1}{3} \frac{\partial^2 q}{\partial y \partial t} + \frac{1}{6} \frac{\partial^2 p}{\partial x \partial t} + Bgd \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + 2Bgd \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} \right) - d \frac{\partial d}{\partial x} \left(\frac{1}{6} \frac{\partial^2 p}{\partial y \partial t} + Bgd \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x \partial y} \right) \quad (6)$$

gdje je: $\delta = \delta(t, x, y)$ debljina površine vrtložnog valjka; B Boussinesq-ov koeficijent disperzije

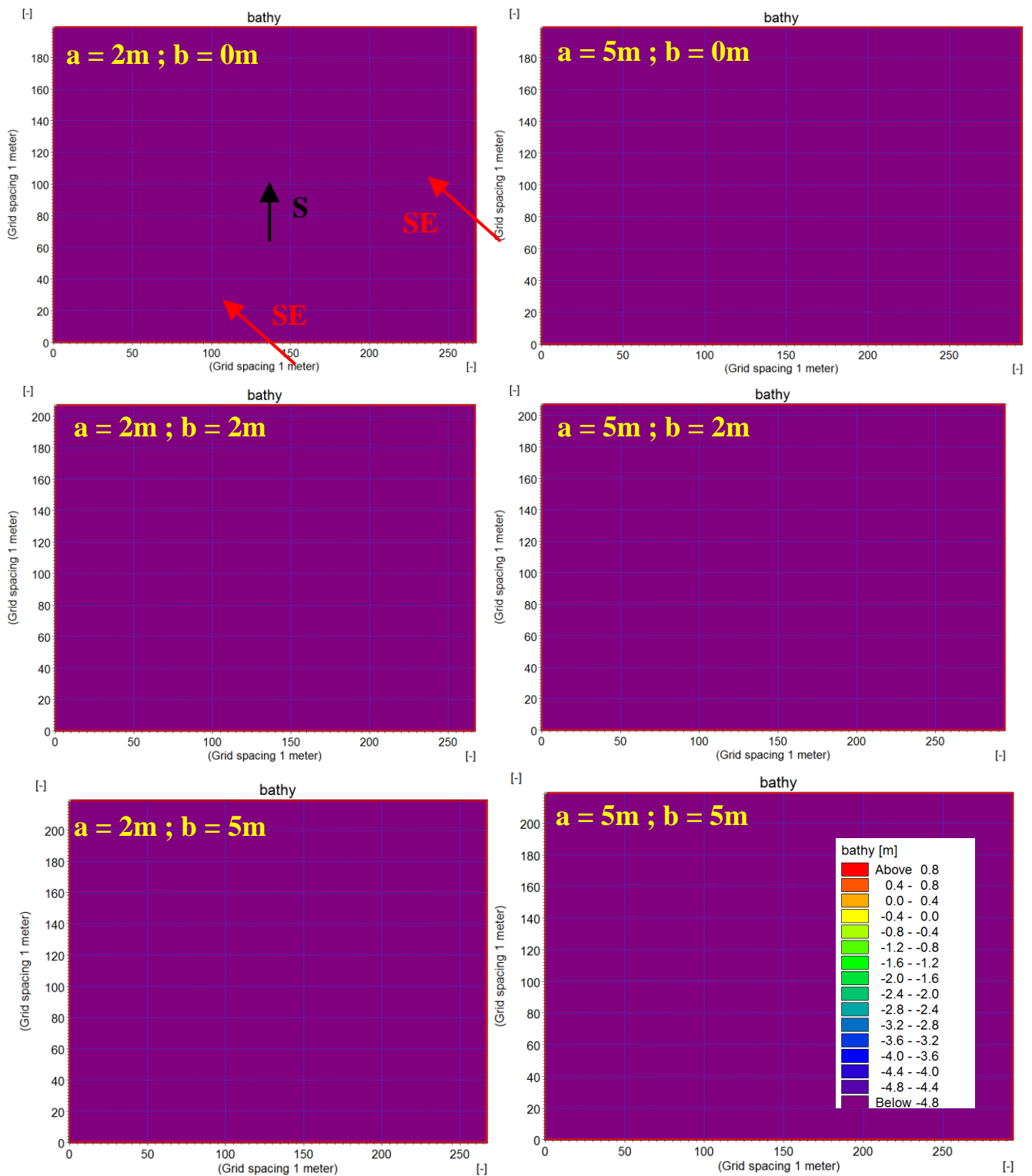
Usvojena vrijednost koeficijenta disperzije je 1/15 a čime je osigurana linearna disperzija sa karakteristikama koje odgovaraju proširenju Stokesove relacije linearne disperzije. Ukoliko je

prisutno, trenje s dnom je također uključeno u obzir kroz učešće članova τ_x/ρ i τ_y/ρ u izrazima za količinu gibanja u x i y smjeru.

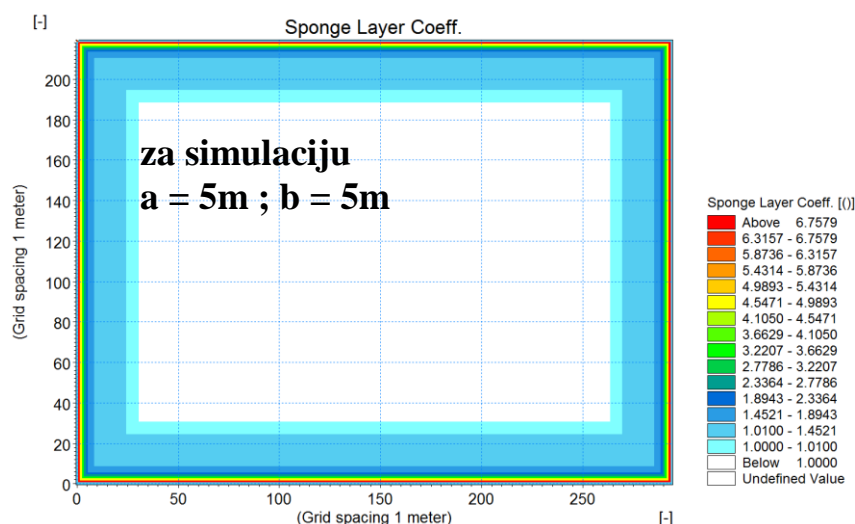
Analize valnih deformacija provedene su na prostornim domenam prikazanim na slici 2.1. Za diskretizaciju modelske prostorne domene korišten je prostorni korak u numeričkom modelu od $\Delta x = \Delta y = 1\text{m}$. U provedbi svih numeričkih simulacija korištena je homogena dubina od 5m. Prostorni obuhvat je karaktera da ćelije okvira prostorne domene imaju vrijednost obale (u konkretnom slučaju 1.1). Prema unutrašnjosti u širini 30m (30 numeričkih ćelija) postavljen je „sponge layer“ sa kojim se onemogućuje refleksija valova od ruba modela (slika 2.2). Slojevi sa poroznim ćelijama (porosity layers) prikazani su na slici 2.3 za slučaj polja konvertera u dispoziciji od 5 redova i 10 kolona. Primijenjen je koeficijent poroznosti 0,9 a čime se osigurava koeficijent refleksije pojedinog konvertera od $K_r = 0,38$; koeficijent transmisije pojedinog konvertera od $K_t = 0,5$; te ukupni koeficijent otpora za pojedini konverter od 1,99 (dobiveno usvajanjem sljedećih vrijednosti za parametrizaciju poroznosti: promjer zrna 0,1m; laminarni koeficijent otpora 4000, turbulentni koeficijent otpora 11,2).

Konverteri su definirani kao kvadrati sa stranicama 10m (10x10 numeričkih ćelija, slika 2.3). Osim broja redova i kolona korištene su i različite udaljenosti između konvertera, u smjeru okomito na propagaciju valova sa međusobnim razmakom od $a = 2\text{m}$ i $a = 5\text{m}$, te u smjeru propagacije valova sa razmakom $b = 0\text{m}$, $b = 2\text{m}$ i $b = 5\text{m}$ (slika 2.3). Analizirani su incidentni smjerovi valovanja S (okomito na red konvertera) i SE (45° na red konvertera).

U tablici 2.1 prikazana je nomenkultura provedenih numeričkih analiza sa pripadnim obilježjima.



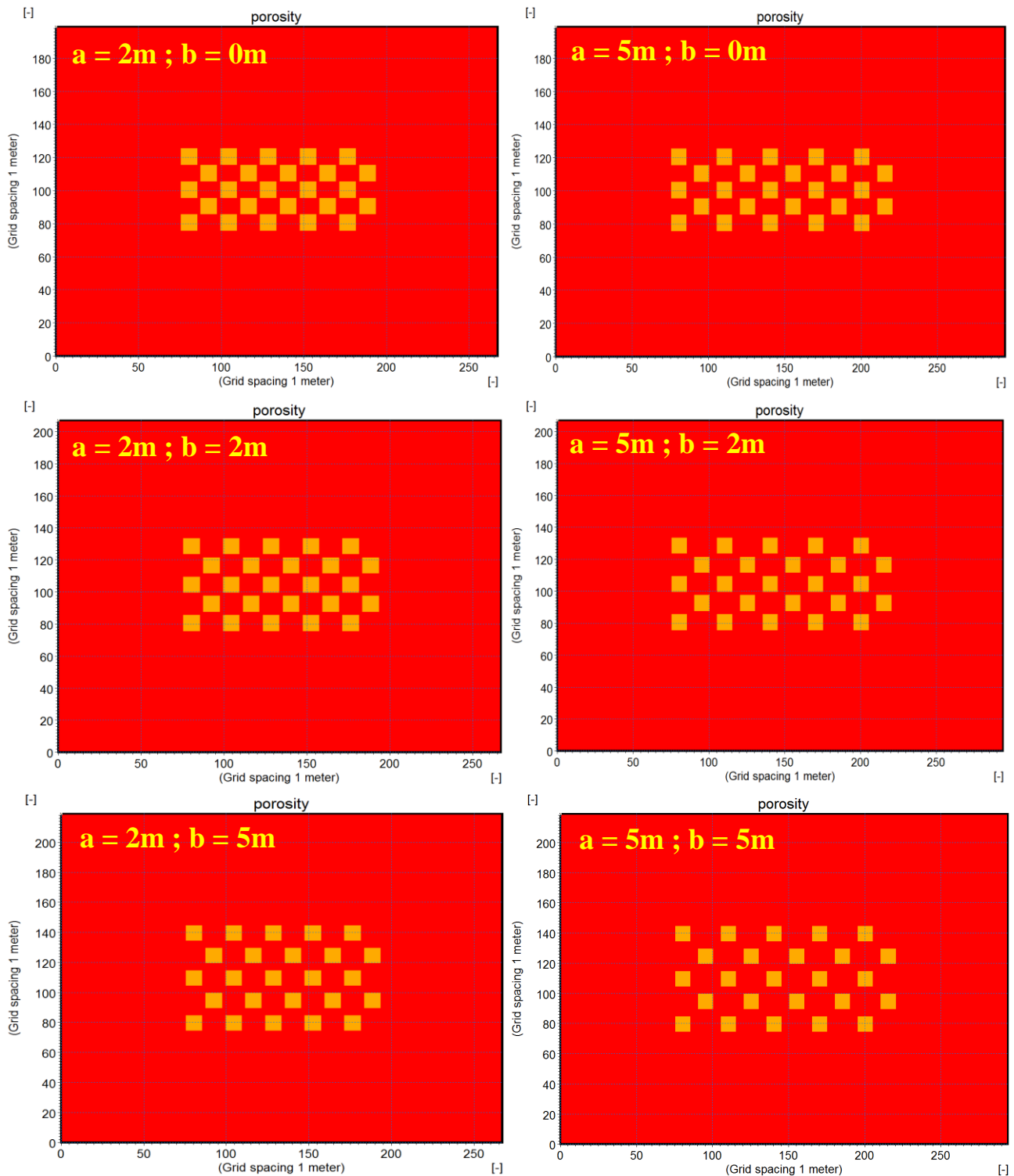
Slika 2.1 Prostorne modelske domene za analizu valnih deformacija sa naznakom incidentnih smjerova valovanja (vidi tablicu 2.1)



Slika 2.2 Primjer „sponge layera“ za absorpciju valne energije i onemogućenje valne refleksije od rubova modela (razmaci između konvertera $a = 5\text{m}$ i $b = 5\text{m}$, vidi tablicu 2.1)

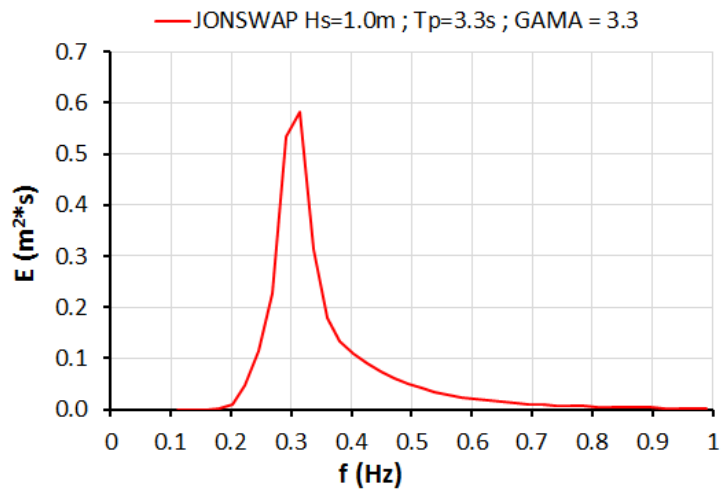
Tablica 2.1 Nomenklatura provedenih numeričkih analiza s lokalnim modelom valnih deformacija (slike 2.1 i 2.2)

<i>br.</i>	<i>OZNAKA</i>	<i>a (m)</i>	<i>a (m)</i>	<i>n (I)</i>	<i>Rubni uvjeti i incidentni smjer valovanja</i>
1	a-2_b-0_n-5_S	2	0	5	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; S
2	a-2_b-2_n-5_S	2	2	5	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; S
3	a-2_b-5_n-5_S	2	5	5	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; S
4	a-5_b-0_n-5_S	5	0	5	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; S
5	a-5_b-2_n-5_S	5	2	5	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; S
6	a-5_b-5_n-5_S	5	5	5	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; S
7	a-2_b-0_n-5_SE	2	0	5	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; SE
8	a-2_b-2_n-5_SE	2	2	5	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; SE
9	a-2_b-5_n-5_SE	2	5	5	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; SE
10	a-5_b-0_n-5_SE	5	0	5	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; SE
11	a-5_b-2_n-5_SE	5	2	5	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; SE
12	a-5_b-5_n-5_SE	5	5	5	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; SE
13	a-2_b-0_n-2_S	2	0	2	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; S
14	a-2_b-2_n-2_S	2	2	2	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; S
15	a-2_b-5_n-2_S	2	5	2	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; S
16	a-5_b-0_n-2_S	5	0	2	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; S
17	a-5_b-2_n-2_S	5	2	2	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; S
18	a-5_b-5_n-2_S	5	5	2	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; S
19	a-2_b-0_n-2_SE	2	0	2	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; SE
20	a-2_b-2_n-2_SE	2	2	2	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; SE
21	a-2_b-5_n-2_SE	2	5	2	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; SE
22	a-5_b-0_n-2_SE	5	0	2	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; SE
23	a-5_b-2_n-2_SE	5	2	2	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; SE
24	a-5_b-5_n-2_SE	5	5	2	$H_S=1,0\text{m}$; $T_P=3,3\text{s}$; SE

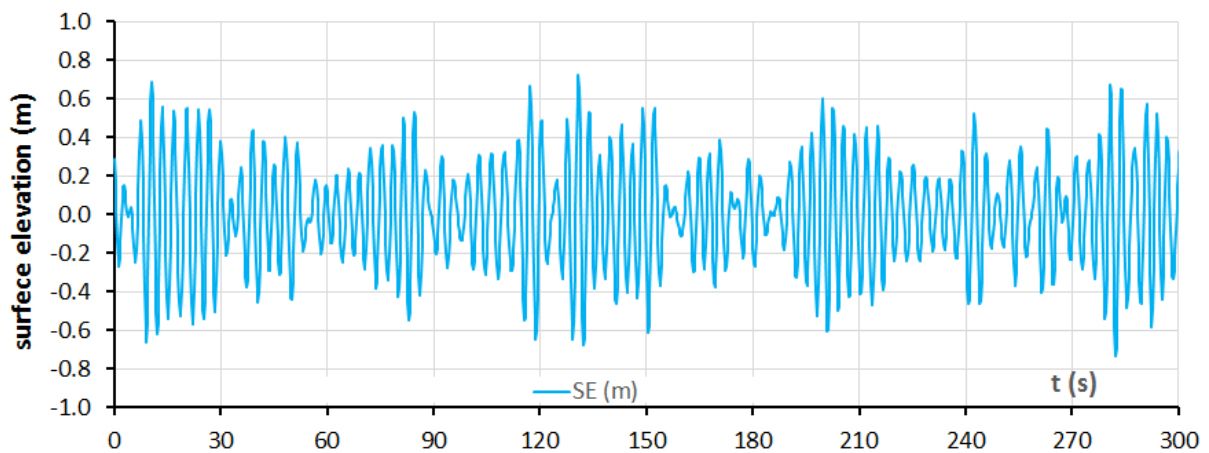


Slika 2.3 Pozicije „porosity layera“ u prostornim modelskim domenama za analizu valnih deformacija (vidi tablicu 2.1)

Na liniji valnog generiranja u numeričkom modelu definiraju se rubni uvjeti putem odabira dubokovodnih incidentnih valnih spektara sa pripadnim statističkim. Na slici 2.4 prikazani su korišteni valni spektri a karakteristična sekvenca morskih razi na liniji generiranja dana je na slici 2.5. (JONSWAP spektar ; $\gamma = 3,3$; $H_S = 1,0\text{m}$; $T_P = 3,3\text{s}$; direkcionalna disperzija 30°). Sve simulacije su provedene za trajanje od 15 minuta valovanja.



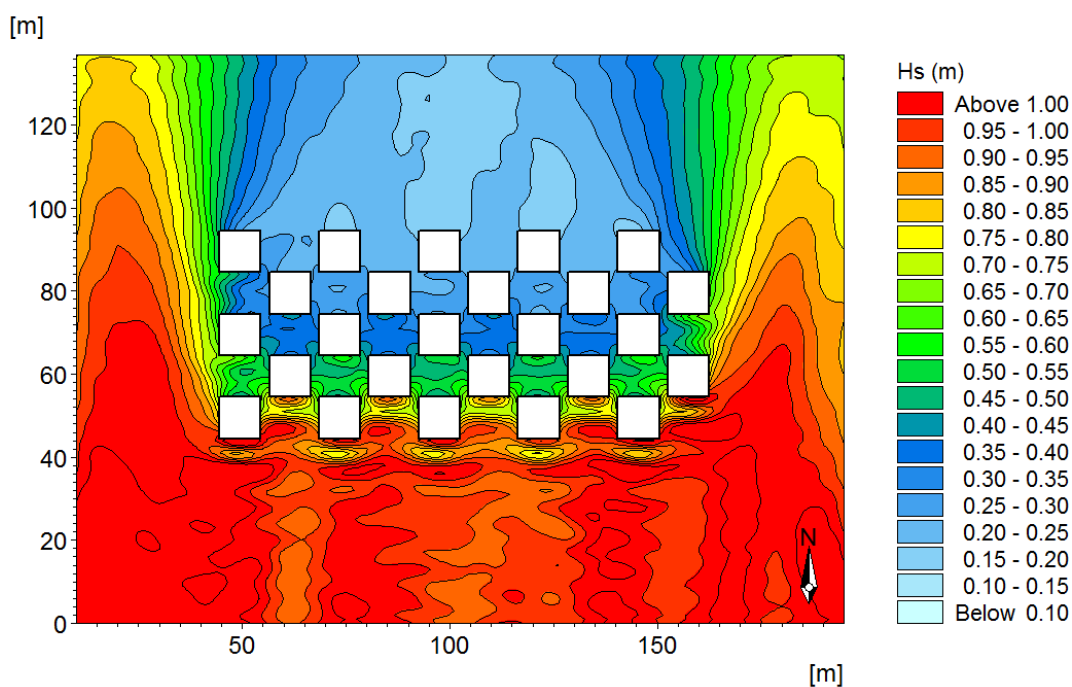
Slika 2.4 Dijagram primijenjenog incidentnog valnog spektara (integriranih po smjeru +/- 30 oko središnjih incidentnih smjerova S ili SE)



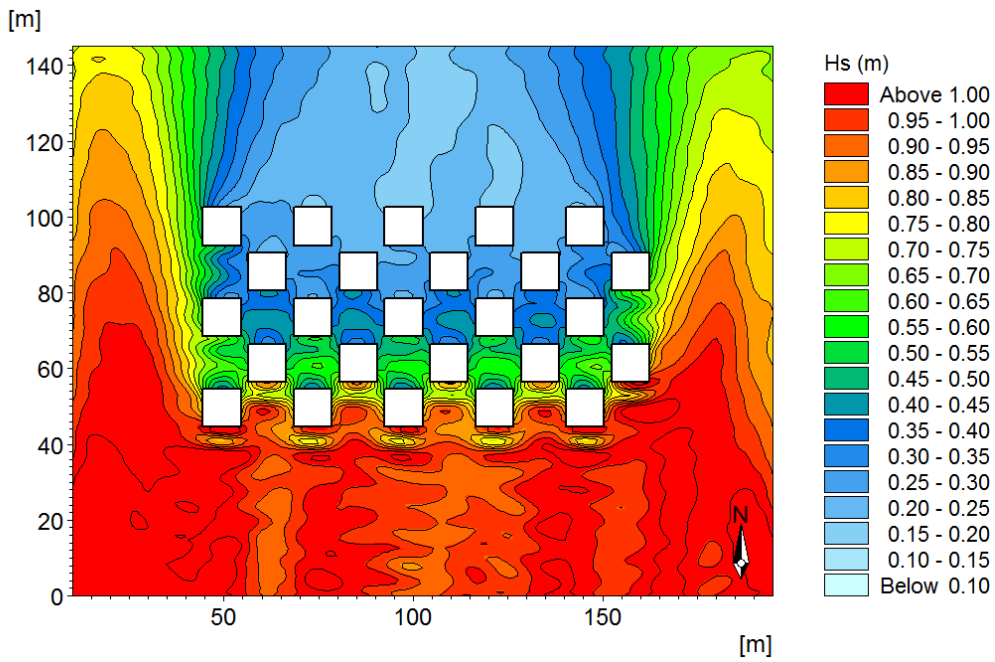
Slika 2.5 Karakteristična sekvenca dinamike morskih razi na liniji generiranja (JONSWAP spektar ; $\gamma = 3,3$; $H_s = 1,0\text{m}$; $T_p = 3,3\text{s}$; direkcionalna disperzija 30°)

3. REZULTATI NUMERIČKOG MODELA VALNIH DEFORMACIJA

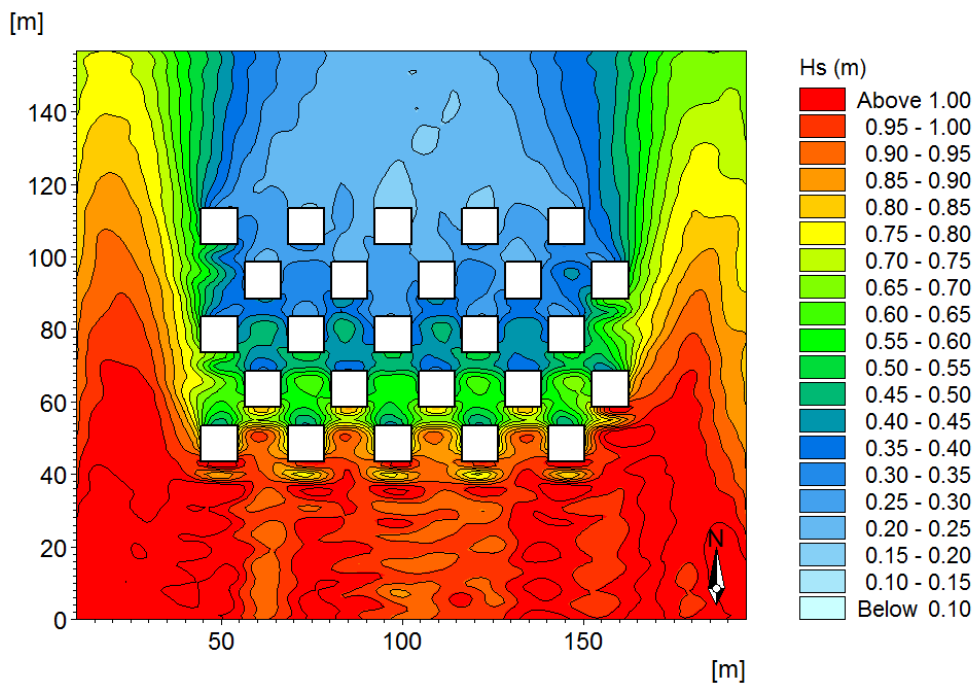
Na temelju provedenih numeričkih analiza dobiveni su rezultati prostorne raspodjele značajnih valnih visina na prostornoj domeni numeričkog modela (slike 3.1 – 3.24). Kako bi se dala ocjena o stanju valnog polja nakon prolaska valova kroz polje konvertera odabrano je područje za koje se proračunava prosječna značajna valna visina (slika 3.25). Veća proračunata srednja vrijednost značajnih valnih visina na tom području ukazuje na manje iskorištenje raspoložive energije valova kroz polje konvertera. U tablici 3.1 prikazane su srednje vrijednosti značajnih valnih visina za područja prikazana na slici 3.25 za sve provedene simulacije.



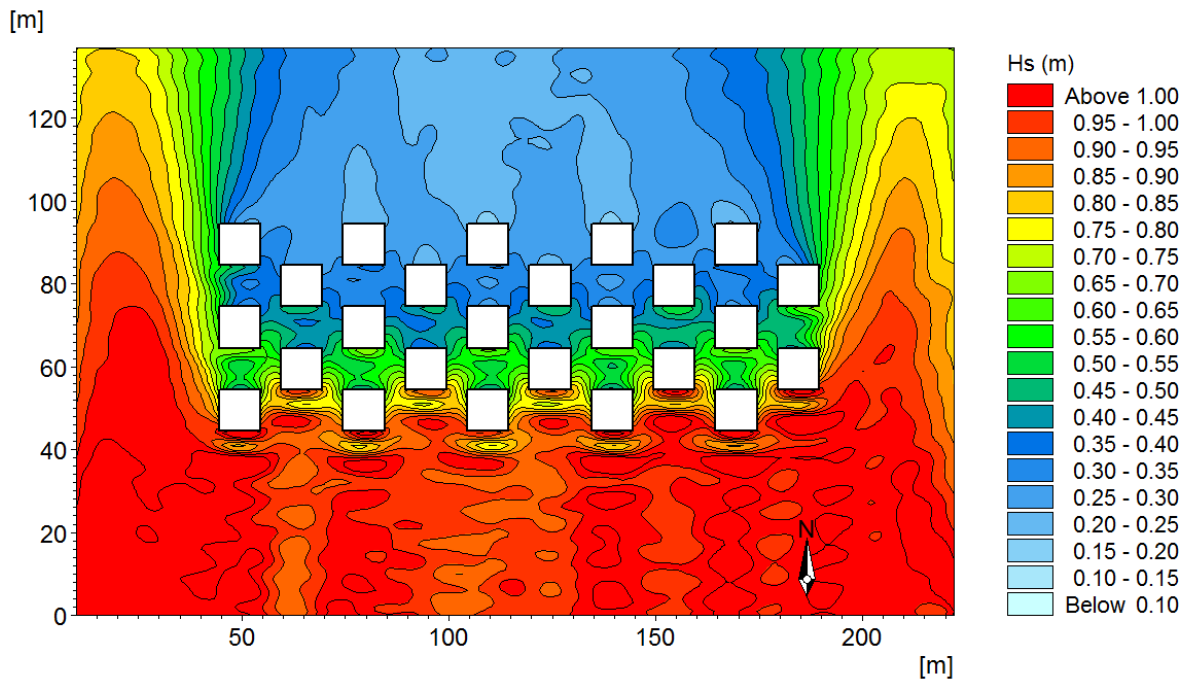
Slika 3.1 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 0\text{m}$; $n = 5$; S incidentni smjer



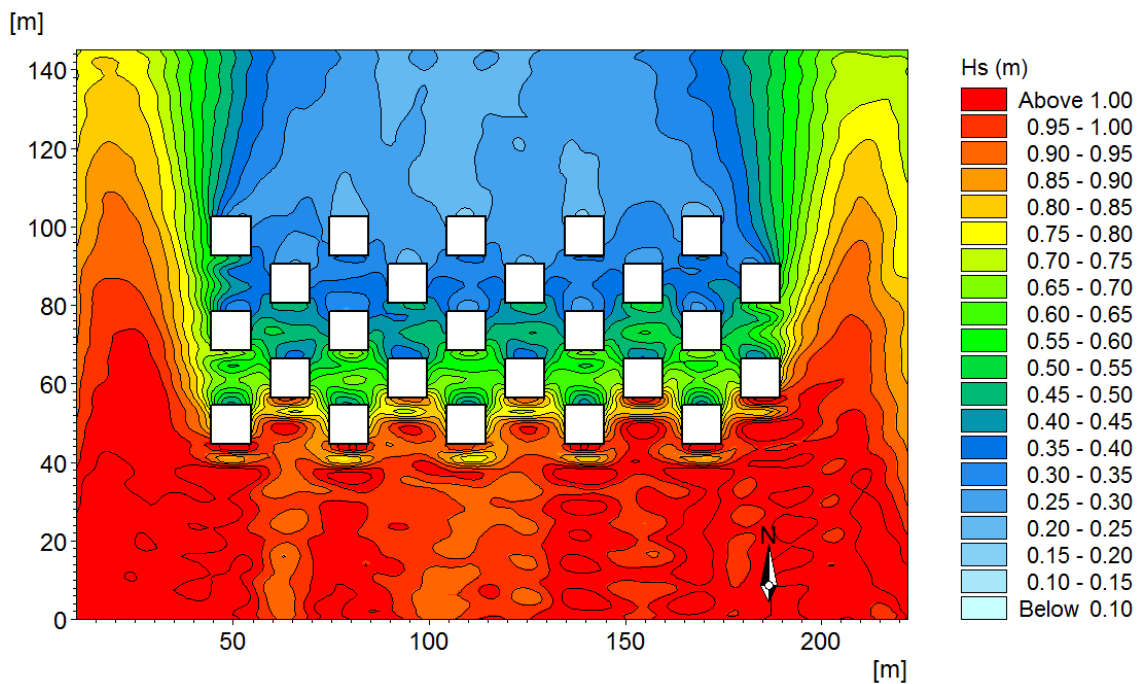
Slika 3.2 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 2\text{m}$; $n = 5$; S incidentni smjer



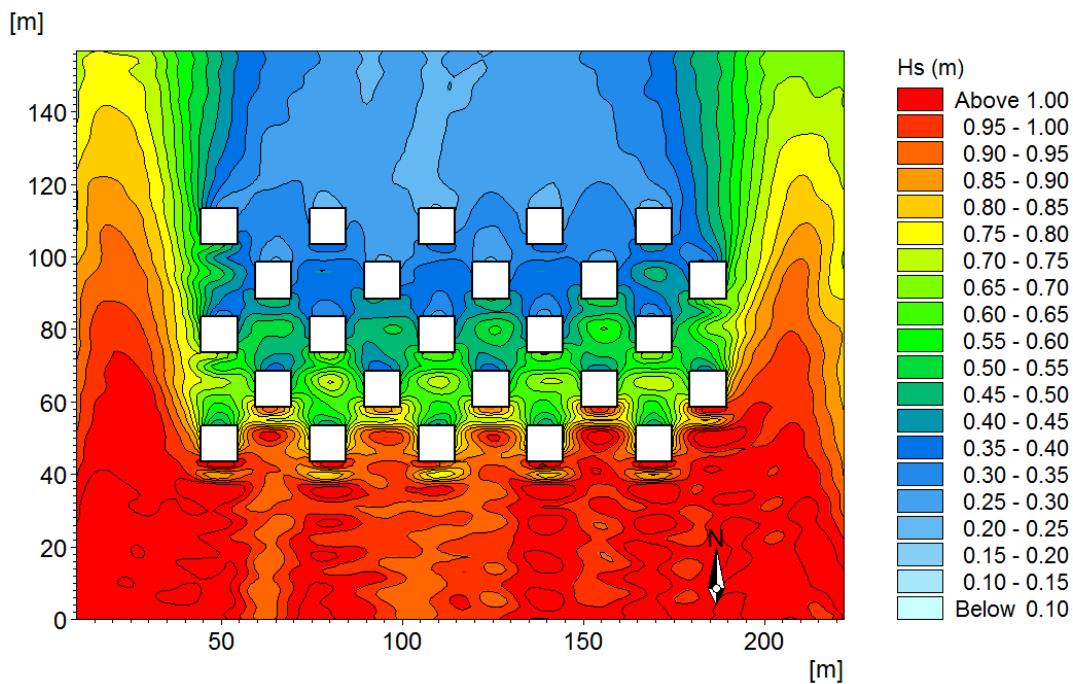
Slika 3.3 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 5\text{m}$; $n = 5$; S incidentni smjer



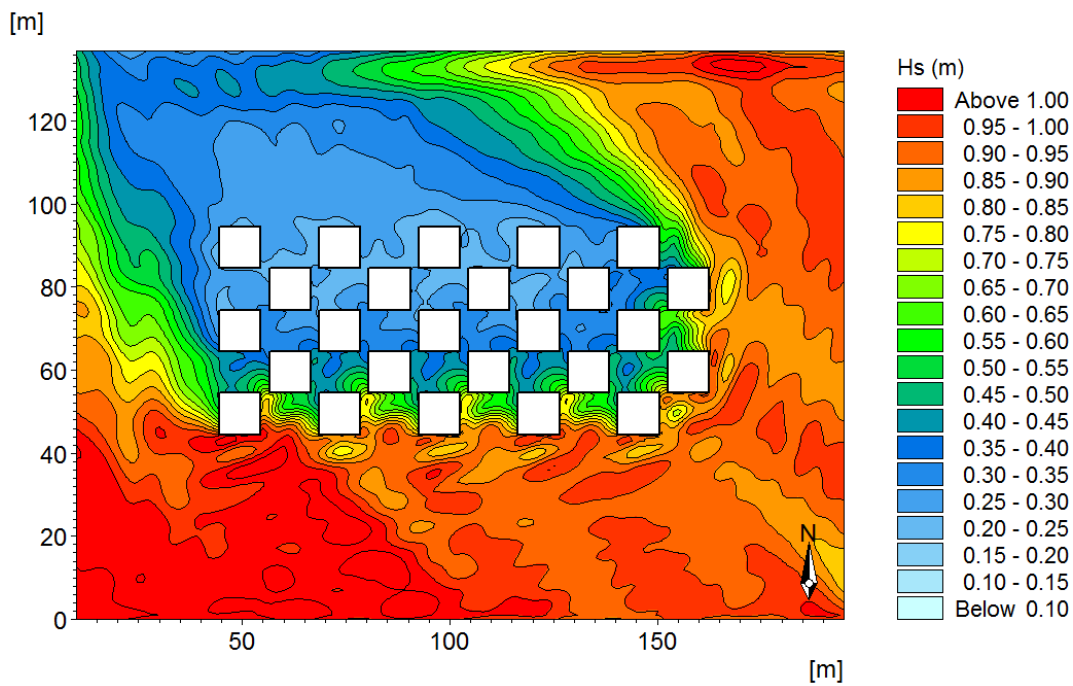
Slika 3.4 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{m}$; $b = 0\text{m}$; $n = 5$; S incidentni smjer



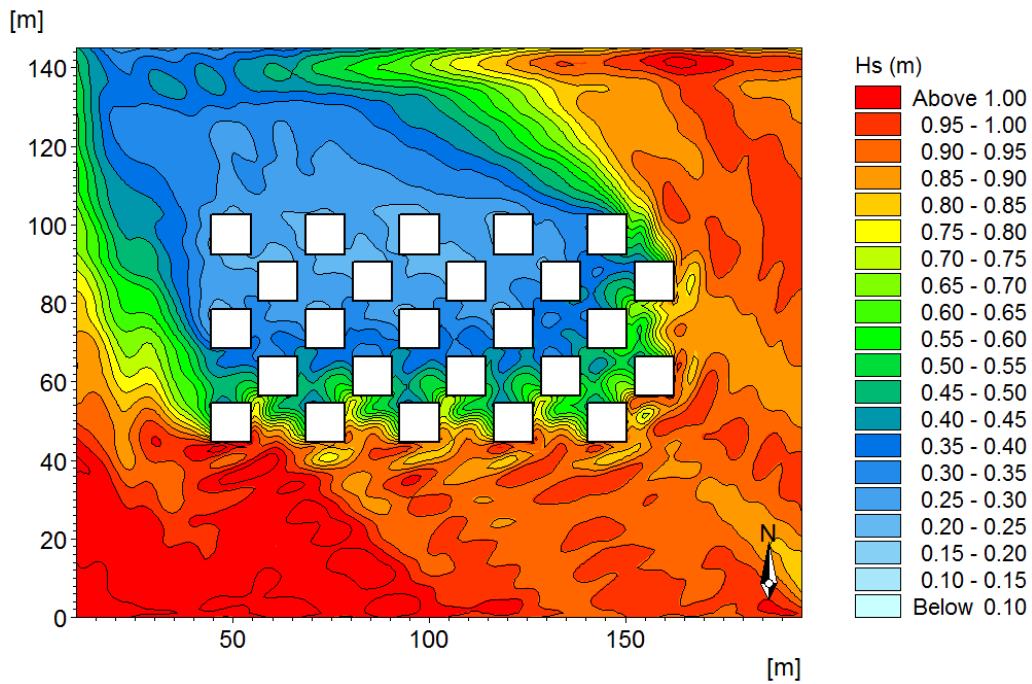
Slika 3.5 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{m}$; $b = 2\text{m}$; $n = 5$; S incidentni smjer



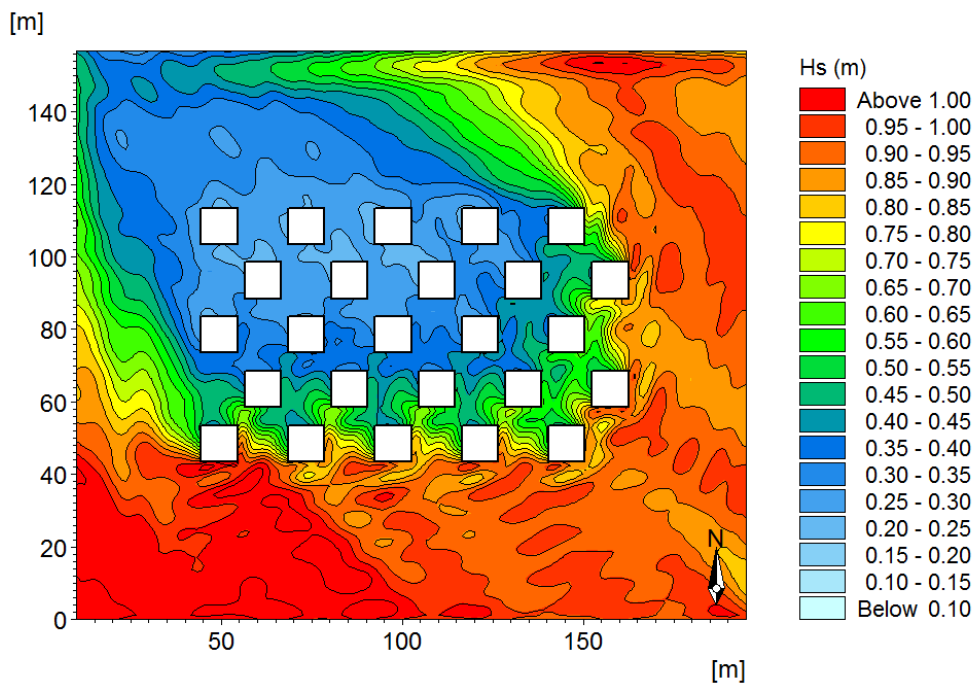
Slika 3.6 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{ m}$; $b = 5\text{ m}$; $n = 5$; S incidentni smjer



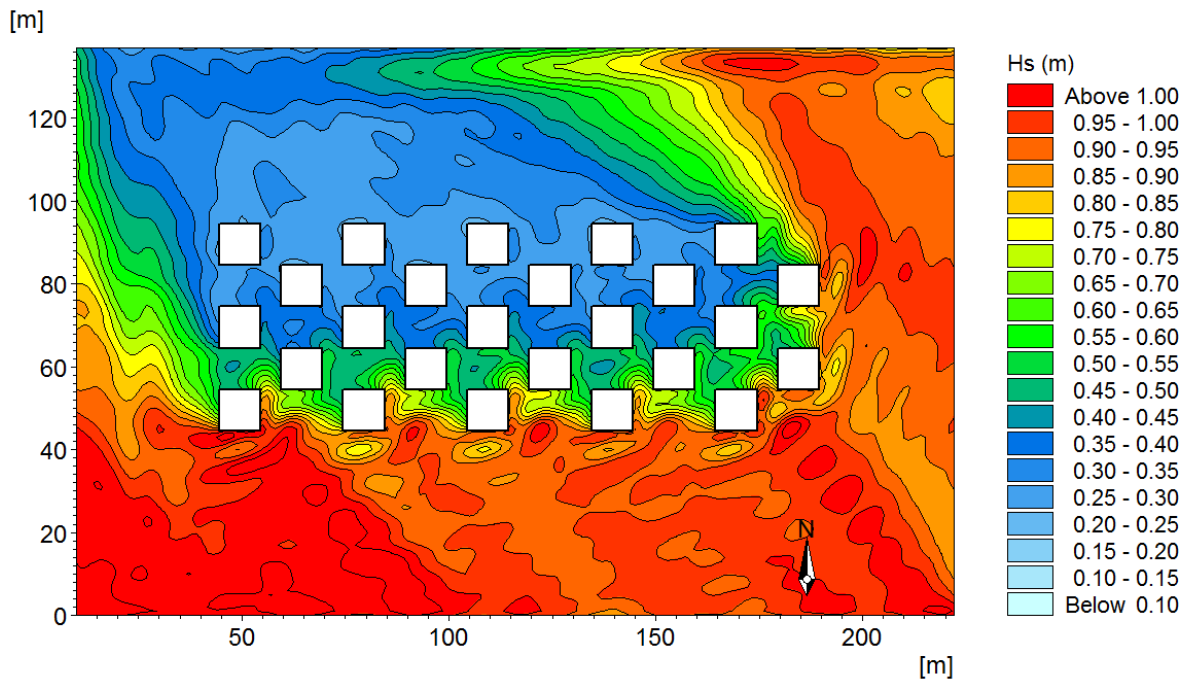
Slika 3.7 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{ m}$; $b = 0\text{ m}$; $n = 5$; SE incidentni smjer



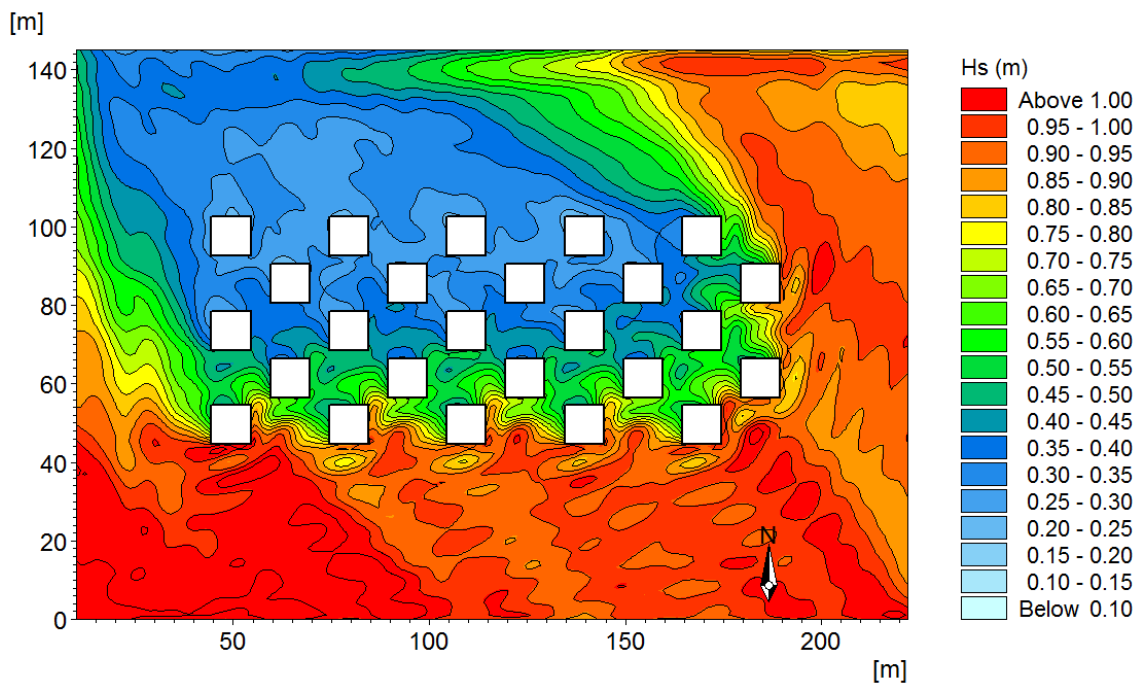
Slika 3.8 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{ m}$; $b = 2\text{ m}$; $n = 5$; SE incidentni smjer



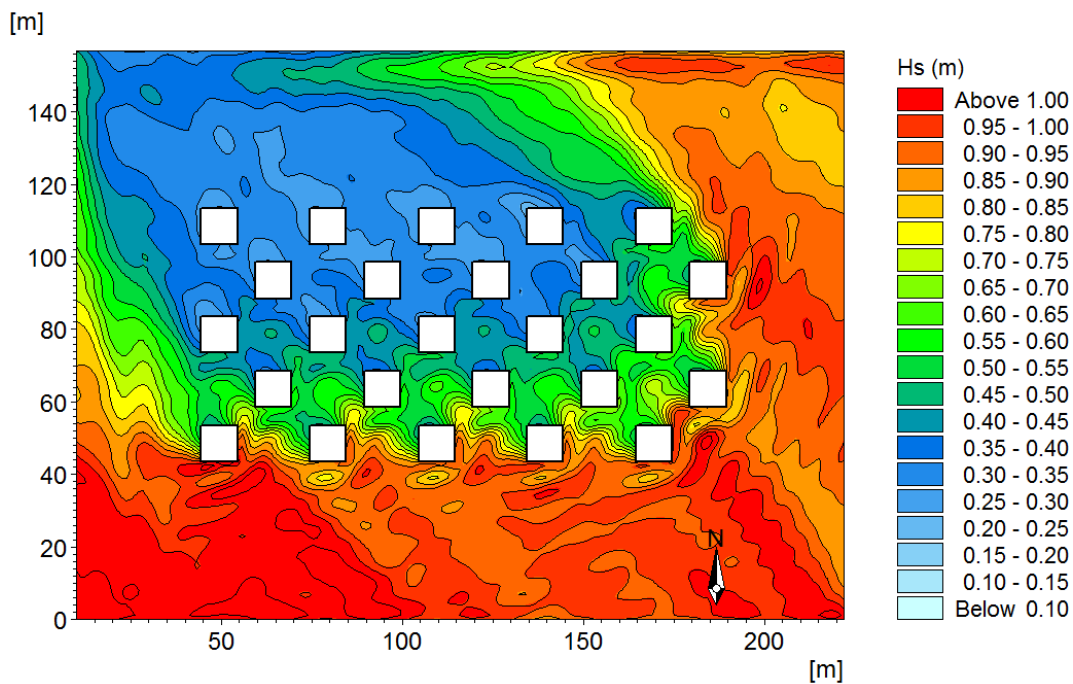
Slika 3.9 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{ m}$; $b = 5\text{ m}$; $n = 5$; SE incidentni smjer



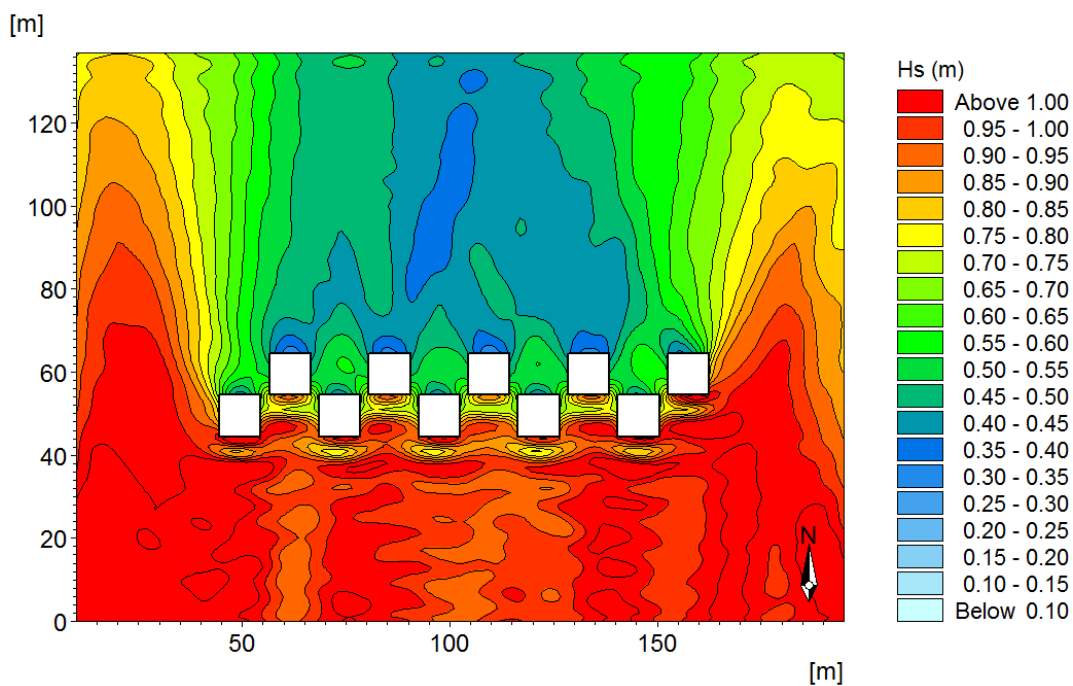
Slika 3.10 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{ m}$; $b = 0\text{ m}$; $n = 5$; SE incidentni smjer



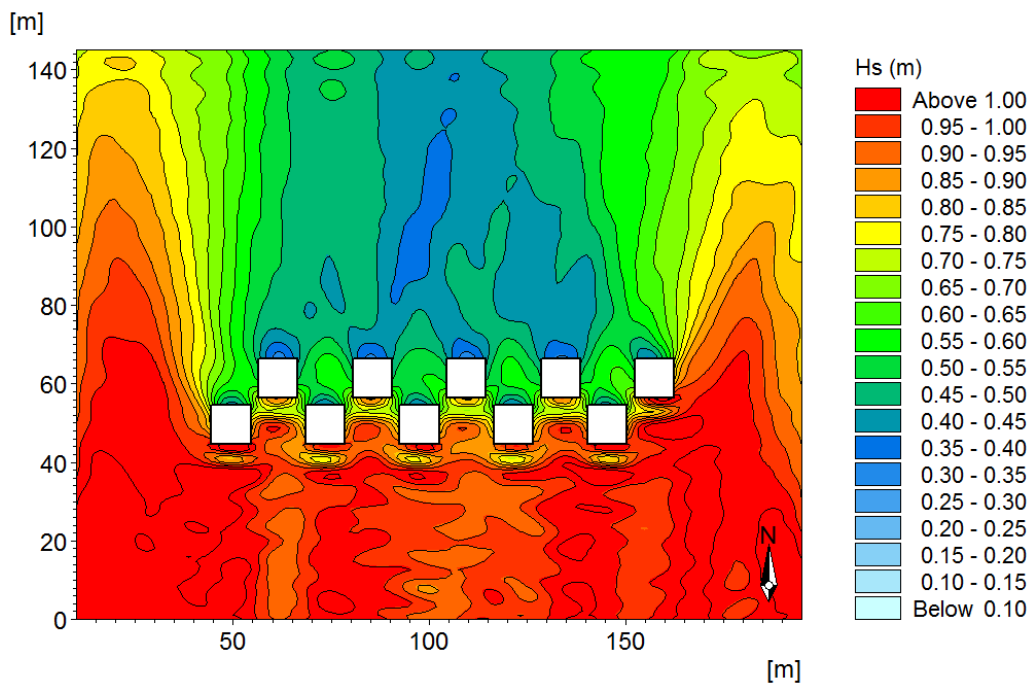
Slika 3.11 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{ m}$; $b = 2\text{ m}$; $n = 5$; SE incidentni smjer



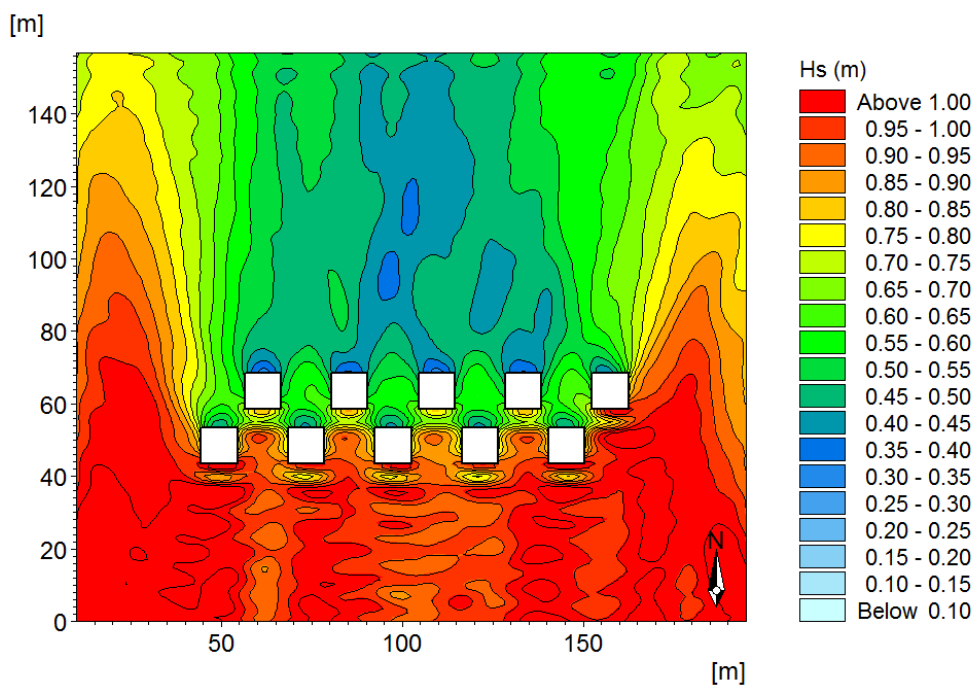
Slika 3.12 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{ m}$; $b = 5\text{ m}$; $n = 5$; SE incidentni smjer



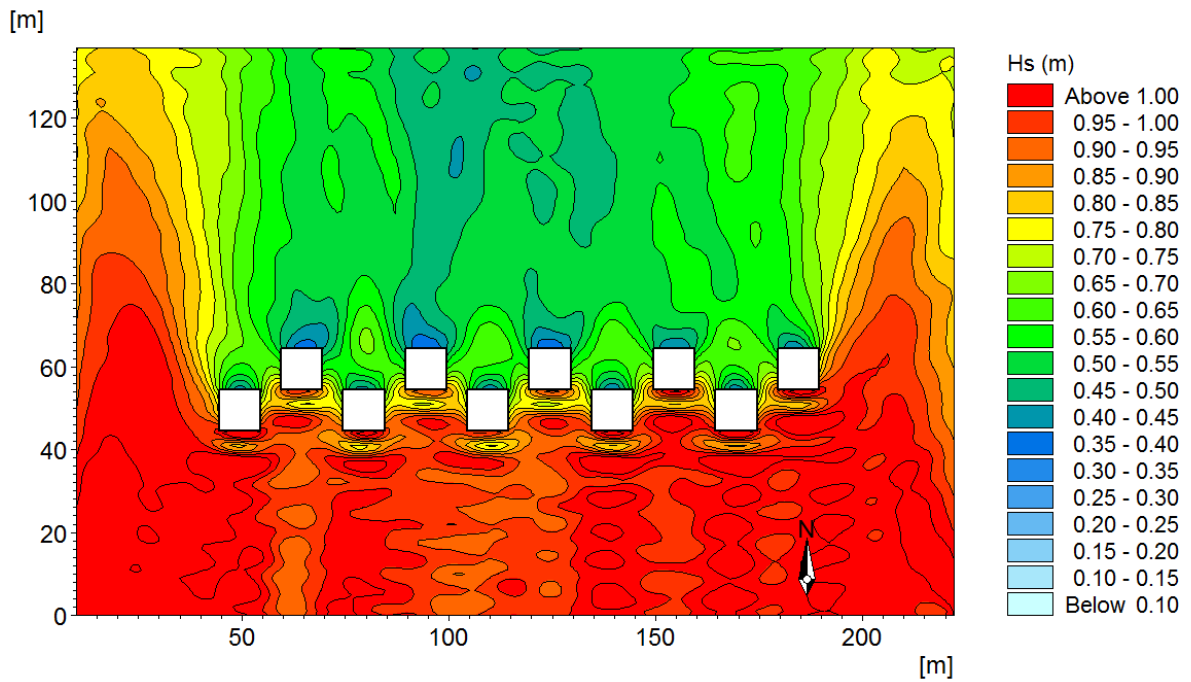
Slika 3.13 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{ m}$; $b = 0\text{ m}$; $n = 2$; S incidentni smjer



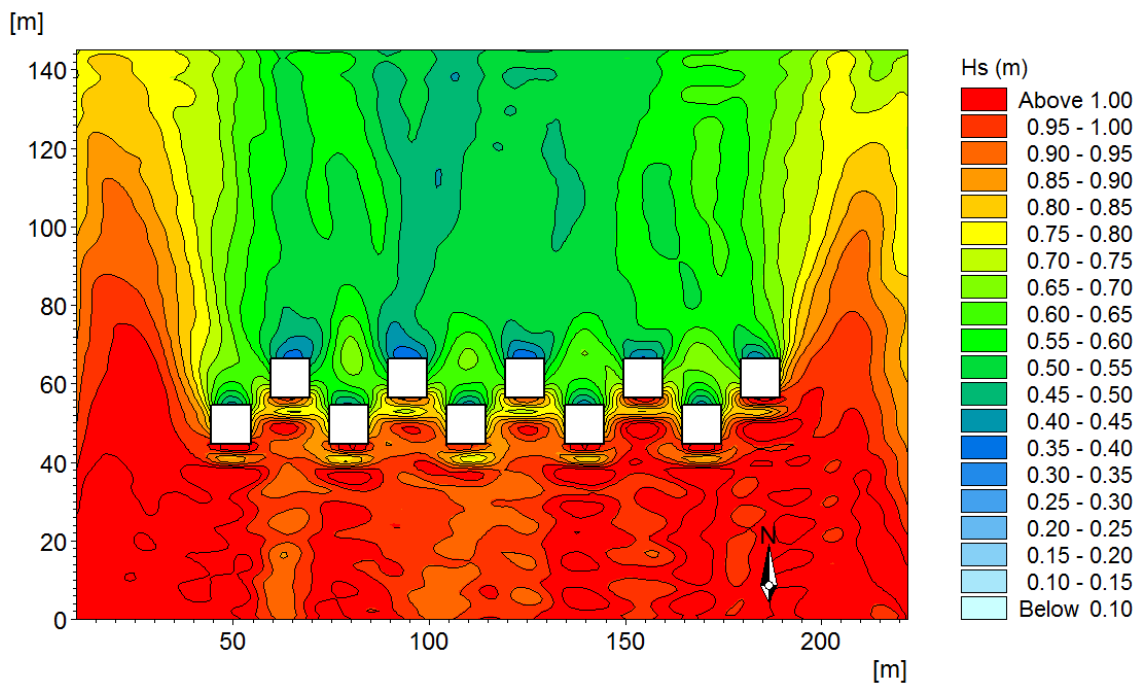
Slika 3.14 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 2\text{m}$; $n = 2$; S incidentni smjer



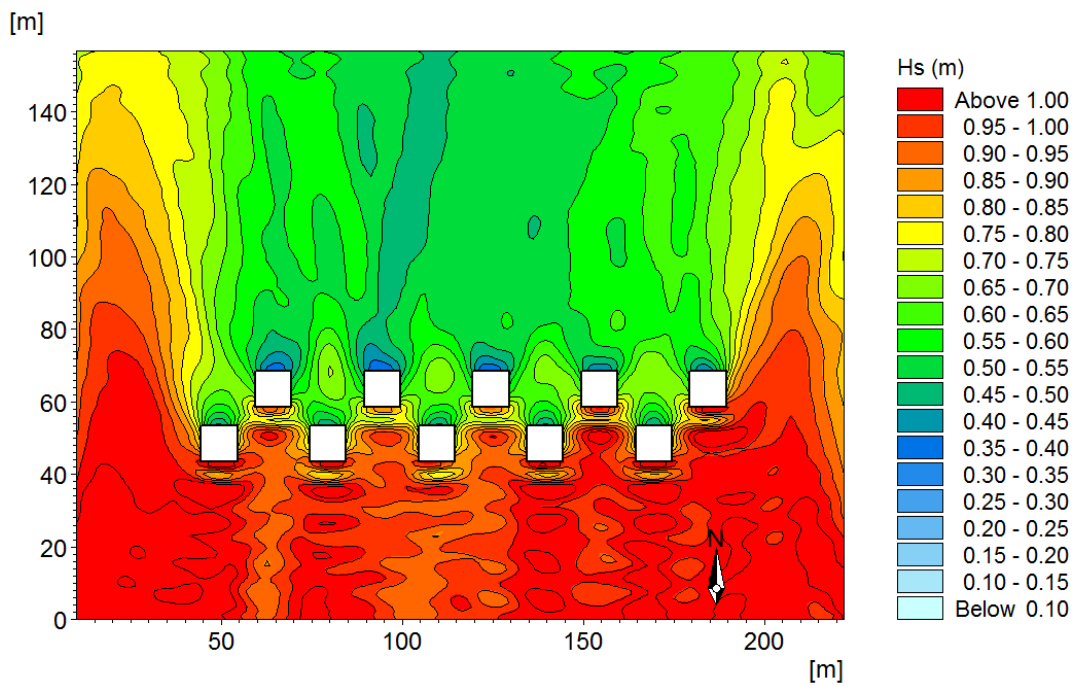
Slika 3.15 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 5\text{m}$; $n = 2$; S incidentni smjer



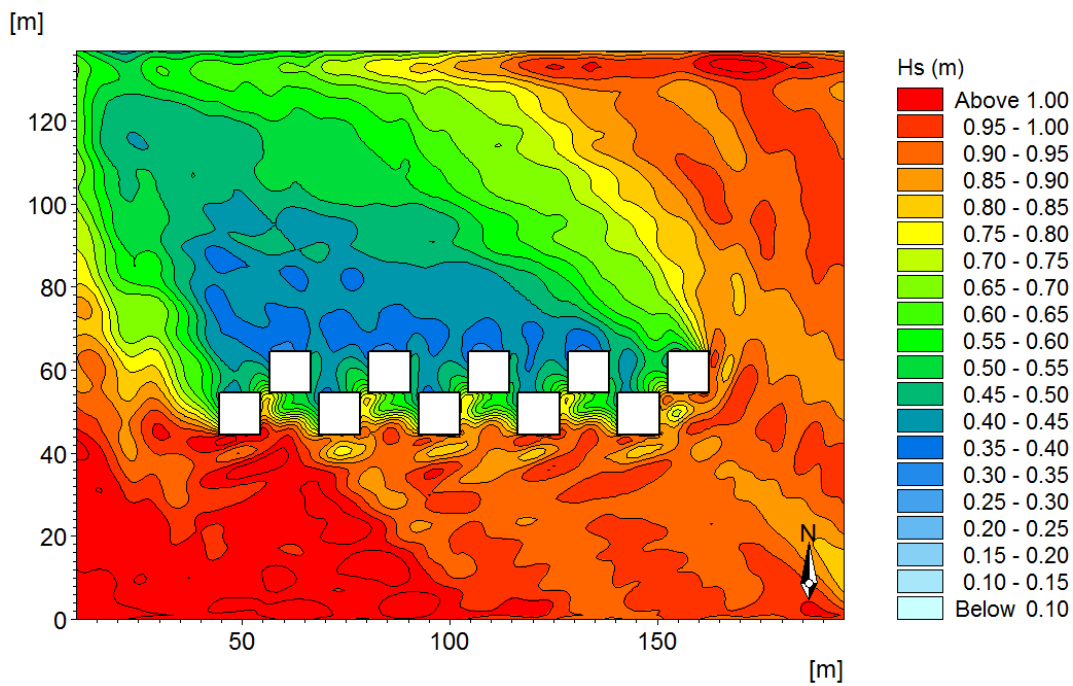
Slika 3.16 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{m}$; $b = 0\text{m}$; $n = 2$; S incidentni smjer



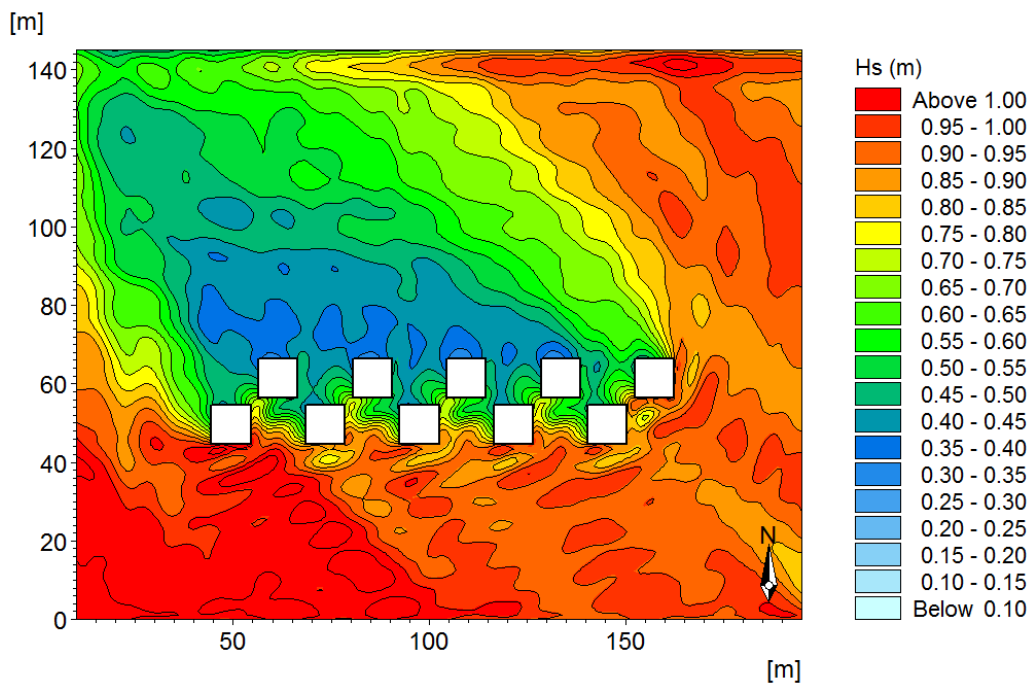
Slika 3.17 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{m}$; $b = 2\text{m}$; $n = 2$; S incidentni smjer



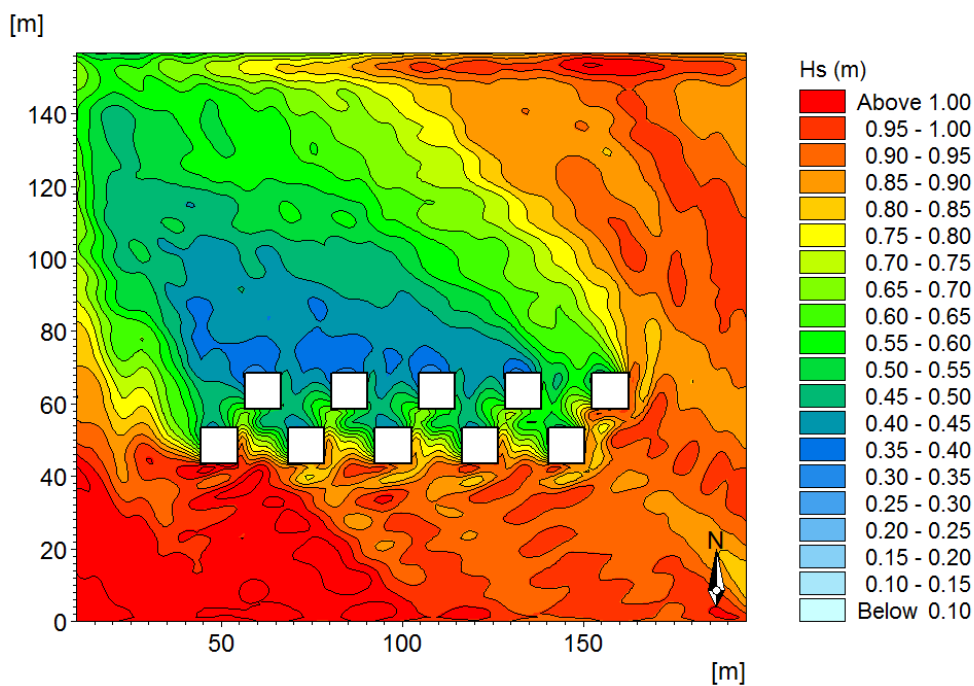
Slika 3.18 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{ m}$; $b = 5\text{ m}$; $n = 2$; S incidentni smjer



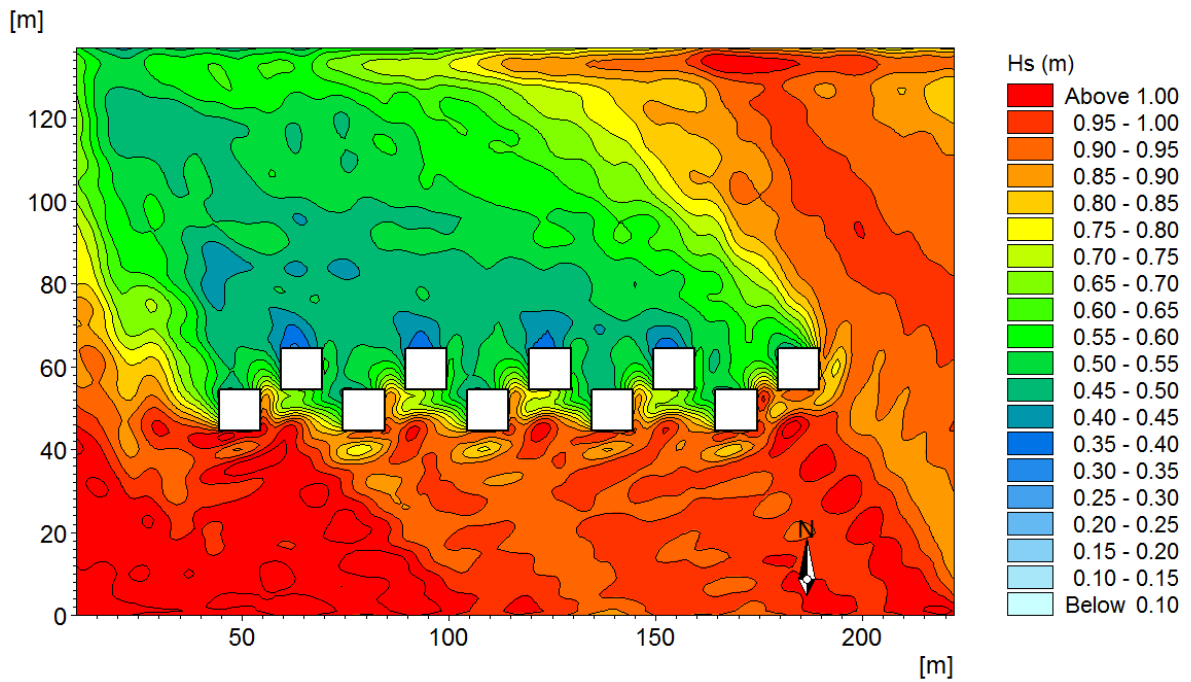
Slika 3.19 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{ m}$; $b = 0\text{ m}$; $n = 2$; SE incidentni smjer



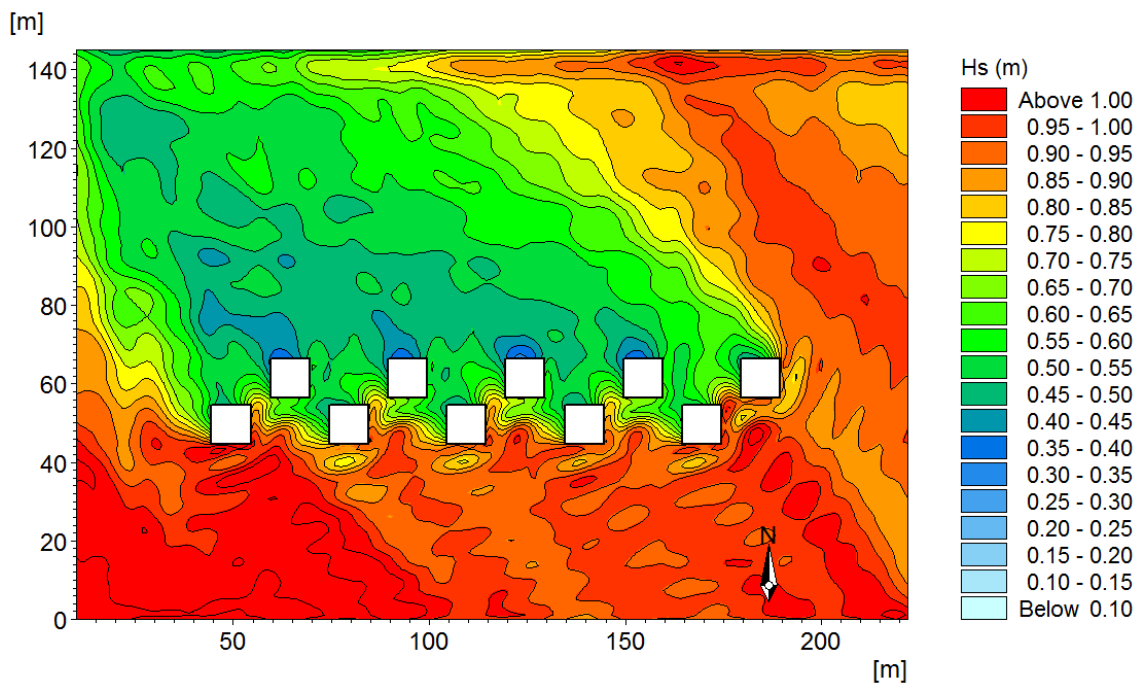
Slika 3.20 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 2\text{m}$; $n = 2$; SE incidentni smjer



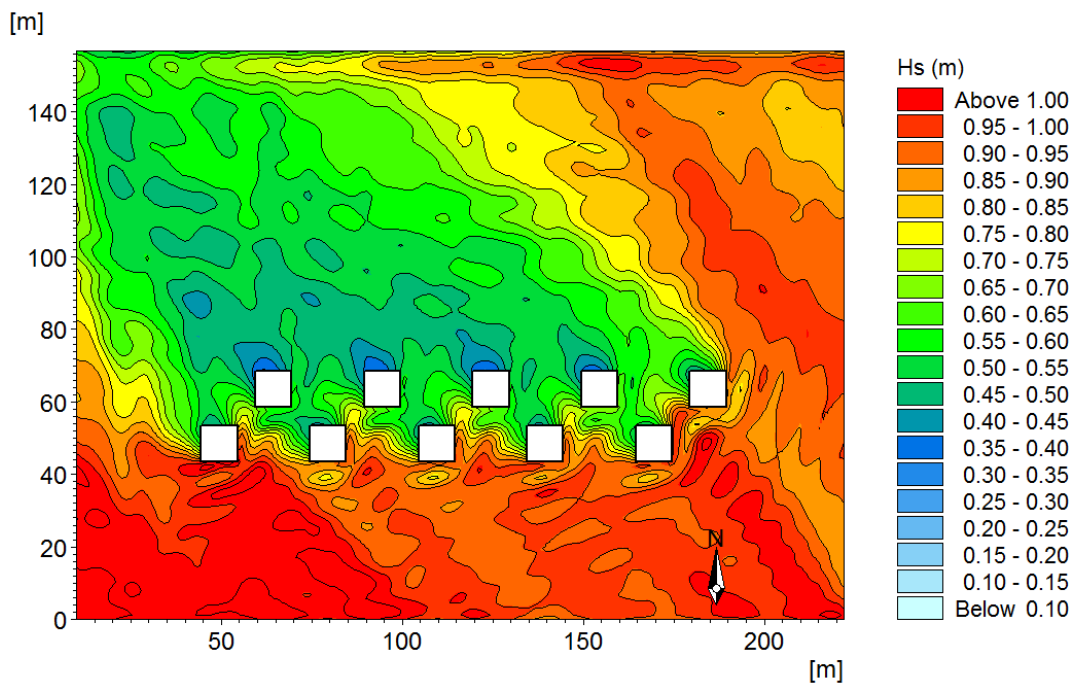
Slika 3.21 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 5\text{m}$; $n = 2$; SE incidentni smjer



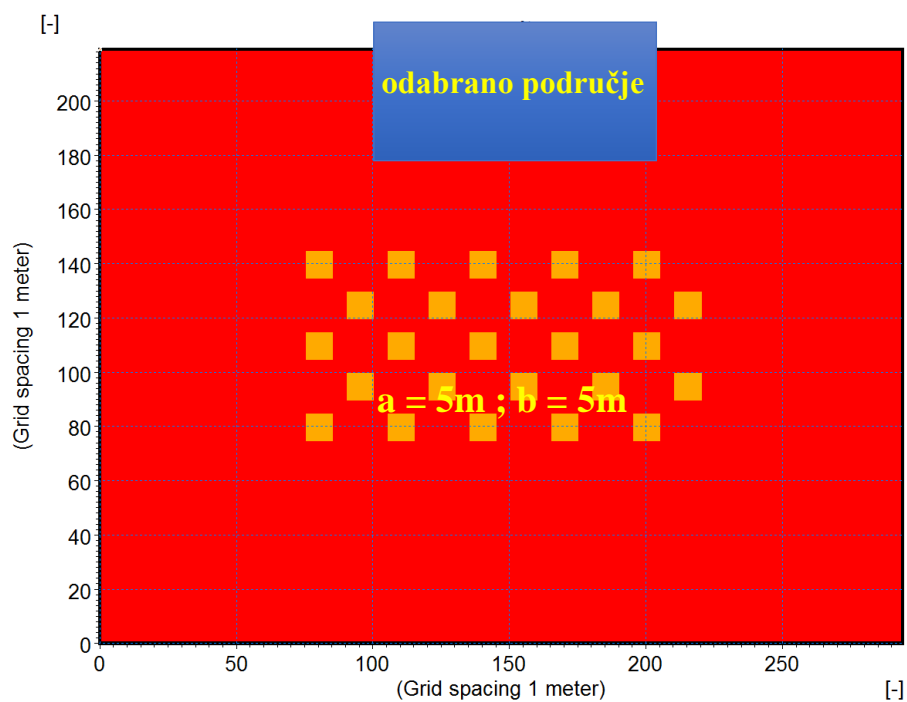
Slika 3.22 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{ m}$; $b = 0\text{ m}$; $n = 2$; SE incidentni smjer



Slika 3.23 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{ m}$; $b = 2\text{ m}$; $n = 2$; SE incidentni smjer



Slika 3.24 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{ m}$; $b = 5\text{ m}$; $n = 2$; SE incidentni smjer



Slika 3.25 Odabrana područja za proračun srednje vrijednosti značajnih valnih visina (ista područja vrijede i za slučaj polja konvertora sa samo dva reda)

Tablici 3.1 Srednje vrijednosti značajnih valnih visina za područja prikazana na slici 3.25 za sve provedene simulacije

<i>br.</i>	<i>OZNAKA</i>	<i>a</i> <i>(m)</i>	<i>b</i> <i>(m)</i>	<i>n (1)</i>	<i>Rubni uvjeti i incidentni smjer valovanja</i>	<i>H_s-srednje</i> <i>(m)</i>
1	a-2_b-0_n-5_S	2	0	5	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; S	0.27
2	a-2_b-2_n-5_S	2	2	5	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; S	0.27
3	a-2_b-5_n-5_S	2	5	5	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; S	0.28
4	a-5_b-0_n-5_S	5	0	5	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; S	0.3
5	a-5_b-2_n-5_S	5	2	5	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; S	0.3
6	a-5_b-5_n-5_S	5	5	5	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; S	0.31
7	a-2_b-0_n-5_SE	2	0	5	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; SE	0.5
8	a-2_b-2_n-5_SE	2	2	5	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; SE	0.52
9	a-2_b-5_n-5_SE	2	5	5	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; SE	0.54
10	a-5_b-0_n-5_SE	5	0	5	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; SE	0.49
11	a-5_b-2_n-5_SE	5	2	5	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; SE	0.5
12	a-5_b-5_n-5_SE	5	5	5	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; SE	0.52
13	a-2_b-0_n-2_S	2	0	2	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; S	0.5
14	a-2_b-2_n-2_S	2	2	2	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; S	0.5
15	a-2_b-5_n-2_S	2	5	2	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; S	0.51
16	a-5_b-0_n-2_S	5	0	2	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; S	0.55
17	a-5_b-2_n-2_S	5	2	2	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; S	0.55
18	a-5_b-5_n-2_S	5	5	2	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; S	0.56
19	a-2_b-0_n-2_SE	2	0	2	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; SE	0.69
20	a-2_b-2_n-2_SE	2	2	2	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; SE	0.72
21	a-2_b-5_n-2_SE	2	5	2	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; SE	0.76
22	a-5_b-0_n-2_SE	5	0	2	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; SE	0.69
23	a-5_b-2_n-2_SE	5	2	2	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; SE	0.71
24	a-5_b-5_n-2_SE	5	5	2	H _s =1,0m ; T _p =3,3s ; SE	0.75

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu napravljene su numeričke analize sa Bousinesqovim valnim modelom za različito geometrijsko postavljanje grupe valnih konvektora.

Rezultati provedenog istraživanja dijele se na postavljanja valnih uređaja u dva i pet reda konvektora. Također kod modeliranja postavljena su dva različita uvjeta valovanja tako da su se promatrale valne visine kada vjetar puše iz smjera juga i iz smjera jugoistoka. U oba slučaja konvektori su postavljeni u pet kolona. Ukoliko je postavljeno polje sa pet reda konvektora s valovanjem u smjeru juga smanjenje valne visine iznosi 77,2%, a u slučaju valovanja sa smjerom jugoistoka smanjenje iznosi 48,8%. Za slučaje kod postavljanja dva reda konvektora smanjenje valne visine kod valovanja u smjeru juga iznosi 47,3%, dok je kod valovanja sa smjerom jugoistoka smanjenje od 28.0%. Kao odabrana geometrijska raspodjela grupe valnih konvektora uzeta je varijanta sa pet redova valnih konvektora u pet kolona postavljenih tako da su udaljenosti između susjednih konvektora pet metara u dva okomita smjera. Takvim postavljanje dobiveni su najbolji rezultati koji se očituju kroz najveće smanjene valne visine nizvodno, točnije dolazi do smanjenja od 30,1% u odnosu na varijantu s dva reda valnih konvektora. Smanjenjem valne visine dolazi do veće apsorpcije energije vala u konvektore i time veće isplativosti postavljanja valnih uređaja.

Popis literatura:

- [1] Madsen, P.A., Murray, R., Sorensen, O.R.. (1991). A new form of the Boussinesq equations with improved linear dispersion characteristics. *Coastal Engineering*, 15, 371-388.
- [2] Madsen, P.A., Sorensen, O.R. (1992). A new form of the Boussinesq equations with improved linear dispersion characteristics. Part 2. A slowly-varying bathymetry. *Coastal Engineering*, 15, 183-204.
- [3] D.L. Miller, H.C.M. Smith and D.E. Reeve (2007). Modelling analysis of the sensitivity of shoreline change to a wave farm. *Ocean Engineering*, 34:884-901.
- [4] C. Beels, P. Troch, G. De Backer, J. De Rouck, T. Moan and A. Falcão. A model to investigate wave power devices. In International conference Ocean Energy, 94-101, Bremerhaven, Germany, October 23-25, 2006. 1000 1500 2000 2500 3000 3500 4000 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.8 2 2.2 Distance from west boundary (m) Disturbance Coefficients ratio $H_s = 4\text{m}$, $T_p = 10\text{sec}$, Values at Device 3 $n = 0.0$ $n = 0.5$ $n = 0.6$ $n = 0.7$ $n = 0.8$ $n = 0.9$
- [5] H. Kagemoto and D.K.P. Yue (1986). Interactions among multiple three-dimensional bodies in water waves: an exact algebraic method. *J. Fluid Mech.* 166, 189–209.
- [6] M.A. Peter and M.H. Meylan (2004). Infinite-depth interaction theory for arbitrary floating bodies applied to wave forcing of ice floes. *J. Fluid Mech.* 500, 145–167.
- [7] K. Budal (1977). Theory for absorption of wave power by a system of interacting bodies. *J. Ship Res.* 21, 248–253.
- [8] J. Falnes and K. Budal (1978). Wave-power conversion by point absorbers. *Norweg. Mar. Res.* 6, 2–11.
- [9] D.V. Evans(1980). Some analytic results for two- and three dimensional wave-energy absorbers. In *Power from Sea Waves*, ed. B. M. Count. Academic Press, 213-249.
- [10] S.A. Mavrakos and P. McIver (1997). Comparison of methods for computing hydrodynamic characteristics of arrays of wave power devices. *Applied Ocean Res.* 19, 283–291.
- [11] A.F. de O. Falcao (2002). Wave-power absorption by a periodic linear array of oscillating water columns. *Ocean Engineering*, 29:1163-1186.
- [12] K. Thiruvankatasamy and S. Neelamani (1997). On the efficiency of wave energy caissons in array. *Applied Ocean Research*, 19:61-72.

[13] P. McIver (1994). Some hydrodynamic aspects of arrays of wave-energy devices. Applied Ocean Research, 16:61- 69.

Popis slika:

Slika 2.2 Primjer „sponge layera“ za absorpciju valne energije i onemogućenje valne refleksije od rubova modela (razmaci između konvertera $a = 5\text{m}$ i $b = 5\text{m}$, vidi tablicu 2.1)	7
Slika 2.3 Pozicije „porosity layera“ u prostornim modelskim domenama za analizu valnih deformacija (vidi tablicu 2.1).....	8
Slika 2.4 Dijagram primijenjenog incidentnog valnog spektrara (integriranih po smjeru +/- 30 oko središnjih incidentnih smjerova S ili SE).....	9
Slika 2.5 Karakteristična sekvenca dinamike morskih razi na liniji generiranja	9
(JONSWAP spektar ; $\gamma = 3,3$; $H_s = 1,0\text{m}$; $T_p = 3,3\text{s}$; direkciona disperzija 30°).....	9
Slika 3.1 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 0\text{m}$; $n = 5$; S incidentni smjer	10
Slika 3.2 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 2\text{m}$; $n = 5$; S incidentni smjer	Error! Bookmark not defined.
Slika 3.3 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 5\text{m}$; $n = 5$; S incidentni smjer	11
Slika 3.4 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{m}$; $b = 0\text{m}$; $n = 5$; S incidentni smjer	Error! Bookmark not defined.
Slika 3.5 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{m}$; $b = 2\text{m}$; $n = 5$; S incidentni smjer	12
Slika 3.6 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{m}$; $b = 5\text{m}$; $n = 5$; S incidentni smjer	13
Slika 3.7 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 0\text{m}$; $n = 5$; SE incidentni smjer	13
Slika 3.8 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 2\text{m}$; $n = 5$; SE incidentni smjer	Error! Bookmark not defined.
Slika 3.9 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 5\text{m}$; $n = 5$; SE incidentni smjer	14
Slika 3.10 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{m}$; $b = 0\text{m}$; $n = 5$; SE incidentni smjer	Error! Bookmark not defined.
Slika 3.11 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{m}$; $b = 2\text{m}$; $n = 5$; SE incidentni smjer	15
Slika 3.12 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{m}$; $b = 5\text{m}$; $n = 5$; SE incidentni smjer	16
Slika 3.13 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 0\text{m}$; $n = 2$; S incidentni smjer	16
Slika 3.14 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 2\text{m}$; $n = 2$; S incidentni smjer	Error! Bookmark not defined.
Slika 3.15 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 5\text{m}$; $n = 2$; S incidentni smjer	17
Slika 3.16 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{m}$; $b = 0\text{m}$; $n = 2$; S incidentni smjer	Error! Bookmark not defined.

Slika 3.17 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{m}$; $b = 2\text{m}$; $n = 2$; S incidentni smjer	18
Slika 3.18 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{m}$; $b = 5\text{m}$; $n = 2$; S incidentni smjer	19
Slika 3.19 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 0\text{m}$; $n = 2$; SE incidentni smjer	19
Slika 3.20 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 2\text{m}$; $n = 2$; SE incidentni smjer	Error! Bookmark not defined.
Slika 3.21 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 2\text{m}$; $b = 5\text{m}$; $n = 2$; SE incidentni smjer	20
Slika 3.22 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{m}$; $b = 0\text{m}$; $n = 2$; SE incidentni smjer	Error! Bookmark not defined.
Slika 3.23 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{m}$; $b = 2\text{m}$; $n = 2$; SE incidentni smjer	21
Slika 3.24 Prostorna raspodjela značajnih valnih visina u uvjetima simulacije $a = 5\text{m}$; $b = 5\text{m}$; $n = 2$; SE incidentni smjer	22
Slika 3.25 Odabrana područja za proračun srednje vrijednosti značajnih valnih visina (ista područja vrijede i za slučaj polja konvertora sa samo dva reda.....	22

Popis tablica:

Tablica 2.1 Nomenklatura provedenih numeričkih analiza s lokalnim modelom valnih deformacija (slike 2.1 i 2.2)	7
Tablici 3.1 Srednje vrijednosti značajnih valnih visina za područja prikazana na slici 3.25 za sve provedene simulacije	23