

Mjerenje koeficijenta refleksije obalne konstrukcije

Mejašić, Iva

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:237:775197>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**

Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Iva Mejašić

**MJERENJE KOEFICIJENTA REFLEKSIJE
OBALNE KONSTRUKCIJE**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Iva Mejašić

**MJERENJE KOEFICIJENTA REFLEKSIJE
OBALNE KONSTRUKCIJE**

DIPLOMSKI RAD

prof.dr.sc Dalibor Carević

Zagreb, 2024



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Iva Mejašić

**MEASUREMENT OF THE SEAWALL
REFLECTION COEFFICIENT**

MASTER THESIS

prof.dr.sc Dalibor Carević

Zagreb, 2024



OBRAZAC 3

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Student/ica :

(Ime i prezime)

(JMBAG)

zadovoljio/la je na pisanom dijelu diplomskog rada pod naslovom:

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

(Naslov teme diplomskog rada na engleskom jeziku)

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

(Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

(Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)

Datum:

Mentor:

Potpis mentora:

Komentor:



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio diplomskog rada pod naslovom:

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

Potpis:



OBRAZAC 6

IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Ja :

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela diplomskog rada i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela diplomskog rada pod naslovom:

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom diplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio diplomskog rada u cijelosti bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

Potpis:

ZAHVALE

Zahvaljujem svojoj obitelji na bezuvjetnoj podršci, strpljenu i razumijevanju tijekom mog obrazovanja. Posebnu zahvalu upućujem Leonu, koji mi je bio oslonac tijekom cijelog studija. Neizmjereno sam zahvalna svom mentoru, prof.dr.sc Daliboru Careviću, što mi je omogućio da radim na ovoj zanimljivoj temi. Za kraj zahvaljujem i laborantu Franji Živkoviću na svojoj pomoći koju mi je pružio tijekom ispitivanja u laboratoriju.

Hvala vam svima na doprinosu u ostvarenju ovog cilja.

SAŽETAK

Rad se bavi ispitivanjem koeficijenta refleksije obalne konstrukcije u laboratorijskim uvjetima, s naglaskom na različite utjecajne parametre i konfiguracije konstrukcije. Koeficijent refleksije valova ključan je faktor u projektiranju obalnih građevina jer može utjecati na stabilnost konstrukcije i sigurnost u blizini obale. Eksperimentalna ispitivanja provedena su u valnom kanalu koristeći model konstrukcije s propusnom kamenom oblogom kao disipacijskom komorom i AB pločom na utvrdicama, pri čemu su varirani parametri poput značajne visine valova, vršnog perioda i razmaka između dna ploče i vodnog lica.

Rezultati mjerenja prikupljeni su i obrađeni u softverskim alatima *WaveSynthesizer* i *MIKE Zero*, te pokazuju kako različite konfiguracije konstrukcije i parametri valova utječu na koeficijent refleksije. Cilj rada je izrada modela ovisnosti koeficijenta refleksije o valnim parametrima te usporedba dobivenih vrijednosti s postojećim teorijskim modelima. Ovi rezultati doprinose optimizaciji projektiranja obalnih konstrukcija radi smanjenja negativnih učinaka refleksije valova.

Ključne riječi: koeficijent refleksije, obalni zid niske refleksije, obalne konstrukcije, laboratorijsko ispitivanje

SUMMARY

The study focuses on examining the wave reflection coefficient of coastal structures under laboratory conditions, with an emphasis on various influencing parameters and structural configurations. The wave reflection coefficient is a critical factor in the design of coastal structures, as it can affect the stability of the structure and safety near the shore. Experimental tests were conducted in a wave channel using a model structure with a permeable stone revetment as a dissipation chamber and a scaled plate, with variations in parameters such as significant wave height, peak period, and the gap between the bottom of the plate and the water surface.

The measurement results were collected and processed using the WaveSynthesizer and MIKE Zero software tools, demonstrating how different structural configurations and wave parameters affect the reflection coefficient. The aim of the study is to develop a model describing the dependence of the reflection coefficient on wave parameters and structural configurations and to compare the obtained values with existing theoretical models. These results contribute to optimizing the design of coastal structures to reduce the negative effects of wave reflection.

Key words: reflection coefficient, low reflection seawall, coastal structures, laboratory investigation

SADRŽAJ

ZAHVALE	i
SAŽETAK	ii
SUMMARY	iii
SADRŽAJ	iv
1. UVOD	1
2. METODE I TEHNIKE RADA	2
3. TEORIJSKA RAZMATRANJA KOEFICIJENTA REFLEKSIJE.....	3
3.1. Val i valni profil	3
3.2. Refleksija valova i koeficijent refleksije	4
3.3. Faktori koji utječu na koeficijent refleksije.....	5
3.3.1. Valni parametri.....	5
3.3.2. Materijal i geometrija konstrukcije	10
3.4. Važnost poznavanja koeficijenta refleksije pri projektiranju	11
3.5. Primjeri specijalne vertikalne konstrukcije	11
4. MATERIJALI I METODE	14
4.1. Opis i prikaz valnog kanala.....	14
4.2. Program mjerenja.....	20
4.3. Opis i prikaz korištenih programskih alata	21
4.3.1. Aplikacija WaveSynthesizer	21
4.3.2. Aplikacija MIKE Zero	23
4.4. Hipoteza i ciljevi	24
5. REZULTATI I DISKUSIJA	25
5.1. Prikaz rezultata.....	25
5.2. Usporedba rezultata s postojećim teorijskim modelom.....	29
5.3. Prikaz ovisnosti koeficijenta refleksije o odabranim parametrima.....	31
6. ZAKLJUČAK.....	39
POPIS LITERATURE	40
POPIS SLIKA.....	41
POPIS TABLICA.....	43
PRILOG A.....	44

PRILOG B	45
PRILOG C	46
PRILOG D	47
PRILOG E	48
PRILOG F	49
PRILOG G	50

1. UVOD

Tema ovog diplomskog rada je ispitivanje koeficijenta refleksije obalne konstrukcije u laboratorijskim uvjetima, s naglaskom na utjecaj različitih parametara valova i konfiguracija konstrukcije. Koeficijent refleksije predstavlja ključan faktor u projektiranju obalnih građevina, jer može negativno utjecati na funkcionalnost i stabilnost konstrukcije. Tema je odabrana zbog svoje relevantnosti u području pomorskog inženjerstva, gdje su pouzdani podaci o refleksiji valova temelj za projektiranje obalnih konstrukcija koje minimiziraju negativne učinke refleksije.

Motivacija za pisanje ovog rada proizlazi iz želje za praktičnom primjenom teorijskih znanja u rješavanju stvarnih problema pomorskog inženjerstva. Uz to, ovaj rad predstavlja priliku za rad s naprednim mjernim i analitičkim alatima te za sudjelovanje u razvoju novih istraživanja za specifične konstrukcije koje se koriste na obalama Mediterana.

Rad je strukturiran u šest poglavlja, od kojih svako sustavno obrađuje ključne aspekte istraživanja koeficijenta refleksije obalne konstrukcije.

Nakon uvoda, drugo poglavlje, Metode i tehnike rada, ukratko opisuje korištene metode istraživanja i laboratorijskog ispitivanja, koje uključuju prikupljanje i analizu podataka.

U trećem poglavlju, Teorijska razmatranja koeficijenta refleksije, definirani su osnovni pojmovi koji su potrebni za razumijevanje rada. Opisano je što je to refleksija valova i koeficijent refleksije, zatim parametri o kojima ovisi koeficijent refleksije i neki teoretski modeli refleksije valova. Ovo poglavlje ističe važnost poznavanja koeficijenta refleksije u projektiranju te uključuje primjere specifičnih obalnih konstrukcija.

Četvrto poglavlje, Materijali i metode, usmjereno je na opis opreme, računalnih aplikacija i mjernih metoda korištenih u eksperimentalnom dijelu istraživanja. Ovdje su detaljno predstavljeni parametri korišteni pri laboratorijskom ispitivanju, plan istraživanja te hipoteze i ciljevi istraživanja koje će rad potvrditi ili opovrgnuti na temelju prikupljenih podataka.

U petom poglavlju, Rezultati i diskusija, prikazani su rezultati eksperimentalnog ispitivanja, uključujući analizu mjerenja koeficijenta refleksije s različitim postavljenim parametrima. Rezultati su uspoređeni s postojećim teorijskim modelima i ranijim istraživanjima, a posebna pažnja posvećena je utjecaju promjena u valnim parametrima i konfiguraciji konstrukcije na koeficijent refleksije. Uz prikaz rezultata dano je i njihovo tumačenje.

Za kraj je dan zaključak.

2. METODE I TEHNIKE RADA

Ovaj rad zasniva se na laboratorijskom ispitivanju i obradi podataka. Za početak razmotrena su teorijska razmatranja koeficijenta refleksije pregledom dostupne literature.

Eksperimentalno ispitivanje provedeno je u laboratorijskim uvjetima, u valnom kanalu Hidrotehničkog laboratorija. Koeficijent refleksije mjerio se na modelu specijalne vertikalne obalne konstrukcije koja je postavljena na kraj valnog kanala. Kod ispitivanja su varirani parametri valova i način oblikovanja konstrukcije. Prikupljanje podataka obavljeno je putem kapacitivnih sonde raspoređenih duž kanala, koje su bilježile pomak vodnog lica.

Za generiranje valova korištena je aplikacija *WaveSynthesizer*, verzija 2.46, koja omogućuje variranje parametara poput značajne valne visine i vršnog perioda. Podaci su analizirani putem programa *MIKE Zero*, u kojem su obrađeni signali za određivanje koeficijenta refleksije. Daljnja analiza i prikaz rezultata provedeni su u *Microsoft Excelu*, u kojem je napravljena vizualizacija podataka i usporedba eksperimentalnih vrijednosti s teoretskim modelima.

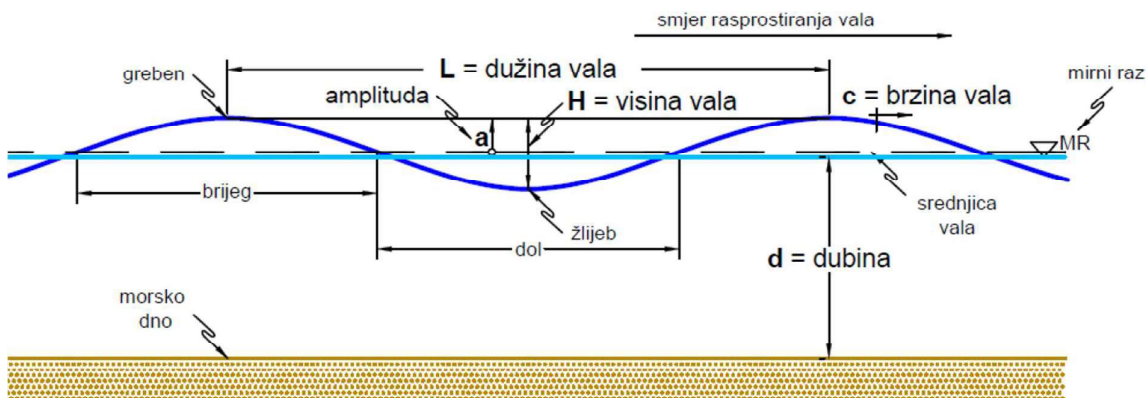
3. TEORIJSKA RAZMATRANJA KOEFICIJENTA REFLEKSIJE

U ovom poglavlju prikazani su osnovni pojmovi i teoretska podloga koji su potrebni za razumijevanje rada. Opisano je što je to refleksija valova i koeficijent refleksije, zatim parametri o kojima ovisi koeficijent refleksije i neki teoretski modeli refleksije valova. Navedeno je zašto je kod projektiranja potrebno poznavati koeficijent refleksije, te kako različiti oblici obalnih konstrukcija utječu na koeficijent refleksije.

3.1. Val i valni profil

Morski valovi mogu se definirati kao površinske oscilacije u vodenim tijelima. Uzrok tih oscilacija može biti gibanje meteoroloških sustava, plovidba, vjetar i slične pobuđujuće sile, ili umirujuće sile kao što su površinska napetost ili gravitacija [1]. Valovi kao jedno od opterećenja, značajno utječu na projektiranje pomorskih građevina. U nastavku slijedi definicija osnovnih parametara za opis oblika fizičke površine mora, odnosno valnog profila.

Vertikalna udaljenost od žlijeba do grebena vala je visina vala H . Linija koja se nalazi na jednakoj udaljenosti od žlijeba i grebena vala je srednjica vala. Ako se radi o idealnom valu, srednjica vala poklapa se sa mirnim razom. Maksimalni vertikalni pomak površine mora od srednjice vala je amplituda a . Horizontalna udaljenost dva uzastopna grebena je dužina vala L . Vremenski period između dva uzastopna prolaska grebena kroz istu točku je Period vala T . Najbitniji parametri za opis valnog profila su period, dužina i visina. Period iskazujemo u sekundama i on se s promjenom dubine ne mijenja, dok dužinu i visinu iskazujemo u metrima i one se mijenjaju ovisno o dubini. Odnos dužine i visine vala bezdimenzionalni je parametar i naziva se strmost vala [1].



Slika 3.1 Primjer profila idealnog vala [1]

Što se tiče duljine valova, oni mogu biti kratki ili dugi. Kratki valovi imaju valnu duljinu značajno manju od dubine mora i periodi su im do 30 sekundi, a dugim valovima je duljina veća od dubine mora i periodi su im preko 5 minuta [1].

Ovdje bi možda dodala još neke bitne pojmove i dodatno razradila da mi nije jedina literatura skripta.

3.2. Refleksija valova i koeficijent refleksije

Refleksija valova je deformacija koja nastaje kada val naiđe na prepreku koja može biti vertikalna ili u formi kosine. Uslijed kontakta s preprekom dolazi do totalnog ili parcijalnog reflektiranja vala u suprotnom smjeru. Do totalne refleksije dolazi kad je prepreka kruta, nepropusna i vertikalna, kao što je na primjer gravitacijska obala. Parcijalna refleksija događa se na nagnutim ili propusnim preprekama kao što su plaže, lukobrani, obale na pilotima i slično [1]. Val koji se kreće prema prepreci zove se dolazeći val, a onaj koji se odbija od prepreke je reflektirani val.

Refleksiju valova poželjno je što više svesti na minimum jer uzrokuje uzburkanost i može biti izvor kolebanja u inače mirnom području [2].

Veličina reflektiranog vala može se prikazati preko kontinuiteta energije:

$$E_{dol} = E_{ref} + A + E_{dis} \quad \text{Jednadžba 1}$$

Prema jednadžbi 1, energiju dolazećeg vala čine reflektirana energija E_{ref} , energija koja se utroši na rad kroz pomak prepreke ili izdizanjem vodene mase A i energije koja se disipira E_{dis} . Disipirana energija je ona koja se gubi pretvaranjem u toplinu zbog trenja. Prema zakonu o očuvanju količine energije, ako je na glatkoj vertikalnoj prepreci gubitak energije zanemariv, odnosno disipirana energija je približno jednaka nuli i nema pomaka masivnog zida tj. rad je jednak nuli, tada je $E_{ref} = E_{dol}$, što odgovara slučaju totalne refleksije. Obrnuto od toga, ukoliko se radi o nagnutoj hrapavoj prepreci na kojoj postoji trenje niti disipirana energija niti rad neće biti jednaki nuli, što rezultira s $E_{ref} < E_{dol}$. [1]

Prema zakonu kontinuiteta energije može se definirati koeficijent refleksije:

$$1 = \frac{E_{refl}}{E_{dol}} + \frac{A}{E_{dol}} + \frac{E_{dis}}{E_{dol}} = K_{refl}^2 + K_t^2 + K_{dis} \quad \text{Jednadžba 2}$$

U jednadžbi 2, K_{refl}^2 označava koeficijent refleksije energije, K_t^2 je koeficijent pretvorbe energije u rad i K_{dis} koeficijent disipacije energije uslijed trenja s preprekom. Iz navedene jednadžbe proizlazi da je za totalnu refleksiju $K_{refl}^2 = 1$, a za parcijalnu refleksiju $K_{refl}^2 < 1$ [1].

Prema linearnoj (Airy) teoriji vrijedi:

$$K_{refl}^2 = \frac{E_{refl}}{E_{dol}} = \frac{H_{refl}^2}{H_{dol}^2} \quad \text{Jednadžba 3}$$

Iz jednadžbe 3 proizlazi:

$$K_{refl} = \frac{H_{refl}}{H_{dol}} \quad \text{Jednadžba 4}$$

U jednadžbi 4 K_{refl} je koeficijent refleksije vala. Za potpunu refleksiju on iznosi 1, odnosno visina dolaznog i reflektiranog vala su jednake a kod djelomične refleksije je manji od 1 zbog utjecaja disipacije i rada [1].

3.3. Faktori koji utječu na koeficijent refleksije

Koeficijent refleksije valova ovisi o više različitih faktora koji uključuju karakteristike valova i geometriju način izvedbe konstrukcije. Razumijevanje i poznavanje ovih faktora bitno je za projektiranje i predviđanje utjecaja valova na obalne konstrukcije jer optimizacijom refleksije smanjuju se negativne posljedice za konstrukciju. U ovom poglavlju opisan je učinak bitnih parametara koji utječu na koeficijent refleksije.

3.3.1. Valni parametri

Valna visina koja se najčešće koristi u proračunu je značajna valna visina, ona se računa kao prosjek od 1/3 najviših valnih visina u jednom valnom zapisu [3]. Značajna valna visina se u literaturi označava kao H_s , H_{m0} ili $H_{1/3}$ [4].

Različiti valni periodi mogu se definirati za valni spektar ili valni zapis. Konvencionalni valni periodi koji se koriste u struci su vršni period T_p , koji označava vrh spektra, prosječni period T_m , koji je najbolje izračunati iz valnog zapisa, te značajni period koji se označava sa T_s ili $T_{1/3}$. Odnos T_p/T_m obično varira od 1,1 do 1,25, dok su T_p i T_s gotovo identični. [4]

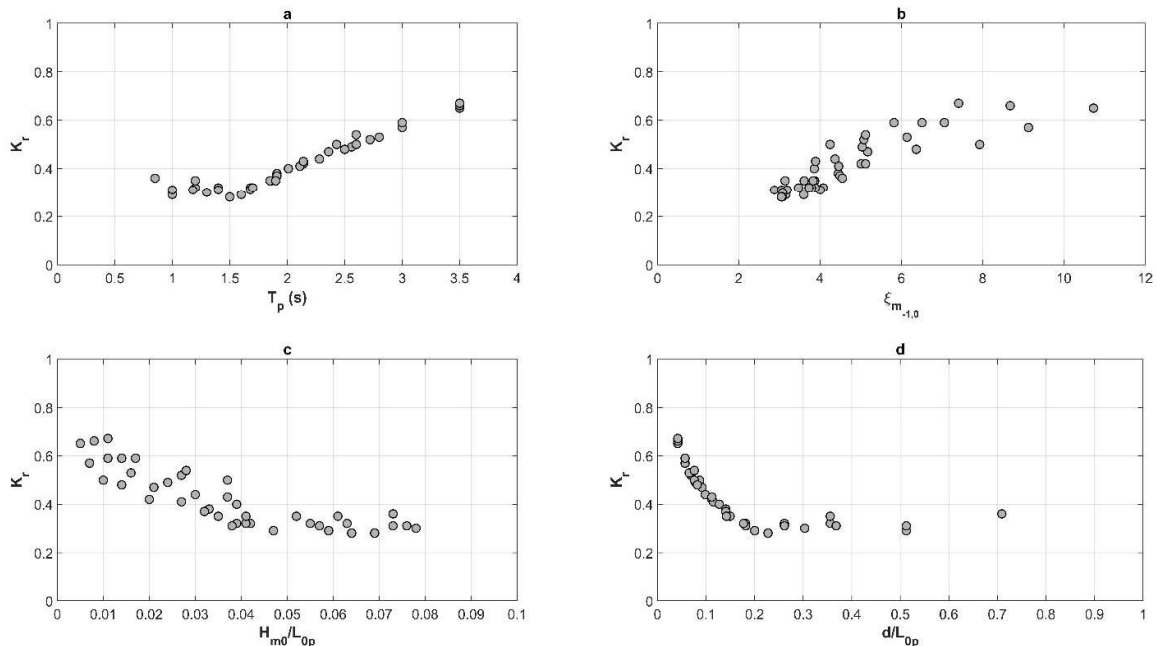
Još jedan važan parametar je strmost vala, odnosno omjer visine vala i valne duljine kako je ranije navedeno. Strmost vala kreće se od 1/7 do 1/200, dok je za valove živog mora, koji nastaju zbog djelovanja vjetra, strmost od 1/10 do 1/25 [3]. Valovi uzrokovani vjetrom mogu imati malu strmost ako se lome u predobalnoj zoni. Prilikom loma valova period se u

početku ne mijenja previše, no smanjuje se valna visina [4], što je važan faktor za koeficijent refleksije.

Bitan parametar za koeficijent refleksije je i prelijevanje, pri kojem se također gubi dio energije što kao posljedicu ima manji koeficijent refleksije. [2]

Idući relevantan parametar je parametar sličnosti valova (*Iribarren number, surf similarity parameter*) $\xi_{m-1,0}$ koji ovisi o nagibu dna ili pokosa konstrukcije, valnoj visini i srednjem periodu vala. [4]

Ovisnost koeficijenta refleksije o vršnom periodu, parametru sličnosti valova, strmosti i omjeru d/L prikazana je na slici 3.2.



Slika 3.2: Koeficijent refleksije kao funkcija vršnog perioda T_p , parametra sličnosti valova $\xi_{m-1,0}$, strmosti vala H/L i omjeru d/L [5]

Prema prikazu na slici 3.2 jasna je korelacija između koeficijenta refleksije i vršnog perioda. Što je vršni period vala veći, veći je i koeficijent refleksije. Bez obzira na dosta izraženu disperziju podataka, može se zaključiti da koeficijent refleksije raste i porastom parametra sličnosti valova. Obrnuto vrijedi za strmost valova. Što je strmost valova veća koeficijent refleksije je manji, no ona nakon iznosa 0,5 strmost vala nema utjecaja na koeficijent refleksije. Omjer d/L na koeficijent refleksije utječe tako da što je on veći, koeficijent refleksije je manji. [5]

Model na kojem je obavljeno ispitivanje obložen je MAYA blokovima, betonskim elementima koji se u pomorskom inženjerstvu koristi za oblogu kosine u slučajevima kada nema dovoljno dostupnog kamena.

Podaci na slici 3.2 izmjereni su za pokos nagiba 3:4. MAYA blok projektiran je u Odjelu za pomorsko inženjerstvo Sveučilišta u Salernu (MEDUS), sa namjerom da bude jednostruki sloj primarne zaštite nasutog lukobrana. Ideja je proizašla iz analize kocke, kojoj se inkrementalno povećavao omjer vanjske površine i volumena, čime se poboljšala poroznost i učinak međusobnog povezivanja blokova prilikom ugradnje. [5]

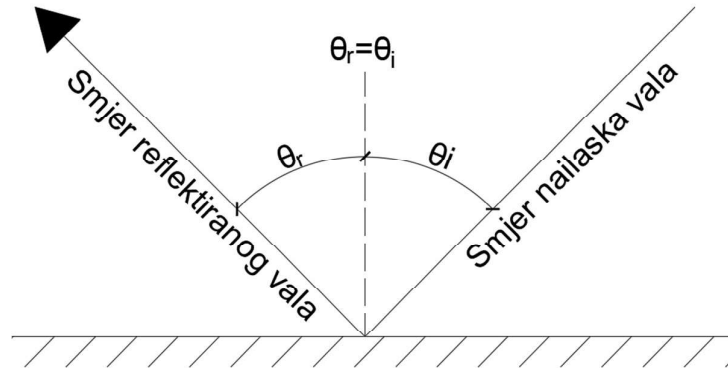
Obloga od MAYA blokova prikazana je na slici 3.3. Zbog svoje konfiguracije MAYA blokovi ponašaju se slično propusnoj kamenoj oblozi, što je vidljivo u poglavlju 5.2 na slici 5.1., stoga je u svrhu prikaza ovisnosti koeficijenta refleksije o vršnom periodu, parametru sličnosti valova, strmosti vala i omjera d/L korištena analiza iz [5] jer te dvije obloge pokazuju slično ponašanje.



Slika 3.3: Obloga od MAYA blokova [5]

U okviru utjecaja na koeficijent refleksije razmotren je i kut nailaska vala. Prema teoriji geometrijske optike smatra se da se svaki val reflektira pod kutom jednakim kutu upada i

nastavlja se širiti u tom smjeru, kao što je prikazano na slici 3.4. Kod valova dugog perioda postoji odstupanje od te teorije. Kada se valovi dugog perioda reflektiraju od konstrukcije pod velikim upadnim kutom u plitkim vodama ne nastaju čisti reflektirani valovi. Taj fenomen naziva se Mach-stem refleksija i primijećena je kod nekih Tsunamija. Zbog ograničene duljine grebena koju imaju reflektirani valovi, disperzija nakon refleksije je jako slična difrakciji. [2]



Slika 3.4: Smjer reflektiranog vala [2]

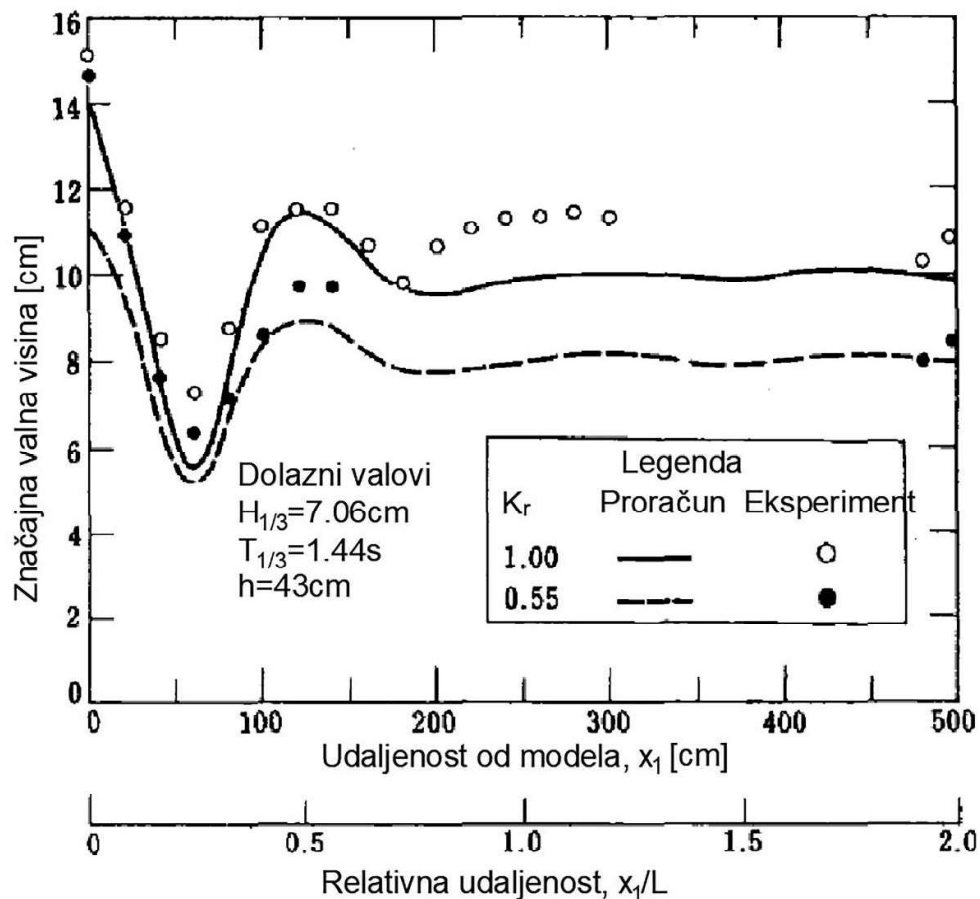
Reflektirani valovi dodatno gube energiju zbog nepovoljnog vjetra. Kod refleksije od vertikalnih obalnih konstrukcija često se događa da vjetar „otpuhuje“ grebene valova. Iako stopa prigušenja zbog vjetra nije točno poznata, empirijski je utvrđeno da se valovi velike strmosti brzo disipiraju, dok se niski, dugi valovi šire na velike udaljenosti uz minimalnu disipaciju. Iako se u velikim lukama efektivna vrijednost koeficijenta refleksije zbog utjecaja vjetra može smanjiti i za 80%, u projektiranju obalnih konstrukcija bolje je zanemariti utjecaj vjetra kako bi bili na strani sigurnosti. [2]

Veliki utjecaj na refleksiju ima superpozicija dolaznih i reflektiranih valova. Kada je potrebno znati samo ukupnu visinu reflektiranog vala, moguće ju je procijeniti principom zbrajanja energetske komponente kako je prikazano u jednadžbi 5 u kojoj je H_s značajna valna visina superponiranog vala, H_i je značajna valna visina upadnog vala i $(H_R)_i^2$ su značajne valne visine valova reflektiranih iz različitih izvora. [2]

$$H_s = \sqrt{H_i^2 + (H_R)_1^2 + (H_R)_2^2 + \dots}$$

Jednadžba 5

Jednadžba 5 nije primjenjiva neposrednoj blizini struktura zbog fiksnog faznog odnosa između dolaznih i reflektiranih valova. Međutim, fazna interferencija gotovo se poništava ako je udaljenost od reflektirajuće strukture veća od otprilike jedne valne duljine, i tada jednadžba 5 daje točniju procjenu visine vala. Primjenjivost jednadžbe 5 prikazana je na slici 3.5 koja prikazuje prostorne varijacije značajne visine valova ispred modela konstrukcije u valnom kanalu. Dolazni valovi korišteni u eksperimentu su nepravilni, spektra tipa Bretschneider-Mitsuyasu. Prazni kružići predstavljaju podatke za potpuno reflektirajući vertikalni zid, dok puni kružići predstavljaju podatke za model konstrukcije s koeficijentom refleksije od 0,55. Puna i prazna linija označavaju procjenu visine valova dobivene iz spektra superponiranih valnih sustava. [2]



Slika 3.5: Prostorna varijacija valnih visina [6]

Dijagram na slici 3.5 je odličan dokaz da mjerne sonde moraju biti dovoljno daleko odmaknute od modela konstrukcije kako bi izmjereni podaci bili točni.

3.3.2. Materijal i geometrija konstrukcije

Dvije za koeficijent trenja najvažnije karakteristike materijala od kojih se izrađuju obalne konstrukcije su propusnost i hrapavost. Iz Jednadžbe 2 iz prethodnog poglavlja da se zaključiti da je koeficijent manji što su hrapavost i propusnost veće, jer se više energije disipira kroz trenje u vrtlozima vode.

Što se tiče geometrije konstrukcije, parametri koji najviše utječu na koeficijent refleksije su nagib pokosa i visina krune iznad vode. Koeficijent refleksije proporcionalan je nagibu pokosa, odnosno povećava se s povećanjem nagiba te je najveći za vertikalne konstrukcije. Visina krune iznad vodnog lica na koeficijent refleksije utječe kroz prelijevanje. Ukoliko je kruna izdignuta iznad vodnog lica utoliko da je prelijevanje spriječeno ili uvelike smanjeno, koeficijent refleksije se povećava. [2]

Kako bi, između ostalog, koeficijent refleksije bio što manji, u praksi se kombinira učinak nagiba i različitih materijala. U tablici 3.1 prikazane su približne vrijednosti koeficijenta refleksije za neke obalne konstrukcije prema.

Tablica 3.1: Približne vrijednosti koeficijenta refleksije [2]

Vrsta konstrukcije	Koeficijent refleksije
Vertikalni zid s krunom iznad vode	0,7 – 1,0
Vertikalni zid s potopljenom krunom	0,5 – 0,7
Pokos od kamenog nabačaja (nagib od 1:2-3)	0,3 – 0,6
Pokos od betonskih blokova za disipaciju energije	0,3 – 0,5
Vertikalna konstrukcija sa funkcijom disipacije energije	0,3 – 0,8
Prirodna plaža	0,05 – 0,2

Koeficijent refleksije može se izračunati prema izrazu:

$$K_{refl} = \frac{a \cdot \xi m_{1,0}^2}{b + \xi m_{1,0}^2} \quad \text{Jednadžba 6}$$

Gdje su a i b koeficijenti prema pripadnim tipovima obalnih konstrukcija. [1]

3.4. Važnost poznavanja koeficijenta refleksije pri projektiranju

Koeficijent refleksije kvantificira udio energije valova koji se reflektira od obalne konstrukcije, značajno utječući na ponašanje valova u njezinoj okolini. Visoki koeficijenti refleksije dovode do povećane uzburkanosti površine mora ispred obalnih konstrukcija, što može negativno utjecati na sigurnost plovidbe u blizini ulaza u luke i marine te na funkcionalnost vezova unutar njih. Povećana uzburkanost također pridonosi eroziji sedimenta uz temelj konstrukcije, osobito u plitkim područjima, što s vremenom može ugroziti stabilnost same konstrukcije.

Pri projektiranju obalnih konstrukcija, važno je odabrati materijale, komponente i geometriju konstrukcije kako bi se smanjio učinak refleksije. Na primjer, perforirani vertikalni zidovi mogu smanjiti refleksiju valova, čime se smanjuje uzburkanost mora ispred konstrukcije i erozija temelja [7]. Iz tog razloga važno je poznavati kako različiti parametri utječu na koeficijent refleksije i koliki je očekivani koeficijent refleksije za određene vrste konstrukcija.

Poznavanje koeficijenta refleksije za različite vrste konstrukcija ključno je za učinkovito projektiranje. Na primjer, pri projektiranju perforiranih konstrukcija bitno je odabrati širinu komore koja će za projektne valove davati najniži koeficijent refleksije [7]. U slučaju specijalne vertikalne konstrukcije koja je predmet ovog rada, ispituje se kako na koeficijent refleksije utječu razmak između dna horizontalne ploče i vodnog lica te mogućnost odzračivanja disipacijske komore.

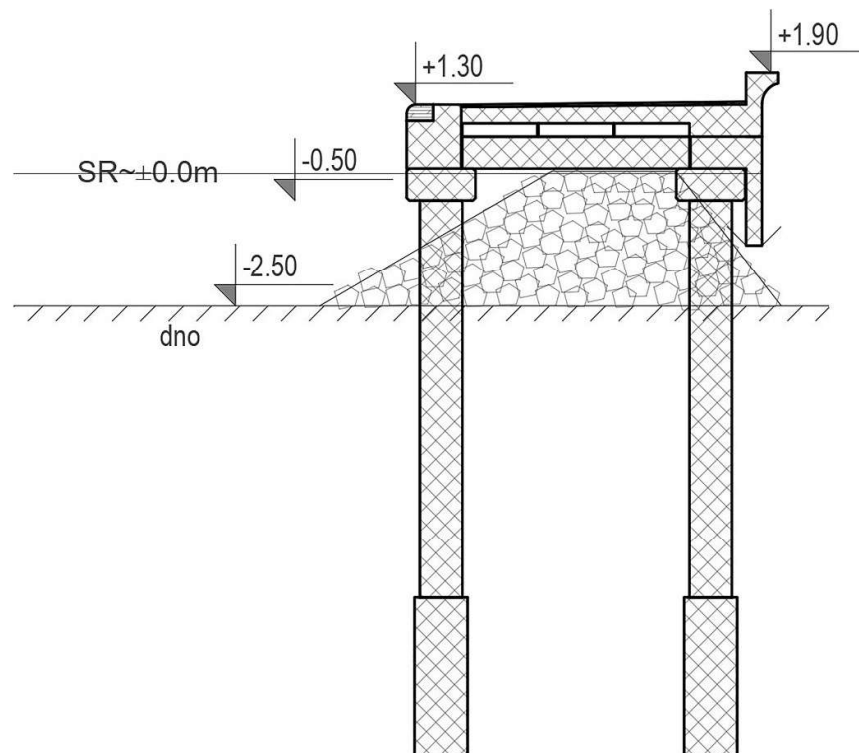
Uzevši u obzir sve dostupne i ispitane parametre, moguće je oblikovati obalne konstrukcije koje minimaliziraju negativne učinke refleksije valova, osiguravajući sigurnost plovidbe, stabilnost konstrukcija i očuvanje obalnog okoliša.

3.5. Primjeri specijalne vertikalne konstrukcije

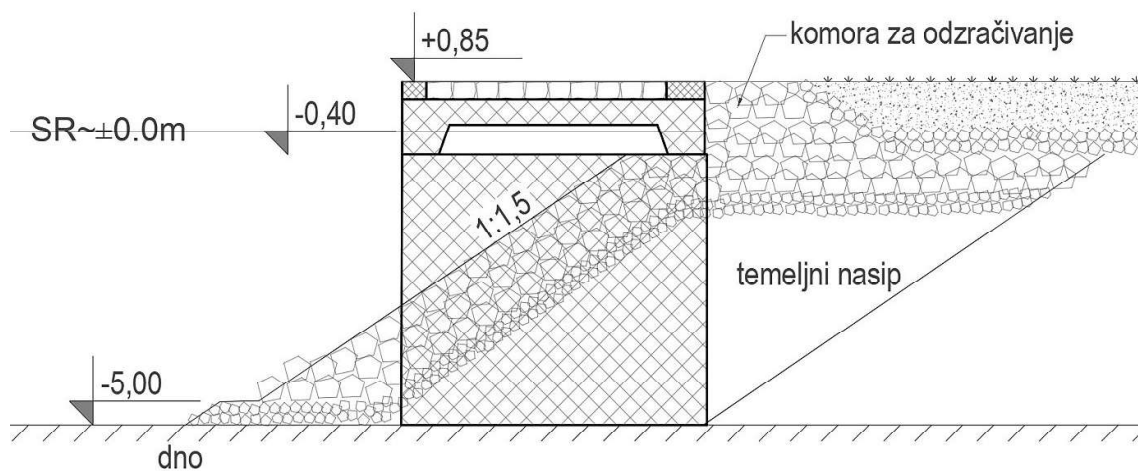
Konstrukcija za koju je napravljen laboratorijski model je specijalna vertikalna obalna konstrukcija kakva se javlja na obalama luka i marina Mediterana, i drugih mora s blažom valnom klimom.

Kod luka i marina česti su problemi kao što je velika transmisija kroz lukobran što rezultira većim valovima unutar akvatorija marine ili luke ili veliki koeficijenti refleksije. Taj problem se može riješiti postavljanjem valoloma bi se smanjila transmisija, na djelu gdje je problem velika refleksija, može se izvesti anti reflektivna obloga ispod AB konstrukcije kako bi se ublažio utjecaj refleksije.

Na slici 3.6 prikazan je karakteristični poprečni presjek obalne konstrukcije niske refleksije za lokacije s lošim temeljnim tlom gdje se pribjegava primjeni nosive konstrukcije na pilotima. Na slici 3.7 prikazan je drugačiji primjer takve konstrukcije, koja se primjenjuje na lokacijama s dobro nosivim temeljnim tlom a nosiva konstrukcija se postavlja na AB utvrđice. Obalna konstrukcija projektira se tako da se prednja strana AB konstrukcije djelomično uroni s ciljem osiguranja ravne površine za naslon plovila.



Slika 3.6: Karakteristični poprečni presjek obalne konstrukcije niske refleksije na pilotima



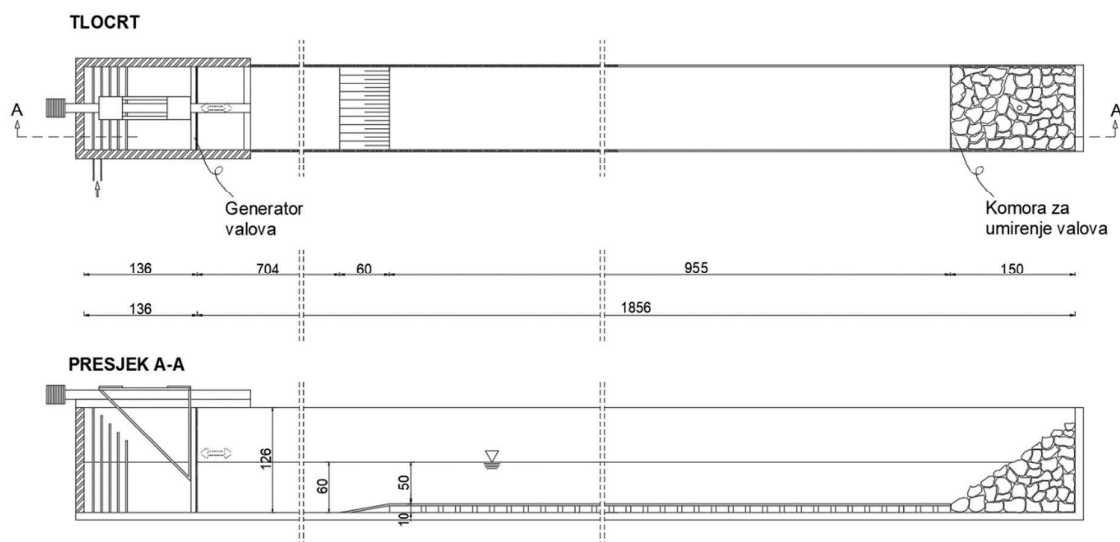
Slika 3.7: Karakteristični poprečni presjek obalne konstrukcije niske refleksije na utvrdicama

4. MATERIJALI I METODE

U ovom poglavlju opisana je korištena oprema, model i računalne aplikacije za prikupljanje i obradu podataka. Prikazani su parametri korišteni pri laboratorijskom ispitivanju, te je opisan sam tok ispitivanja. Na kraju su dane hipoteze i ciljevi koji se žele dokazati i postići mjerenjem i analizom rezultata.

4.1. Opis i prikaz valnog kanala

Laboratorijsko ispitivanje obavljeno na Građevinskom fakultetu sveučilišta u Zagrebu, u Hidrotehničkom laboratoriju. Koeficijent refleksije ispitan je u valnom kanalu koji je prikazan na slici 4.1.

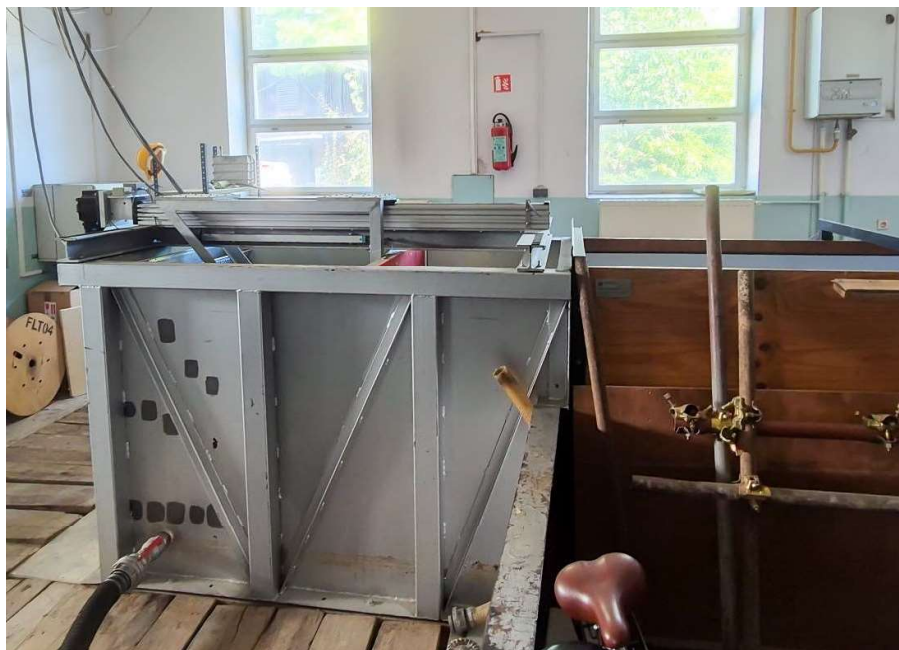


Slika 4.1: Tlocrt i uzdužni presjek valnog kanala

Uređaj za generiranje valova ima dva dijela, pokretački i upravljački sustav. Sastoji se od generatora valova sa AWACS sustavom i sustava za prikupljanje podataka. Tip generatora valova je piston, a osnovni dijelovi uređaja su:

- motor – Yasakawa Type SGMGH-20DCA6F-OY
- kontroler motora – Yasakawa Type SGDH-20DE
- servo kontroler – DHI AWACS Type 422/2-E
- feedback transducer – Gefran LT-M-750S
- feedback pojačalo – DHI Type 118
- optički konverter – DHI Type 122
- softver za servo – DHI Wave Synthesizer, ver. 2.40
- DHI Standard Cabinet Type 101E
- DHI Wave Amplifier Type 102E
- DHI Filter Cabinet Type 154/IF
- kapacitivne sonde za mjerenje pomaka vodnog lica- DHI [8]

Pokretački sustav, odnosno motor i ploča generatora prikazani su na slici 4.2. Upravljački dio uređaja čine tri dijela, izvor električne energije, digitalni servo kontroler i upravljačka jedinica, koji su prikazani na slikama 4.3, 4.4. i 4.5.



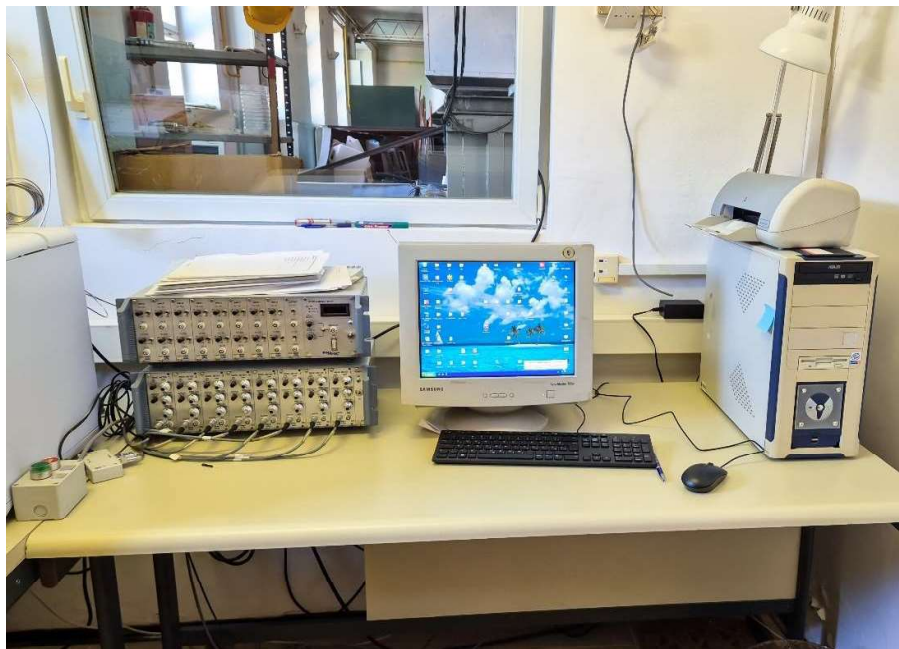
Slika 4.2: Pokretački sustav (motor i ploča generatora)



Slika 4.3: Priključak na izvor električne energije



Slika 4.4: Digitalni servo kontroler

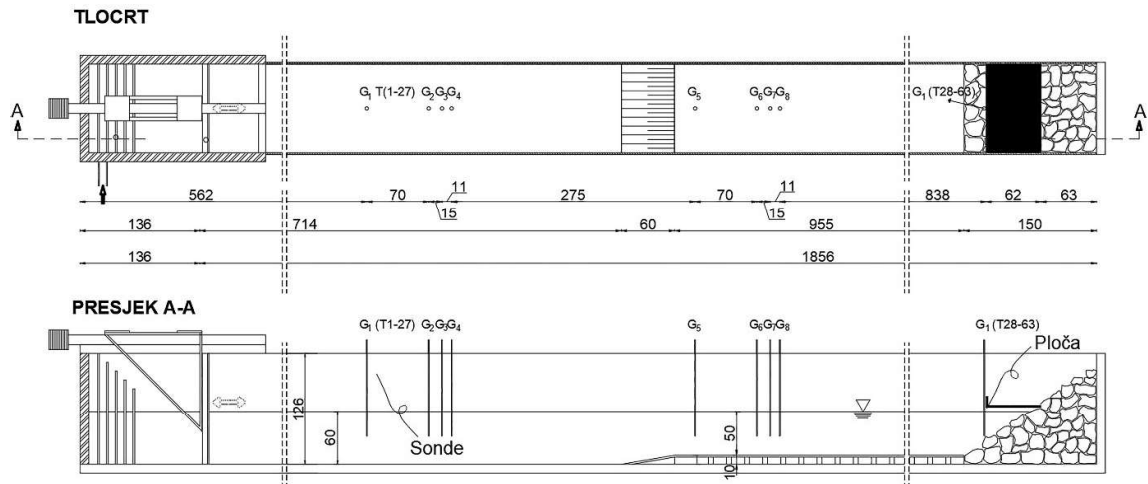


Slika 4.5: Upravljačka jedinica

U valnom kanalu nalazi se osam kapacitivnih sonde koje bilježe pomak vodnog lica. Sonde su podijeljene u dvije grupe s razmacima između sonde od 70, 15 i 11 cm. Postavljene su na idućim kotama (udaljenostima od ploče generatora):

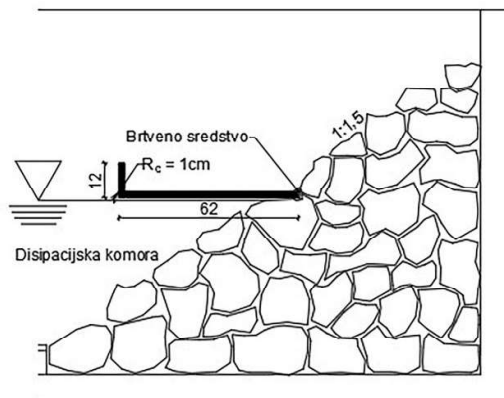
- Sonda 1 (G1): 5.621 [m]
- Sonda 2 (G2): 6.321 [m]
- Sonda 3 (G3): 6.371 [m]
- Sonda 4 (G4): 6.581 [m]
- Sonda 5 (G5): 9.334 [m]
- Sonda 6 (G6): 10.034 [m]
- Sonda 7 (G7): 10.184 [m]
- Sonda 8 (G8): 10.294 [m]

Nakon što su izvršena prva tri seta mjerenja, sonda 1 je premještena neposredno ispred same konstrukcije kako bi se mogle zabilježiti moguće visine prelijevanja. Model konstrukcije je kombinacija drvene ploče i kamene obloge, te je smješten na samom kraju valnog kanala, tako da se sve sonde G1-G8 nalaze ispred modela. Izrađen je u mjerilu 1:10. Na slici 4.6 je prikaz pozicija sonde i modela, Za sondu 1 prikazane su obje pozicije koje su korištene. Na slici 4.7 a) b) i c) prikazane su tri različite pozicije ploče u odnosu na vodno lice, te brtveno sredstvo koje je kombinacija plastične folije i tkanine. Na slici 4.7 d) prikazan je detalj modela.

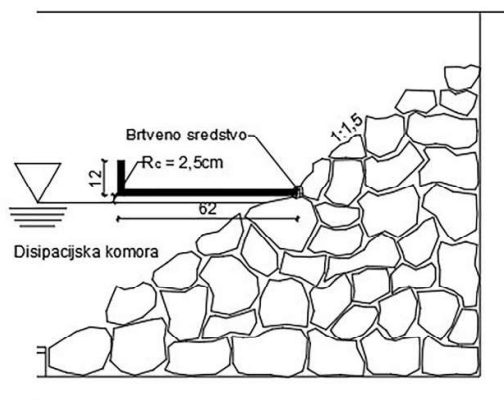


Slika 4.6: Prikaz pozicija sondi i modela

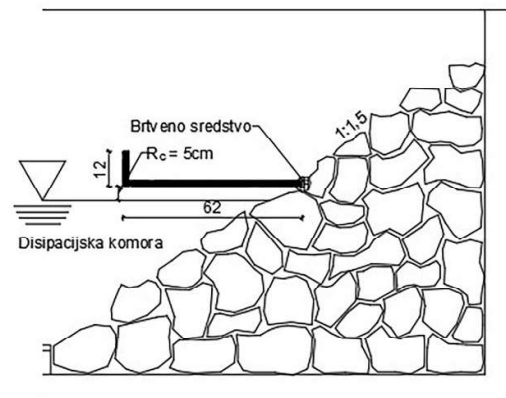
a) Dno ploče udaljeno od vodnog lica za 0.01 m



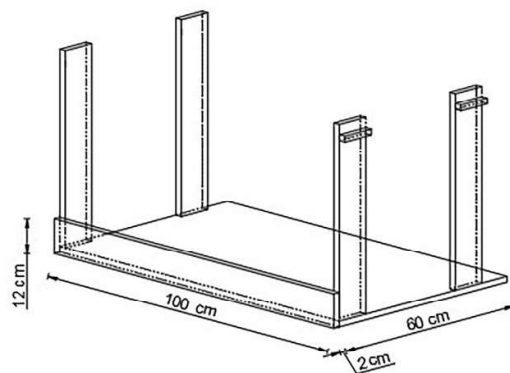
b) Dno ploče udaljeno od vodnog lica za 0.025 m



c) Dno ploče udaljeno od vodnog lica za 0.05 m

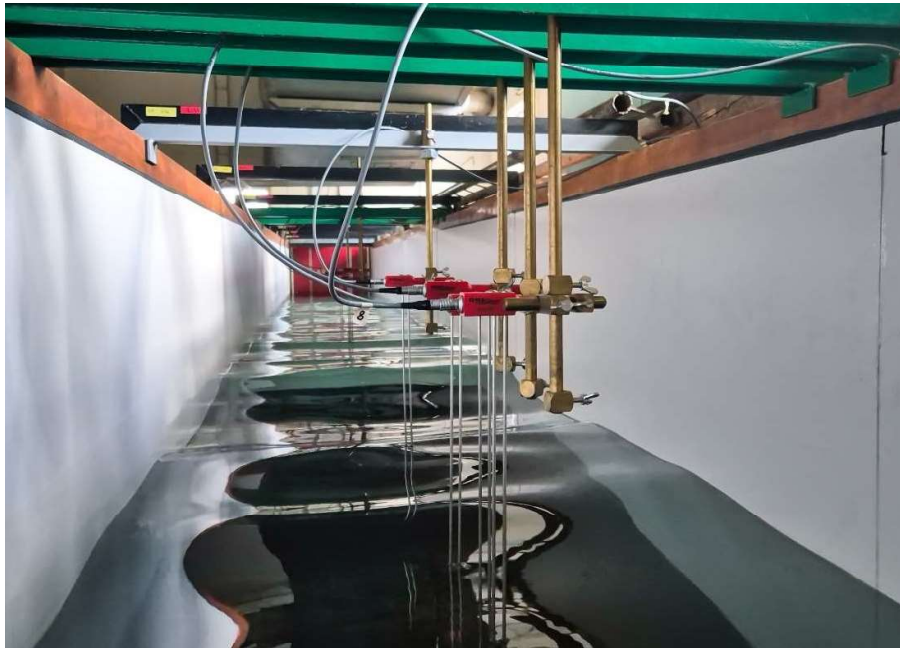


d) Detaljni prikaz ploče



Slika 4.7: Prikaz detalja ploče

Na slici 4.8 prikazana je jedna grupa kapacitivnih sondi, a na slici 4.9 je prikazan model.



Slika 4.8: Grupa kapacitivnih sondi



Slika 4.9: Model konstrukcije

4.2. Program mjerenja

Mjerenje koeficijenta refleksije provedeno je na laboratorijskom modelu u mjerilu 1:10, dubina vode je 0,5 metara. Valni parametri koji su korišteni pri mjerenju dani su u tablici 4.1.

Tablica 4.1: Valni parametri korišteni za ispitivanje koeficijenta refleksije za nepravilne (spektralne) valove

Nepravilni (spektralni) valovi u laboratorijskom mjerilu					
Test	Hs [m]	Tp [s]	Lp [m]	Hs/Lp	d/Lp
1	0,04	0,72	0,8	0,05	0,625
2	0,05	0,83	1,08	0,05	0,463
3	0,09	1,07	1,8	0,05	0,278
4	0,04	0,83	1,08	0,04	0,463
5	0,06	0,98	1,5	0,04	0,333
6	0,10	1,29	2,6	0,04	0,192
7	0,05	0,98	1,5	0,03	0,333
8	0,07	1,21	2,3	0,03	0,217
9	0,08	1,34	2,8	0,03	0,179

Napravljeno je 7 različitih setova mjerenja, od kojih se svaki sastojao od navedenih 9 testova, odnosno prikupljeni su podatci iz ukupno 63 različita mjerenja, svako u trajanju od 5 minuta.

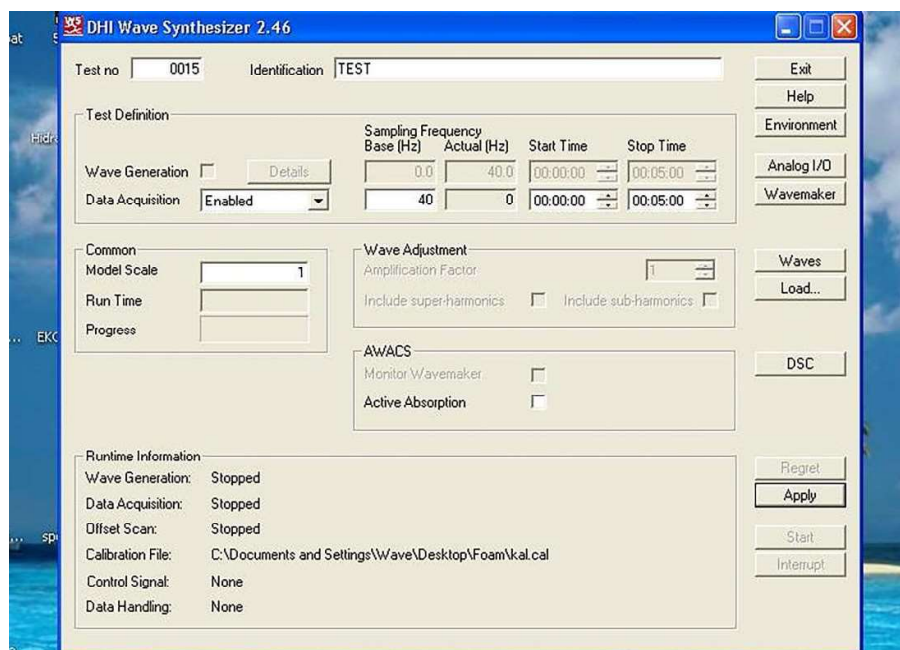
Prvi set testova napravljen je samo sa kamenom oblogom, bez utjecaja ploče. Drugi set mjerenja napravljen je sa dnom ploče postavljenim na udaljenost od 0,01 metar iznad razine vodnog lica, te je pri ovom mjerenju između ploče i kamene obloge (na stražnjem djelu) bio otvor kroz koji je bilo omogućeno odzračivanje disipacijske komore. Za treći set mjerenja ploča je ostala na istoj poziciji kao i kod drugog, ali je otvor između kamene obloge i ploče zabrtvljen, kako bi se onemogućilo odzračivanje disipacijske komore. Iduća 4 seta mjerenja napravljena su po uzoru na drugi i treći set, tako da je razmak između dna ploče i vodnog lica 0,025, odnosno 0,05 metara. Za prva tri seta mjerenja sonde (G1-G8) su bile u poziciji opisanoj u prethodnom poglavlju, dok je za ostatak mjerenja sonda G1 premještena neposredno ispred ploče, kako bi bili sigurni da nije došlo do prelijevanja, a ostale sonde (G2-G8) ostale su na početnoj poziciji, kao što je ranije navedeno.

4.3. Opis i prikaz korištenih programskih alata

Za generiranje valova i pohranu podataka korištena je aplikacija *WaveSynthesizer*, verzija 2.46. Analiza podataka napravljena je u aplikaciji MIKE Zero, a za prikaz podataka korišten je MS Excel.

4.3.1. Aplikacija *WaveSynthesizer*

Na slici 4.9 prikazano je osnovno sučelje aplikacije *WaveSynthesizer*. Za početak je potrebno kalibrirati mjerne sonde, što se obavlja pomoću pojačala mjernog signala i filtera signala, koji su prikazani na slikama 4.10 i 4.11. Kalibracijom signala omogućena je veća preciznost mjerenja i lakša interpretacija podataka.



Slika 4.10: Osnovno sučelje aplikacije *WaveSynthesizer*

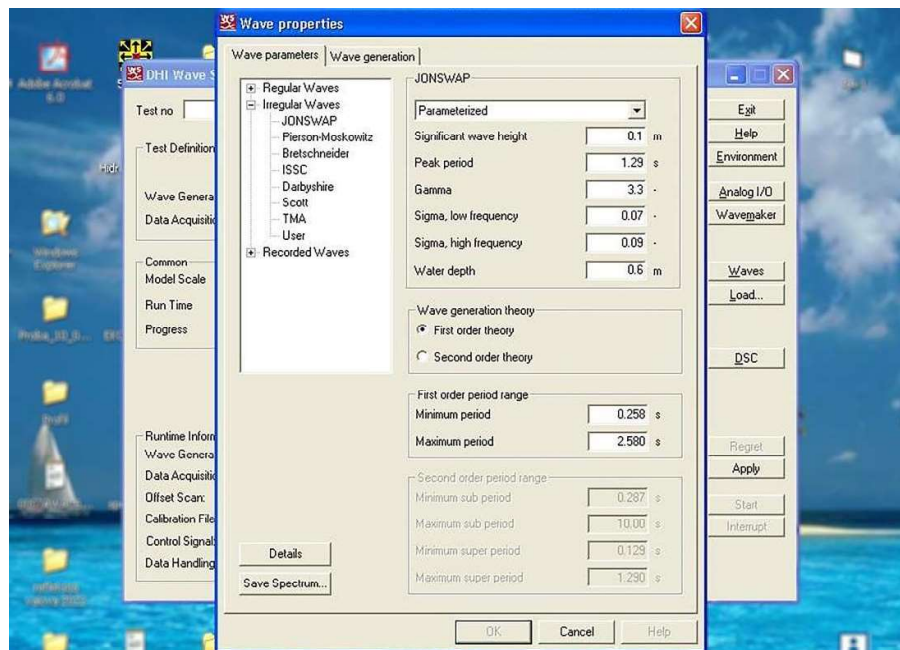


Slika 4.11: Filter cabinet



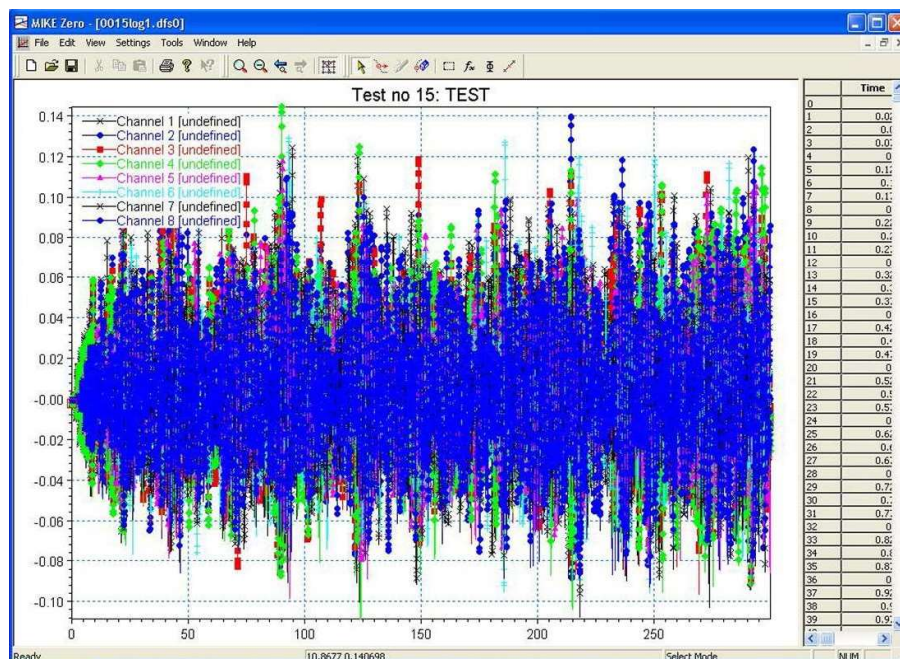
Slika 4.12: Pojačalo

Nakon kalibracije sonde postavljeno je da su valovi nepravilni, JONSWAP spektra te se upisuju željeni parametri koji moraju biti u prirodnom mjerilu. Također, odabrano je trajanje mjerenja od 5 minuta i generiran je kontrolni signal. Na slici 4.12 prikazan je prozor za unos valnih parametara i generiranje valova.

Slika 4.13: Prozor *Wave properties*

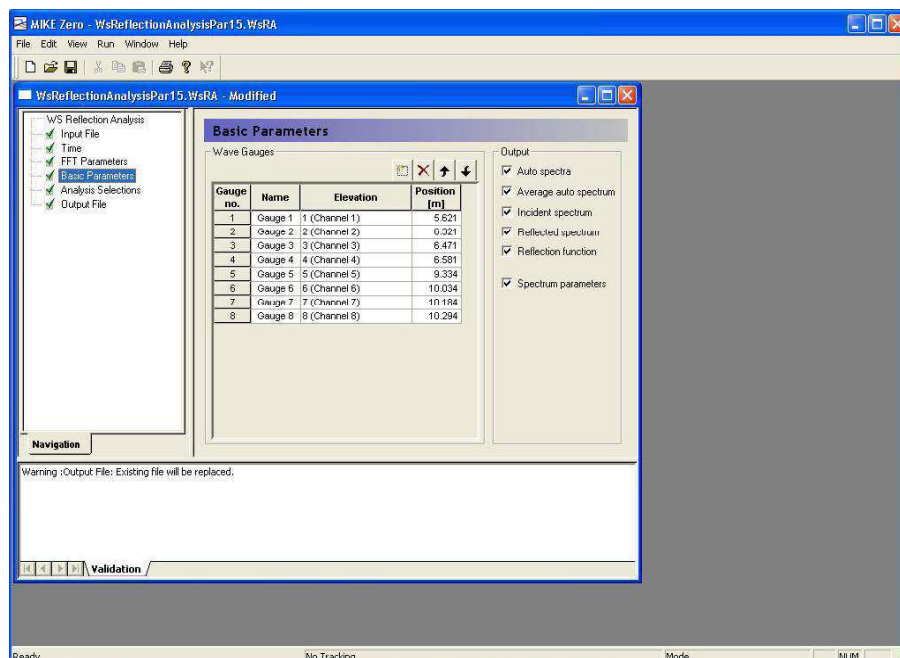
4.3.2. Aplikacija MIKE Zero

Za obradu izmjerenih podataka korištena je aplikacija *MIKE Zero*. Na slici 4. 14. prikazan je primjer snimljenog valnog signala za jedan od testova.



Slika 4.14: Primjer snimljenog valnog signala

Na slici 4.14 prikazan je primjer sučelja aplikacije *MIKE Zero*, specifično kartice u kojoj su opisane pozicije sonde. Prikazane su pozicije sonde za testove 1-27, dok je od testa 28 sonda 1 na poziciji neposredno uz ploču. Sonde su podijeljene u dvije različite zone u kojima se određuje koeficijent refleksije. Zona 1 obuhvaća sonde 5-8, odnosno one bliže modelu, a zona 2 su sonde 1-4. Izmjereni podaci su upisani u MS Excel tablicu gdje je obavljena daljnja obrada i prikaz. Koeficijent trenja očitana je za zonu sonde 1, odnosno sonde koje su bliže modelu. Za svaki test očitana je i izmjerena značajna valna visina H_s , vršni period T_p , te karakteristični, odnosno srednji period valova $T_{m-1,0}$. Navedeni podaci očitani su za spektar dolaznih valova.



Slika 4.15: Primjer sučelja aplikacije *Mike Zero*

4.4. Hipoteza i ciljevi

Smisao ovog rada je odrediti kako izvesti obalnu konstrukciju da koeficijent refleksije bude što manji, odnosno da samim odabirom konstrukcije bude poznat i da ga je lako kontrolirati odabirom određenih parametara konstrukcije. Hipoteze koje se postavljaju u ovom radu su slijedeće:

- Postavljanjem ploče iznad kose obale sa propusnom kamenom oblogom i formiranjem disipacijske komore povećava se koeficijent refleksije u odnosu na slučaj kada ploče nema.
- Odmicanjem ploče od vodnog lica smanjuje se koeficijent refleksije.
- Zatvaranjem stražnjeg dijela konstrukcije se povećava koeficijent refleksije jer se sprječava odzračivanje disipacijske komore.

Cilj rada je izraziti ovisnost koeficijenta refleksije o parametrima koji su mijenjani u svakom mjerenju, a to su značajna valna visina H_s i vršni period vala T_p . Također, cilj je usporediti dobivene rezultate odnosa koeficijenta refleksije i Irbarrenovog broja, odnosno parametra sličnosti valova sa eksperimentalnim podacima koje su ustanovili Zanuttigh i Van der Meer odredili u [9].

5. REZULTATI I DISKUSIJA

U ovom poglavlju prikazani su rezultati mjerenja koeficijenta refleksije obalne konstrukcije, provedeni u laboratorijskim uvjetima i u laboratorijskom mjerilu, te njihova analiza s obzirom na postavljene hipoteze. Prvo je naveden primjer osnovnih rezultata za različite kombinacije ulaznih parametara i postavki modela. Tablice svih rezultata dane su u priložima. Nakon toga rezultati su uspoređeni s postojećim teorijskim modelima i ranijim eksperimentalnim istraživanjima prema [9]. Zatim slijedi prikaz ovisnosti koeficijenta refleksije o odabranim parametrima, te diskusija o izmjerenim podacima. Posebna pažnja posvećena je utjecaju promjene parametara kao što su značajna visina vala H_s , vršni period vala T_p i udaljenost dna ploče od vodnog lica R_c .

5.1. Prikaz rezultata

Za primjer prikaza tablice rezultata uzet je četvrti ciklus mjerenja, u kojem je ploča bila postavljena na udaljenost 0,025 m od vodnog lica i sonda 1 je bila postavljena neposredno ispred ploče kako je ranije opisano. Stoga su u tablici posebno dodani rezultati izmjerene valne visine na toj poziciji, zbog sumnje na moguće prelijevanje.

Tablica 5.1: Nepravilni (spektralni) valovi u laboratorijskom mjerilu - kamena obloga + ploča udaljena 0,025 m od vodnog lica sa spriječenim odzračivanjem disipacijske komore

Broj testa	H_s [m] - Zadani	T_p [s] - Zadani	L_p [m]	H_s/L_p [-]	d/L_p [-]	R_c [m]
Test 28	0,04	0,72	0,80	0,05	0,63	0,025
Test 29	0,05	0,83	1,08	0,05	0,46	0,025
Test 30	0,09	1,07	1,80	0,05	0,28	0,025
Test 31	0,04	0,83	1,08	0,04	0,46	0,025
Test 32	0,06	0,98	1,50	0,04	0,33	0,025
Test 33	0,10	1,29	2,60	0,04	0,19	0,025
Test 34	0,05	0,98	1,50	0,03	0,33	0,025
Test 35	0,07	1,21	2,30	0,03	0,22	0,025
Test 36	0,08	1,34	2,80	0,03	0,18	0,025

H_s [m] - Izmjereni	H_s [m] - Sonda 1	T_p [s] - Izmjereni	$T_{m-1,0}$ [s]	K_r [-]	$\xi_{m-1,0}$ [-]	R_c/H_s	K_r/K_{rBP}
0,04	0,04	0,75	0,69	0,38	2,02	0,56	1,63
0,06	0,06	0,85	0,78	0,35	2,00	0,42	1,75
0,11	0,15	1,07	0,97	0,35	1,82	0,23	2,08
0,05	0,05	0,80	0,77	0,35	2,18	0,51	1,81
0,07	0,09	0,99	0,89	0,35	2,03	0,33	1,94
0,13	0,16	1,28	1,13	0,32	1,98	0,20	1,69
0,06	0,07	0,99	0,88	0,36	2,19	0,39	1,99
0,09	0,11	1,16	1,06	0,34	2,20	0,28	1,84
0,10	0,12	1,28	1,15	0,32	2,24	0,24	1,64

Parametri koji su prikazani u tablici su:

H_s [m] – Značajna valna visina

T_p [s] – Vršni period vala

L_p [m] – Valna dubina pri vršnom periodu

R_c [m] – Visina od vodnog lica do donjeg ruba ploče

$T_{m-1,0}$ [s] – srednji period vala

K_r [-] – Koeficijent refleksije

$\xi_{m-1,0}$ [-] – Parametar sličnosti valova, koji se računa prema jednadžbi 6.

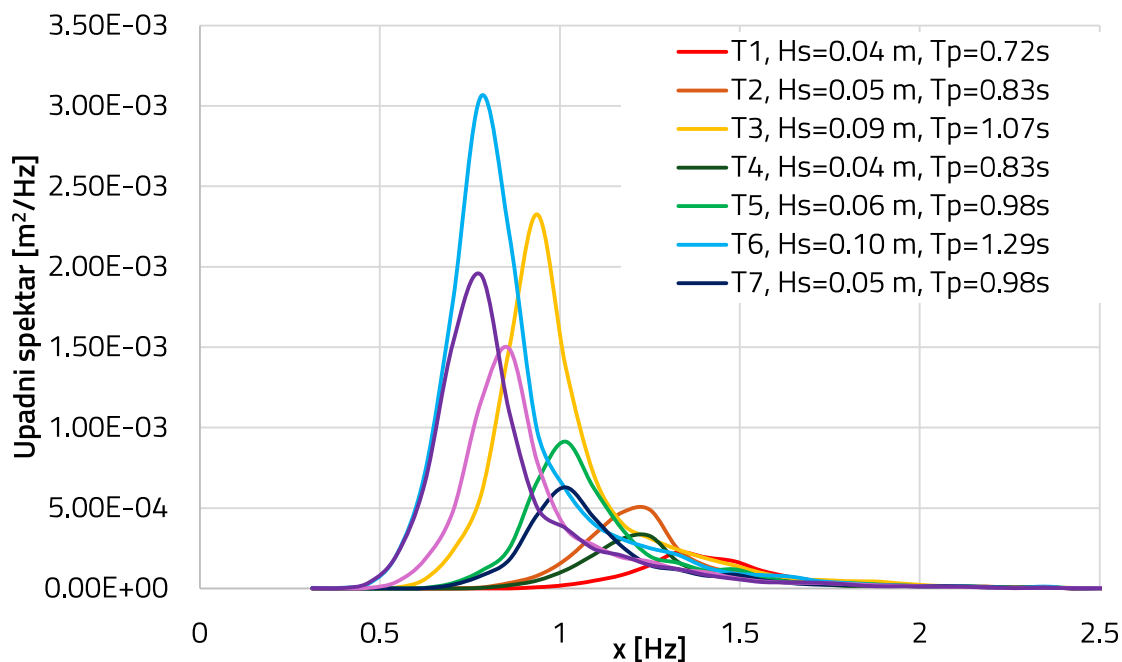
$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot H_s}{g \cdot T_{m-1,0}}}}$$

Jednadžba 7

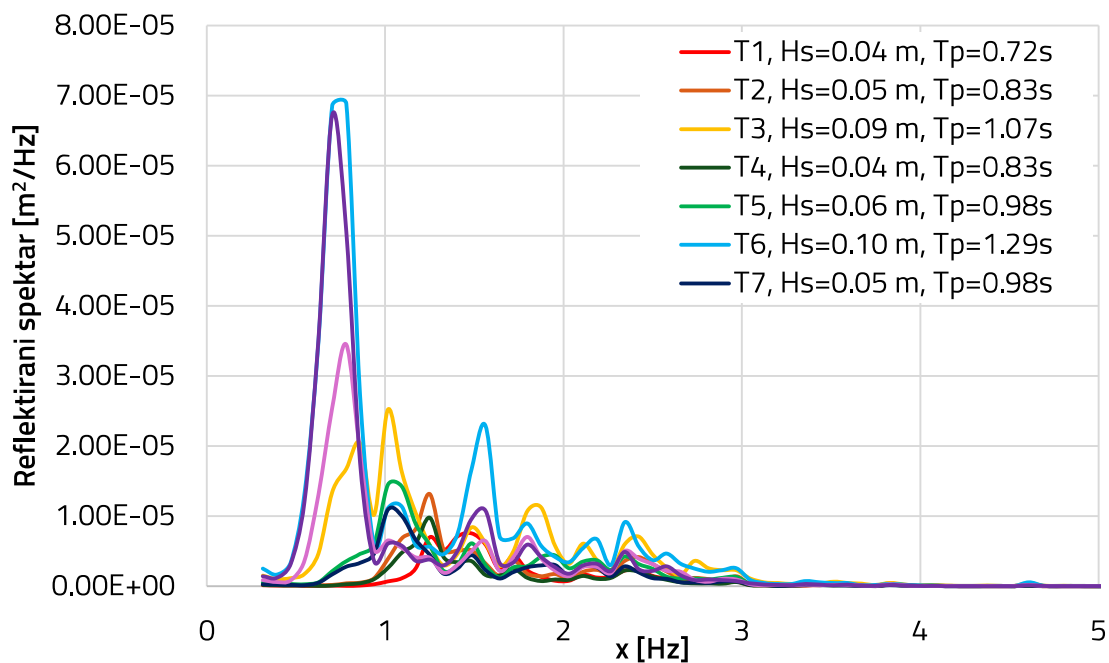
K_{rBP} [-] – Koeficijent refleksije iz prvog seta mjerenja (Bez Ploče)

Na slikama 5.1 i 5.2 prikazan je primjer spektra dolaznih i reflektiranih valova. Kao primjer su uzeti testovi 1-9 (bez ploče). Na slici 5.3 prikazan je primjer oscilacije vodnog lica na primjeru testova 1, 3, 7 i 9. Prikaz je od 80. do 100. sekunde, prema zabilježenim podacima na sondi 6. Na slici 5.4. prikazane su oscilacije vodnog lica za sondu 1 kada je bila postavljena neposredno ispred konstrukcije. Za ovaj set mjerenja udaljenost dna ploče od vodnog lica bila je 0,025 m, što zajedno s nadvišenjem čini 0,145 m, što je na prikazu označeno crnom

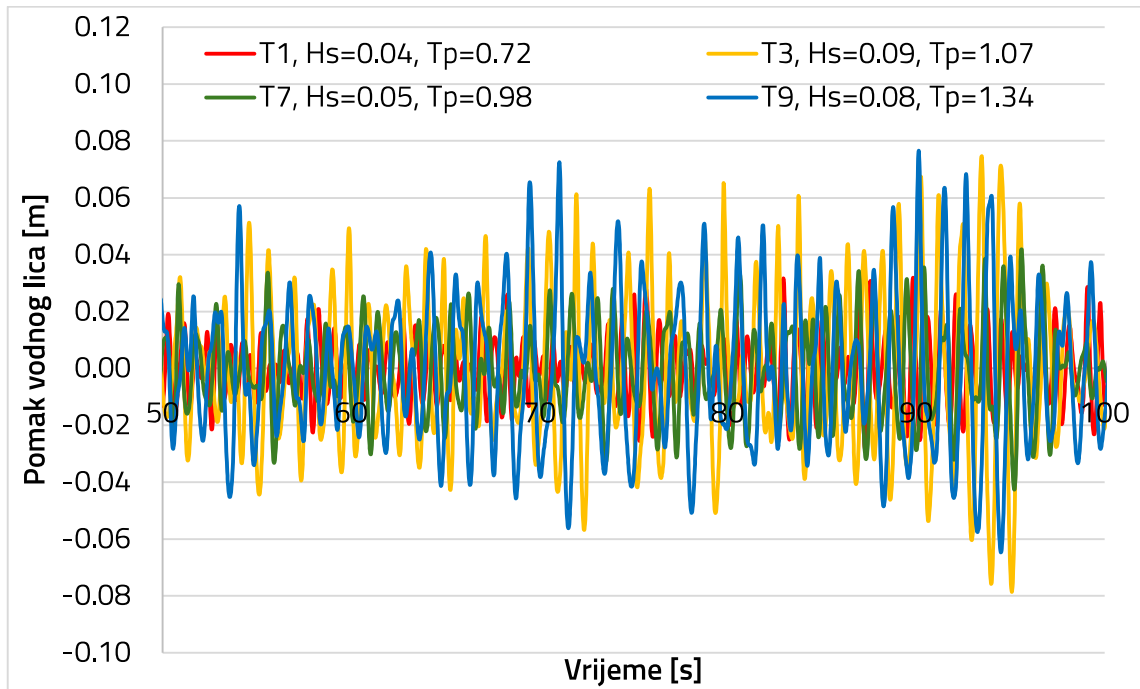
linijom. U nekoliko navrata došlo je do djelomičnog prelijevanja preko nadvišenja, ali ne dovoljno da bi značajno utjecalo na rezultate mjerenja.



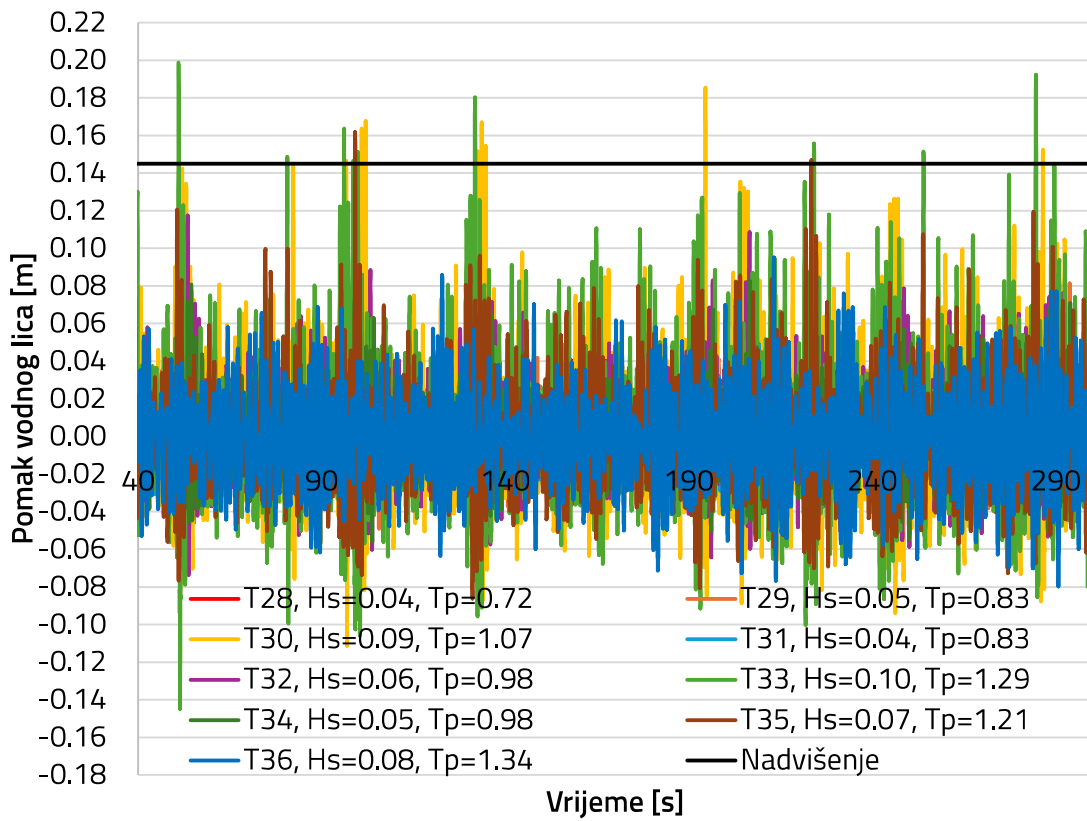
Slika 5.1: Spektar dolaznih valova za testove 1-9 (bez ploče)



Slika 5.2: Spektar reflektiranih valova za testove 1-9 (bez ploče)



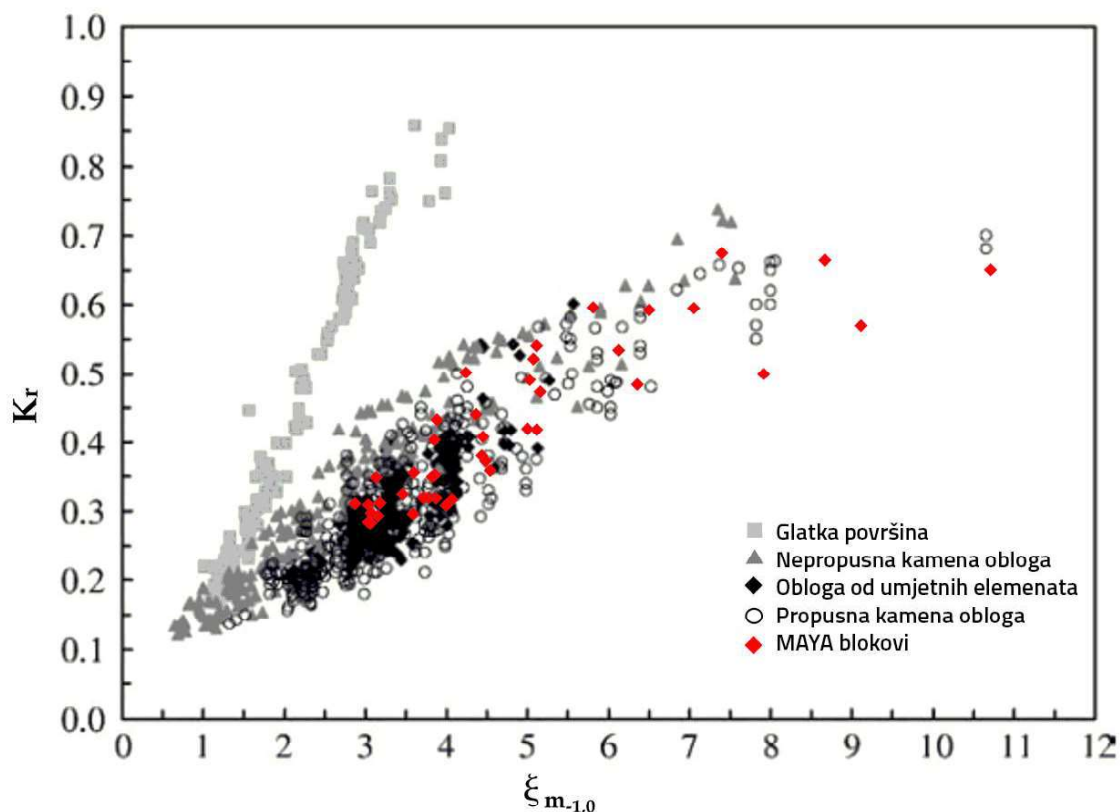
Slika 5.3: Primjer oscilacije vodnog lica



Slika 5.4: Oscilacije vodnog lica za Sondu 1, testove 28-36

5.2. Usporedba rezultata s postojećim teorijskim modelom

Na slici 5.5 prikazani su eksperimentalni podaci koje su utvrdili Zanuttigh i Van der Meer. Iz tablice na slici korišteni su podaci za propusnu kamenu oblogu.

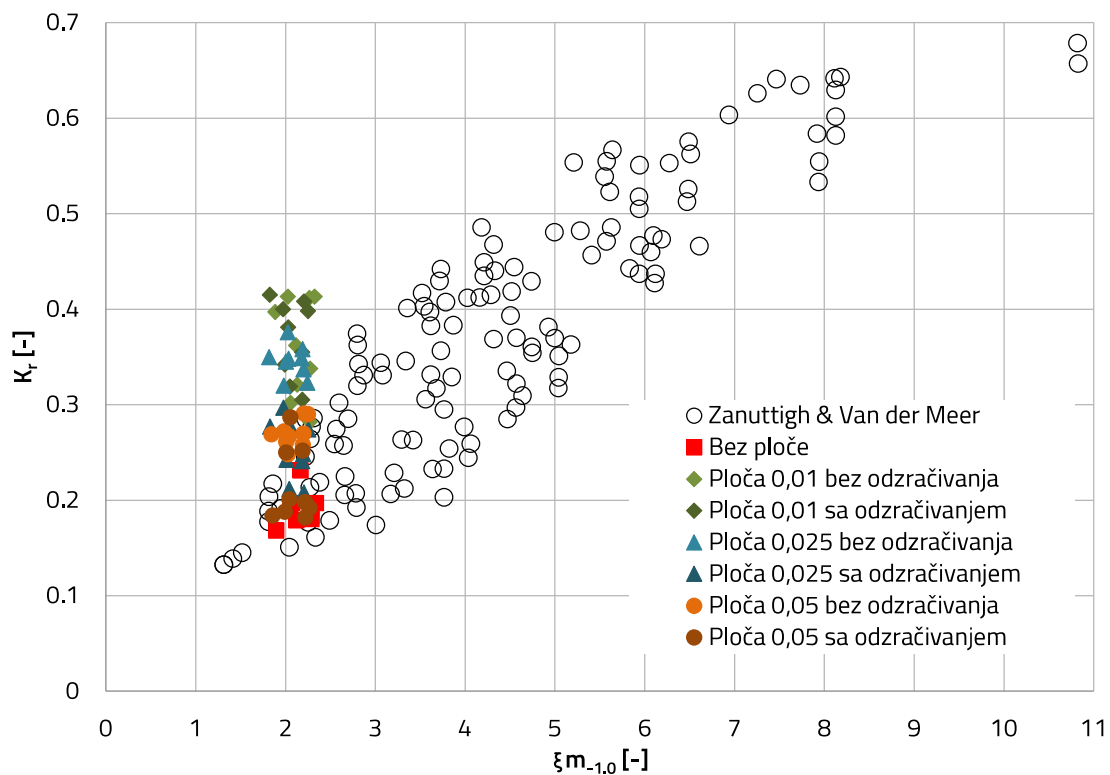


Slika 5.5: Eksperimentalni podaci uključeni u bazu podataka refleksije valova koju su utvrdili Zanuttigh i Van der Meer [9]

Na slici 5.6 prikazani su podaci iz gornjeg grafikona za propusnu kamenu oblogu te rezultati svih obavljenih mjerenja. Prikazano je kako se izmjereni rezultati uklapaju u kontekst postojećih mjerenja. U legendi je naznačena udaljenost dna ploče od vodnog lica, te dali je u mjeranju bilo omogućeno odzračivanje disipacijske komore. Vidljivo je da se rezultati mjerenja na samoj kamenoj oblozi podudaraju sa rezultatima koje su dobili Zanuttigh i Van der Meer, dok za mjerenja s pločom postoje očekivana odstupanja.

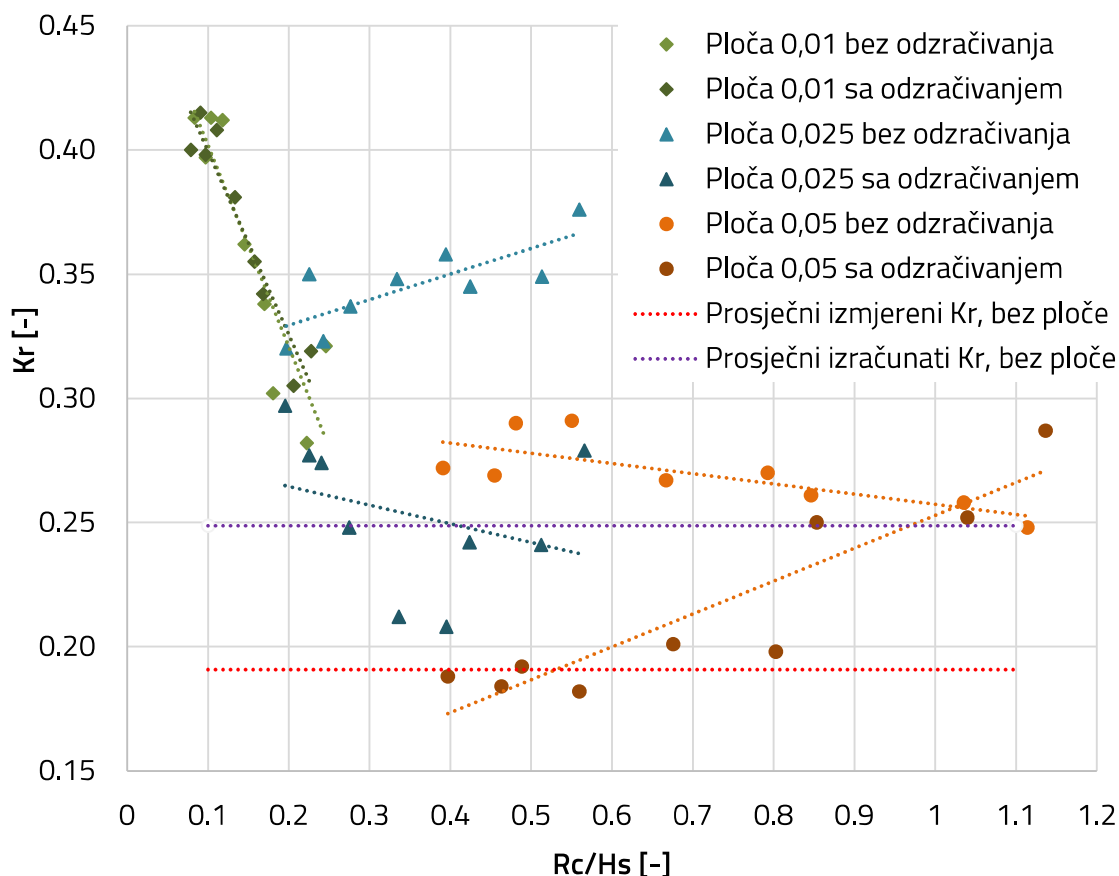
Također se može zaključiti da je utjecaj ploče manji što je ona više odmaknuta od vodnog lica, te da je koeficijent refleksije nešto manji ako je bilo omogućeno odzračivanje

disipacijske komore. Provedena mjerenja ne obuhvaćaju područje većih parametara sličnosti valova, $\xi_{m-1,0}$, te je istraživanje s takvim parametrima potrebno provesti u budućnosti.



Slika 5.6: Odnos koeficijenta refleksije i parametra sličnosti valova za propusnu kamenu barijeru

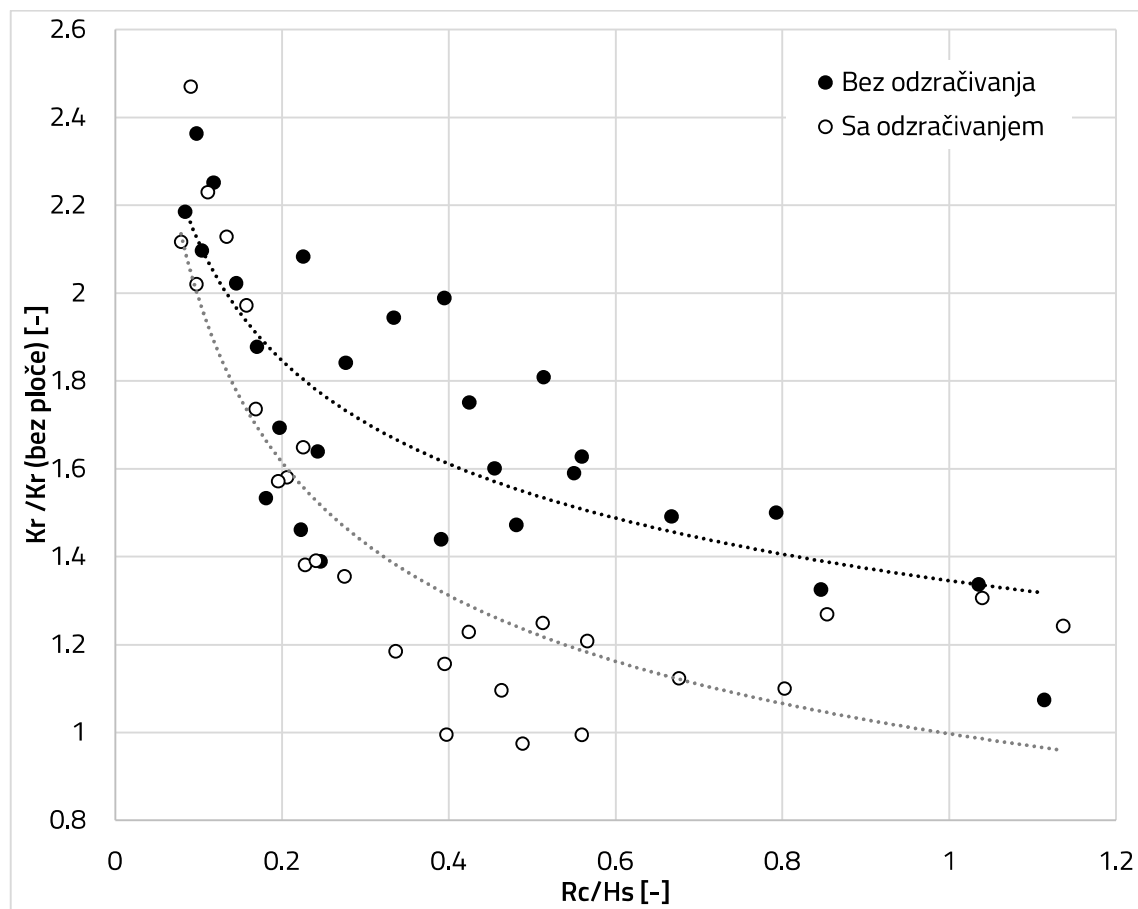
5.3. Prikaz ovisnosti koeficijenta refleksije o odabranim parametrima



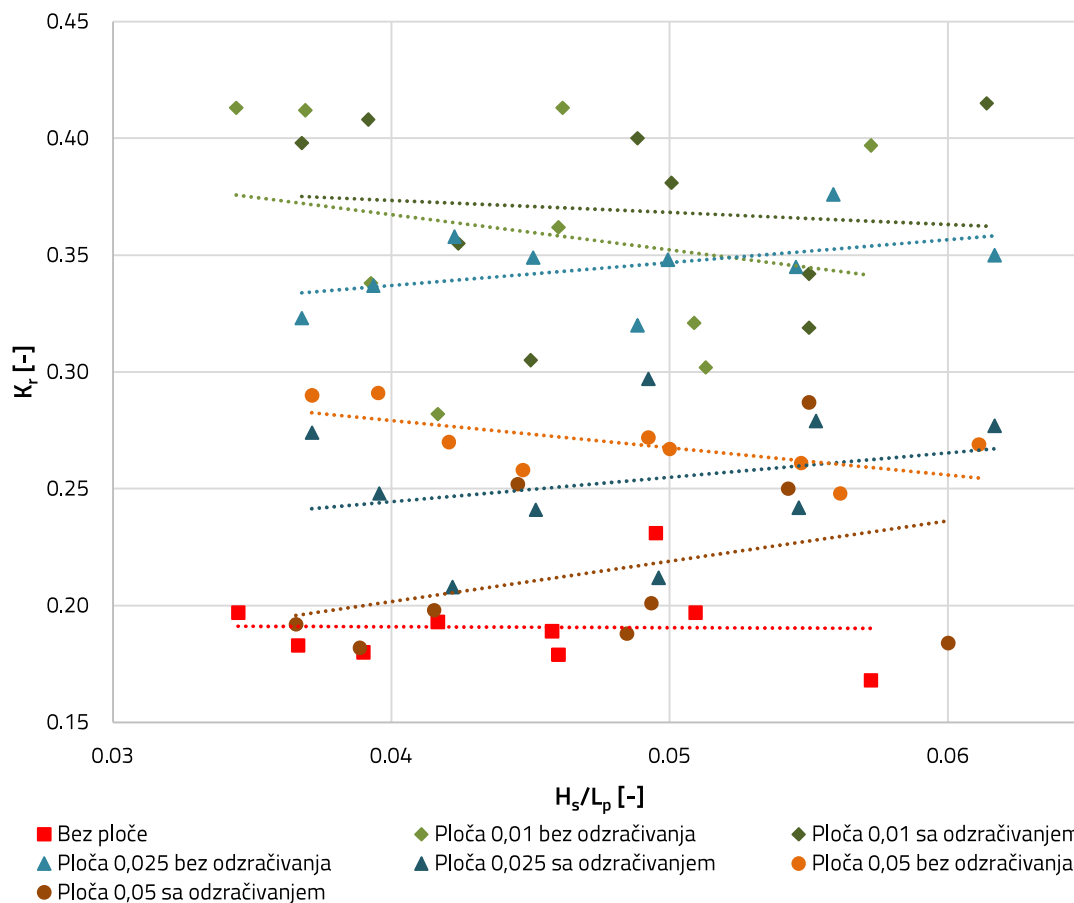
Slika 5.7: Ovisnost koeficijenta refleksije o R_c/H_s

Na slici 5.7 prikazana je ovisnost koeficijenta refleksije o omjeru R_c/H_s . Crtkanom crvenom linijom prikazan je prosječni koeficijent refleksije za set eksperimenata bez ploče, koji iznosi 0,19. U slučaju kad je dno ploče od vodnog lica udaljeno 0,01 m nema velike razlike između eksperimenata sa i bez odraživanja disipacijske komore, taj učinak se vidi tek nakon što se ploča više odmiče od vodnog lica. Kod mjerenja gdje je R_c 0,025 koeficijent refleksije raste smanjenjem značajne valne visine ako nije dozvoljeno odraživanje disipacijske komore, rezultati kod mjerenja sa dozvoljenim odraživanjem došlo je do prevelikog rasipa podataka. Kada je R_c 0,05 i nije dozvoljeno odraživanje, K_r opada snižavanjem H_s , dok je kod situacije s dozvoljenim odraživanjem situacija obrnuta. Iz ovog prikaza ne može se doći do konkretnog zaključka osim da postoji očigledni učinak razmaka između dna ploče i vodnog lica i mogućnosti odraživanja disipacijske komore. Iz tog razloga je na slici 5.8 na ordinati umjesto samog koeficijenta refleksije prikazan omjer Koeficijenta refleksije pojedinog

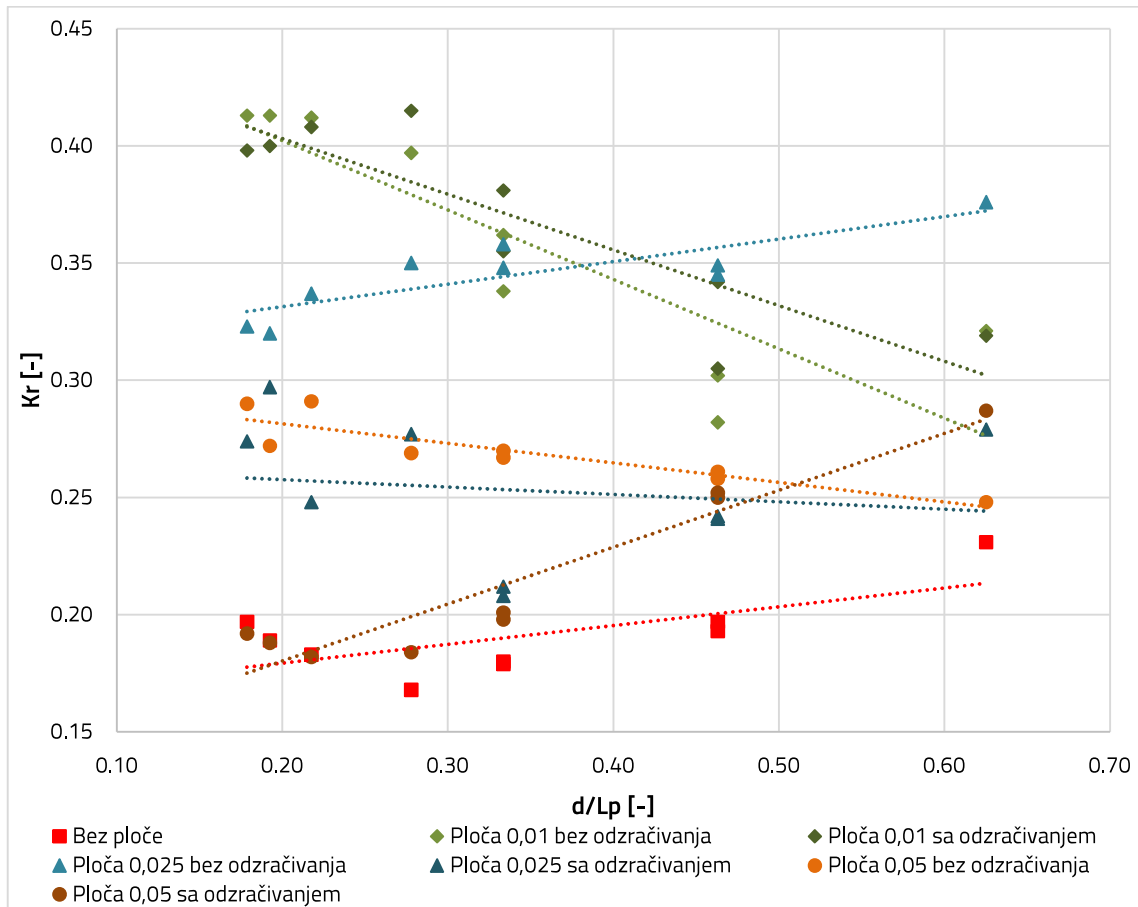
mjerenja i koeficijenta refleksije kod mjerenja bez ploče. Na ovakvom prikazu jasnije je vidljiv učinak mogućnosti odzračivanja disipacijske komore, odnosno vidljivo je da je koeficijent refleksije veći ako nije dozvoljeno odzračivanje. Također, jasno je vidljivo da odmicanjem ploče koeficijent refleksije teži koeficijentu refleksije koji je dobiven mjerenjima bez ploče, odnosno omjer K_r/K_{rBP} teži jedinici. Postoje neke vrijednosti manje od 1, što se može pripisati utjecaju greške pri laboratorijskom mjerenju.

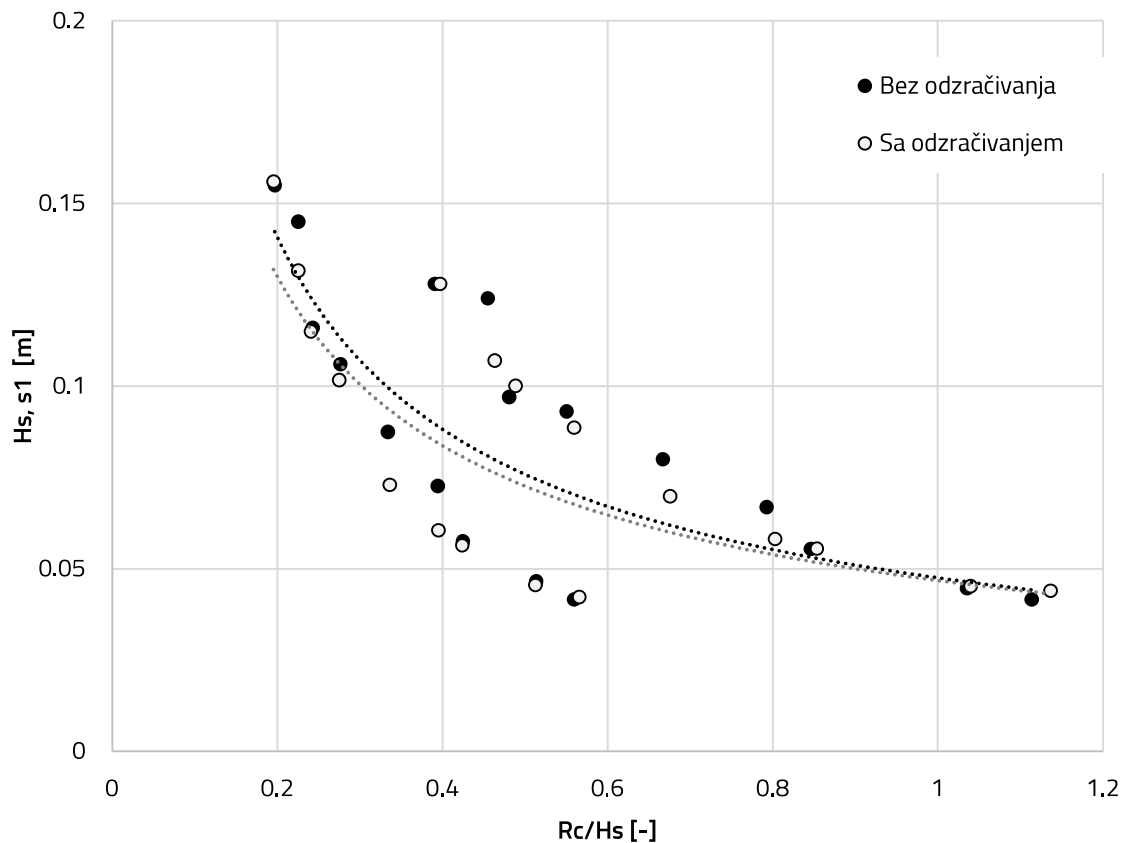


Slika 5.8: Ovisnost K_r/K_r (bez ploče) o R_c/H_s

Slika 5.9: Ovisnost K_r o H_s/L_p

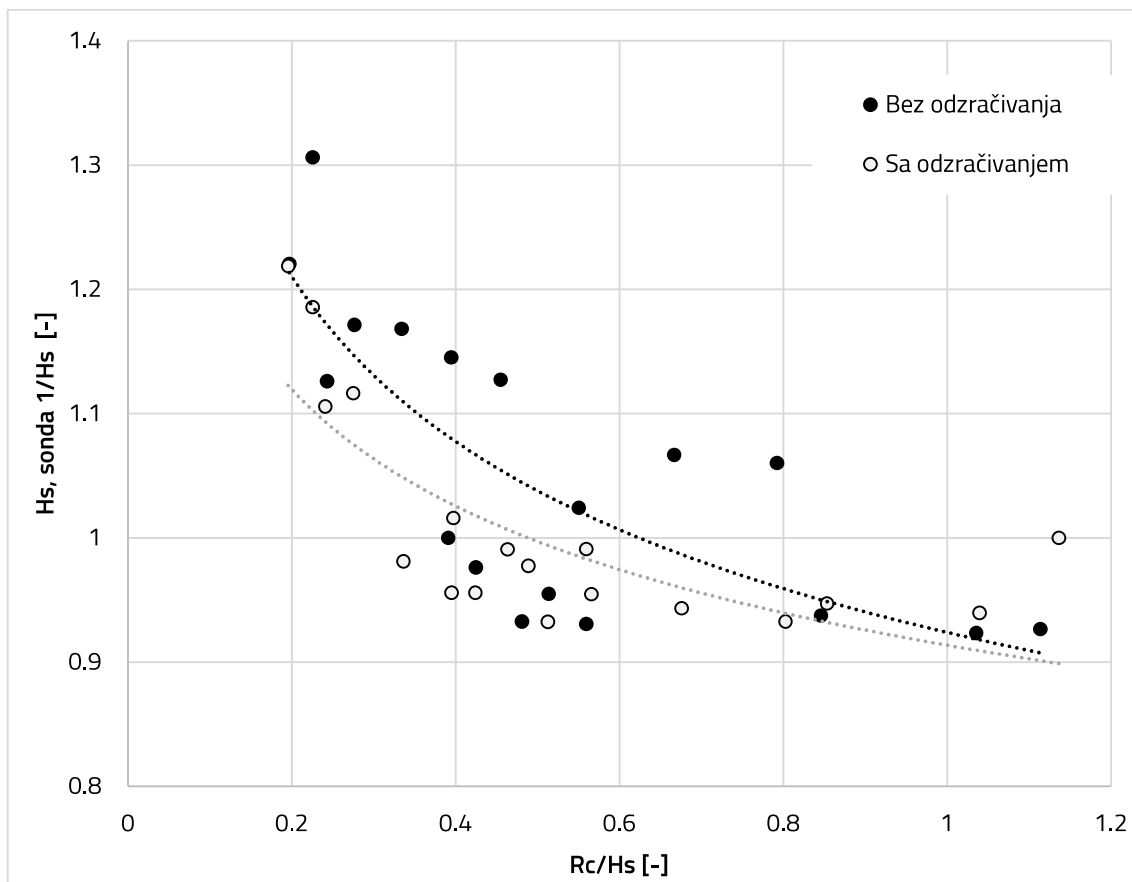
Na slici 5.9 prikazan je odnos između koeficijenta refleksije i strmosti vala. Kod mjerenja bez ploče koeficijent refleksije gotovo da i ne ovisi o strmosti vala. Kod mjerenja kada je razmak dna ploče od vodnog lica 0,01 došlo je do prevelikog rasipa podataka da bi se moglo nešto zaključiti osim da nema prevelikog utjecaja odzračivanja disipacijske komore. Kod mjerenja kada nije dozvoljeno odzračivanje disipacijske komore kod R_c 0,025 vidi se blagi trend rasta koeficijenta refleksije s porastom strmosti vala, dok kod mjerenja kad je R_c 0,05 postoji blagi trend opadanja koeficijenta refleksije kada strmost vala raste. Kod mjerenja sa dozvoljenim odzračivanjem rasip podataka je prevelik. Na slici 5.10 prikazana je korelacija koeficijenta refleksije i omjera d/L_p . U ovom slučaju dubina je konstantna i iznosi 0,5 m. Kod mjerenja bez ploče, nema prevelike ovisnosti koeficijenta refleksije o omjeru d/L_p . Ni u ovom slučaju kod mjerenja kad je R_c 0,01 nema velikog utjecaja odzračivanja, a koeficijent refleksije pada smanjenjem duljine vala. Kada se ploča odmakne od vodnog lica za 0,025, odnosno 0,05 m pojavljuje se i značajniji utjecaj odzračivanja.

Slika 5.10: Ovisnost K_r o d/L_p

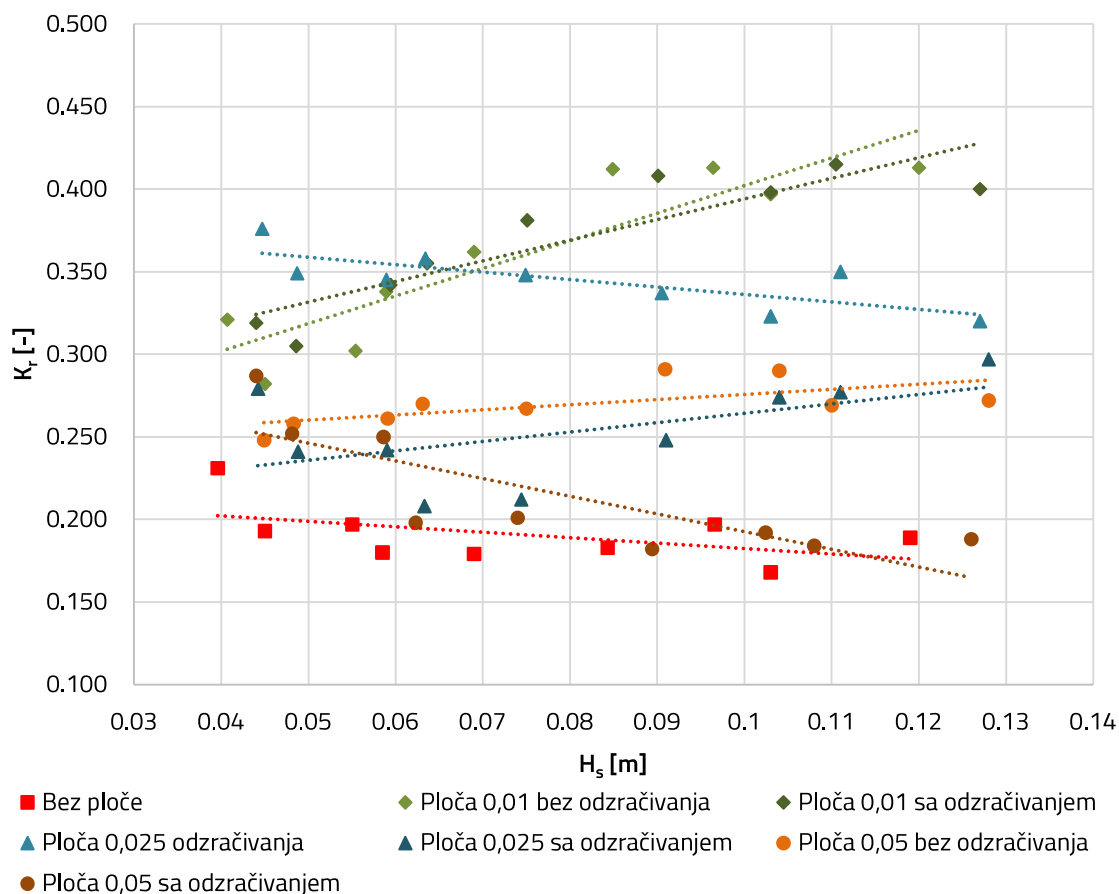


Slika 5.11: Ovisnost H_s na sondi 1 o R_c/H_s

Na slici 5.11 prikazana je ovisnost značajne valne visine na sondi 1, $H_{s,s1}$, koja je izmjerena kako bi ukazala na moguće prelijevanje, o omjeru udaljenosti dna ploče od vodnog lica R_c i značajne valne visine H_s . Značajna valna visina na sondi 1 se smanjuje odmicanjem ploče od vodnog lica. Odzračivanje disipacijske komore nema značajan utjecaj na prelijevanje. Isto je vidljivo in a slici 5.12 koja prikazuje ovisnost omjera značajne valne visine na sondi 1, $H_{s,s1}$ i značajne valne visine H_s o omjeru udaljenosti dna ploče od vodnog lica R_c i značajne valne visine H_s .

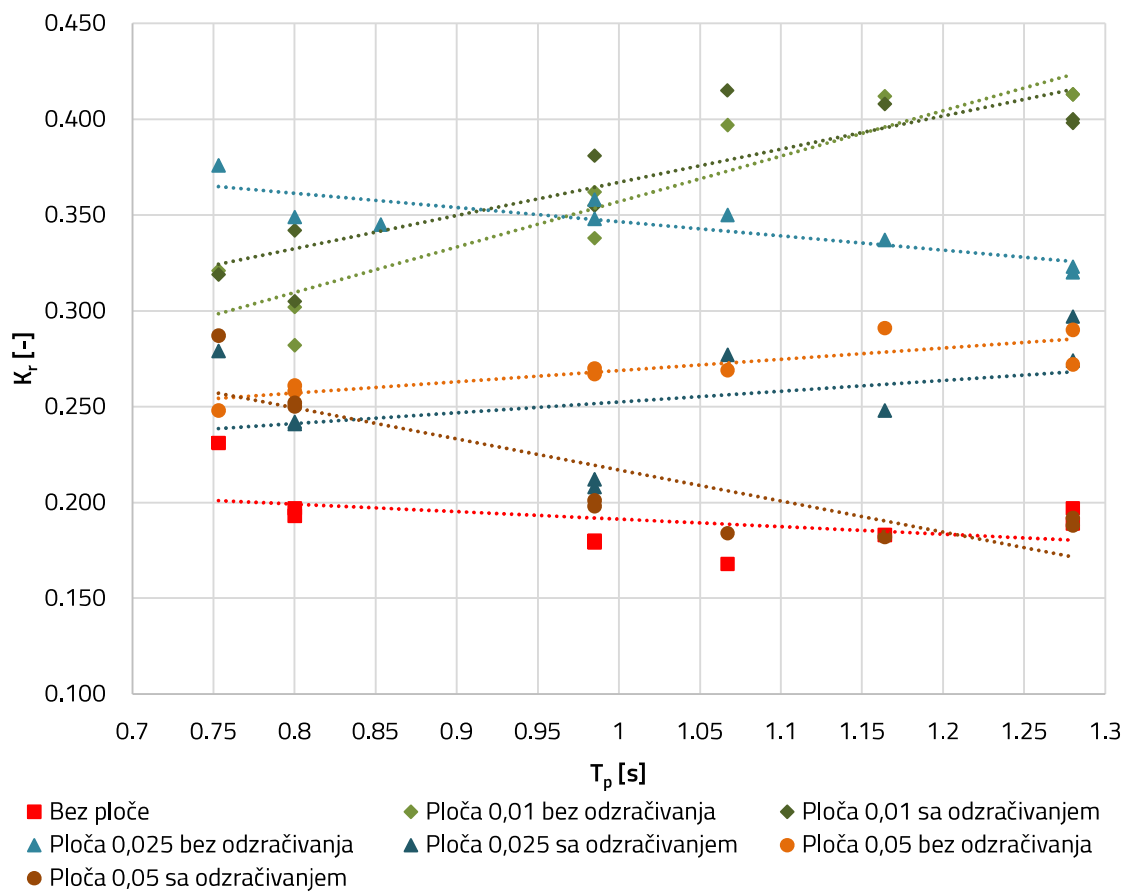


Slika 5.12 Ovisnost Hs Sonda 1/Hs o Rc/Hs



Slika 5.13: Ovisnost koeficijenta refleksije o značajnoj valnoj visini

Na slici 5.13 prikazana je ovisnost koeficijenta refleksije o izmjerenoj značajnoj valnoj visini, a na slici 5.14 ovisnost koeficijenta refleksije o izmjerenom vršnom periodu. I u ovim prikazima vidljivo je da koeficijent refleksije uvelike ovisi o udaljenosti dna ploče od vodnog lica R_c , pri čemu koeficijent refleksije raste smanjivanjem udaljenosti, odnosno odnos e obrnuto proporcionalan. Mogućnost odzračivanja disipacijske komore pozitivno utječe na koeficijent refleksije, odnosno smanjuje ga, te je utjecaj mogućnosti odzračivanja veći s većom udaljenost R_c . Iz prikazanih dijagrama nije vidljiva znatna ovisnost koeficijenta refleksije o značajnoj valnoj visini i vršnom periodu.



Slika 5.14: Ovisnost koeficijenta refleksije o vršnom periodu

6. ZAKLJUČAK

Istraživanje provedeno u ovom radu omogućilo je uvid u faktore koji utječu na koeficijent refleksije obalnih konstrukcija, s naglaskom na specijalne konstrukcije prilagođene za ublažavanje refleksije valova. Glavni cilj rada bio je ispitati kako različite konfiguracije i dizajn konstrukcije, uključujući promjenjive parametre valova utječu na koeficijent refleksije.

Kroz laboratorijska mjerenja u valnom kanalu pomoću aplikacija *WaveSynthesizer* i *MIKE Zero* zabilježene su i analizirane vrijednosti koeficijenta refleksije u različitim uvjetima. Rezultati su pokazali da se postavljanjem ploče iznad kose obale sa propusnom kamenom oblogom i formiranjem disipacijske komore povećava se koeficijent refleksije u odnosu na slučaj kada ploče nema. Također dokazano je da se odmicanjem ploče od vodnog lica koeficijent refleksije smanjuje te da u nekim slučajevima mogućnost odzračivanja disipacijske komore dosta pozitivno utječe na smanjenje koeficijenta refleksije.

Usporedbom rezultata s postojećim teorijskim modelima dokazano je da se izmjereni podaci poklapaju sa rezultatima postojećih mjerenja obavljenim u drugim laboratorijima.

Provedeni eksperimenti odlično su pokazali utjecaj udaljenosti ploče od vodnog lica i utjecaj mogućnosti odzračivanja, ali da bi se bolje vidio utjecaj valne visine i perioda treba napraviti još pokusa sa više različitih valnih spektara, odnosno sa većim i duljim valovima kako bi se ispitalo područje većeg parametra sličnosti valova.

Još jedna stvar koja u ovim mjerenjima nije napravljena na modelu, a projektira se kod ovakvih konstrukcija je to da je čelo ploče na koje nailazi val uronjeno u vodu zbog funkcionalnih razloga te postoji sumnja da taj uronjeni dio ima neki utjecaj na koeficijent refleksije koji bi trebalo provjeriti.

Također, s obzirom da u provedenim eksperimentima nije došlo do značajnog prelijevanja, kako bi se prikazao njegov učinak bilo bi dobro napraviti mjerenja sa prelijevanjem.

POPIS LITERATURE

- [1] Pršić M, Carević D. Pomorske građevine WEB skripta, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet; 2023
- [2] Goda Y. Random Seas and Design of Maritime Structures. Tokyo: University of Tokyo Press; 2000.
- [3] Kuspilić N., Ocvirk E. Hidrotehničke građevine, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet; 2017
- [4] EurOtop. Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. 2nd Edition, 2018
- [5] Pratola L, Rinaldi A, Molfetta MG, Bruno MF, Pasquali D, Dentale F, Mossa M. Investigation on the Reflection Coefficient for Seawalls Protected by a Rubble Mound Structure. J. Mar. Sci. Eng., 9, 937; 2021.
- [6] Y. Goda and Y. Suzuki, "Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments," Proc. 15th Int. Conf. Coastal Engrg. (Hawaii, 1976), pp. 828-845.
- [Y] Carević D., Pršić M., Carević I., Perforirani vertikalni zid kao obalna konstrukcija GRAĐEVINAR **63** (2011) 6, 555-562
- [8] Carević D. Hidraulička interakcija valoloma i perforiranog valobrana [disertacija]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet; 2009.
- [9] Zanuttigh B, van der Meer JW. Wave reflection from coastal structures in design conditions. Coastal Engineering, 55, 771–779; 2008.

POPIS SLIKA

Slika 3.1 Primjer profila idealnog vala [1]	3
Slika 3.2: Koeficijent refleksije kao funkcija vršnog perioda T_p , parametra sličnosti valova $\xi_{m_{1,0}}$, strmosti vala H/L i omjeru d/L [5].....	6
Slika 3.3: Obloga od MAYA blokova [5].....	7
Slika 3.4: Smjer reflektiranog vala [2].....	8
Slika 3.5: Prostorna varijacija valnih visina [6]	9
Slika 3.6: Karakteristični poprečni presjek obalne konstrukcije niske refleksije na pilotima	12
Slika 3.7: Karakteristični poprečni presjek obalne konstrukcije niske refleksije na utvrdicama	13
Slika 4.1: Tlocrt i uzdužni presjek valnog kanala	14
Slika 4.2: Pokretački sustav (motor i ploča generatora).....	15
Slika 4.3: Priključak na izvor električne energije.....	16
Slika 4.4: Digitalni servo kontroler	16
Slika 4.5: Upravljačka jedinica	17
Slika 4.6: Prikaz pozicija sonde i modela	18
Slika 4.7: Prikaz detalja ploče	18
Slika 4.8: Grupa kapacitivnih sonde	19
Slika 4.9: Model konstrukcije.....	19
Slika 4.10: Osnovno sučelje aplikacije <i>WaveSynthesizer</i>	21
Slika 4.11: <i>Filter cabinet</i>	22
Slika 4.12: Pojačalo	22
Slika 4.13: Prozor <i>Wave properties</i>	22
Slika 4.14: Primjer snimljenog valnog signala	23
Slika 4.15: Primjer sučelja aplikacije <i>Mike Zero</i>	24
Slika 5.1: Spektar dolaznih valova za testove 1-9 (bez ploče).....	27
Slika 5.2: Spektar reflektiranih valova za testove 1-9 (bez ploče)	27
Slika 5.3: Primjer oscilacije vodnog lica	28
Slika 5.4: Oscilacije vodnog lica za Sondu 1, testove 28-36	28
Slika 5.5: Eksperimentalni podaci uključeni u bazu podataka refleksije valova koju su utvrdili Zanuttigh i Van der Meer [9]	29
Slika 5.6: Odnos koeficijenta refleksije i parametra sličnosti valova za propusnu kamenu barijeru	30
Slika 5.7: Ovisnost koeficijenta refleksije o R_c/H_s	31

Slika 5.8: Ovisnost K_r/K_r (bez ploče) o R_c/H_s	32
Slika 5.9: Ovisnost K_r o H_s/L_p	33
Slika 5.10: Ovisnost K_r o d/L_p	34
Slika 5.11: Ovisnost H_s na sondi 1 o R_c/H_s	35
Slika 5.12 Ovisnost H_s Sonda 1/ H_s o R_c/H_s	36
Slika 5.13: Ovisnost koeficijenta refleksije o značajnoj valnoj visini.....	37
Slika 5.14: Ovisnost koeficijenta refleksije o vršnom periodu.....	38

POPIS TABLICA

Tablica 3.1: Približne vrijednosti koeficijenta refleksije [2].....	10
Tablica 4.1: Valni parametri korišteni za ispitivanje koeficijenta refleksije za nepravilne (spektralne) valove	20
Tablica 5.1: Nepravilni (spektralni) valovi u laboratorijskom mjerilu - kamena obloga + ploča udaljena 0,025 m od vodnog lica sa spriječenim odzračivanjem disipacijske komore	25

PRILOG A

Tablica A: Nepravilni (spektralni) valovi u laboratorijskom mjerilu - samo kamena obloga

Broj testa	H_s [m] - Zadani	T_p [s] - Zadani	L_p [m]	H_s/L_p [-]	d/L_p [-]	R_c [m]
Test 1	0,04	0,72	0,80	0,05	0,63	bez
Test 2	0,05	0,83	1,08	0,05	0,46	bez
Test 3	0,09	1,07	1,80	0,05	0,28	bez
Test 4	0,04	0,83	1,08	0,04	0,46	bez
Test 5	0,06	0,98	1,50	0,04	0,33	bez
Test 6	0,10	1,29	2,60	0,04	0,19	bez
Test 7	0,05	0,98	1,50	0,03	0,33	bez
Test 8	0,07	1,21	2,30	0,03	0,22	bez
Test 9	0,08	1,34	2,80	0,03	0,18	bez
H_s [m] - Izmjereni	T_p [s] - Izmjereni	$T_{m-1,0}$ [s]	K_r [-]	$\xi_{m-1,0}$ [-]		
0,04	0,75	0,69	0,23	2,16		
0,06	0,80	0,78	0,20	2,07		
0,10	1,07	0,97	0,17	1,90		
0,05	0,80	0,77	0,19	2,27		
0,07	0,99	0,89	0,18	2,12		
0,12	1,28	1,13	0,19	2,05		
0,06	0,99	0,89	0,18	2,29		
0,08	1,16	1,06	0,18	2,29		
0,10	1,28	1,16	0,20	2,34		

PRILOG B

Tablica B: Nepravilni (spektralni) valovi u laboratorijskom mjerilu - kamena obloga + ploča udaljena 0,01 m od vodnog lica sa spriječenim odzračivanjem disipacijske komore

Broj testa	H_s [m] - Zadani	T_p [s] - Zadani	L_p [m]	H_s/L_p [-]	d/L_p [-]	R_c [m]
Test 10	0,04	0,72	0,80	0,05	0,63	0,01
Test 11	0,05	0,83	1,08	0,05	0,46	0,01
Test 12	0,09	1,07	1,80	0,05	0,28	0,01
Test 13	0,04	0,83	1,08	0,04	0,46	0,01
Test 14	0,06	0,98	1,50	0,04	0,33	0,01
Test 15	0,10	1,29	2,60	0,04	0,19	0,01
Test 16	0,05	0,98	1,50	0,03	0,33	0,01
Test 17	0,07	1,21	2,30	0,03	0,22	0,01
Test 18	0,08	1,34	2,80	0,03	0,18	0,01
H_s [m] - Izmjereni	T_p [s] - Izmjereni	$T_{m-1,0}$ [s]	K_r [-]	$\xi_{m-1,0}$ [-]	R_c/H_s	K_r/K_{rBP}
0,04	0,75	0,69	0,32	2,13	0,25	1,39
0,06	0,80	0,77	0,30	2,05	0,18	1,53
0,10	1,07	0,97	0,40	1,88	0,10	2,36
0,05	0,80	0,77	0,28	2,27	0,22	1,46
0,07	0,99	0,89	0,36	2,11	0,14	2,02
0,12	1,28	1,12	0,41	2,02	0,08	2,19
0,06	0,99	0,88	0,34	2,27	0,17	1,88
0,08	1,16	1,06	0,41	2,27	0,12	2,25
0,10	1,28	1,15	0,41	2,32	0,10	2,10

PRILOG C

Tablica C: Nepravilni (spektralni) valovi u laboratorijskom mjerilu - kamena obloga + ploča udaljena 0,01 m od vodnog lica sa dozvoljenim odzračivanjem disipacijske komore

Broj testa	H_s [m] - Zadani	T_p [s] - Zadani	L_p [m]	H_s/L_p [-]	d/L_p [-]	R_c [m]
Test 19	0,04	0,72	0,80	0,05	0,63	0,01
Test 20	0,05	0,83	1,08	0,05	0,46	0,01
Test 21	0,09	1,07	1,80	0,05	0,28	0,01
Test 22	0,04	0,83	1,08	0,04	0,46	0,01
Test 23	0,06	0,98	1,50	0,04	0,33	0,01
Test 24	0,10	1,29	2,60	0,04	0,19	0,01
Test 25	0,05	0,98	1,50	0,03	0,33	0,01
Test 26	0,07	1,21	2,30	0,03	0,22	0,01
Test 27	0,08	1,34	2,80	0,03	0,18	0,01
H_s [m] - Izmjereni	T_p [s] - Izmjereni	$T_{m-1,0}$ [s]	K_r [-]	$\xi_{m-1,0}$ [-]	R_c/H_s	K_r/K_{rBP}
0,04	0,75	0,69	0,32	2,05	0,23	1,38
0,06	0,80	0,78	0,34	1,99	0,17	1,74
0,11	1,07	0,97	0,42	1,82	0,09	2,47
0,05	0,80	0,77	0,31	2,18	0,21	1,58
0,08	0,99	0,89	0,38	2,03	0,13	2,13
0,13	1,28	1,12	0,40	1,97	0,08	2,12
0,06	0,99	0,88	0,36	2,19	0,16	1,97
0,09	1,16	1,06	0,41	2,20	0,11	2,23
0,10	1,28	1,16	0,40	2,25	0,10	2,02

PRILOG D

Tablica D: Nepravilni (spektralni) valovi u laboratorijskom mjerilu - kamena obloga + ploča udaljena 0,025 m od vodnog lica sa spriječenim odraživanjem disipacijske komore

Broj testa	H_s [m] - Zadani	T_p [s] - Zadani	L_p [m]	H_s/L_p [-]	d/L_p [-]	R_c [m]	
Test 28	0,04	0,72	0,80	0,05	0,63	0,025	
Test 29	0,05	0,83	1,08	0,05	0,46	0,025	
Test 30	0,09	1,07	1,80	0,05	0,28	0,025	
Test 31	0,04	0,83	1,08	0,04	0,46	0,025	
Test 32	0,06	0,98	1,50	0,04	0,33	0,025	
Test 33	0,10	1,29	2,60	0,04	0,19	0,025	
Test 34	0,05	0,98	1,50	0,03	0,33	0,025	
Test 35	0,07	1,21	2,30	0,03	0,22	0,025	
Test 36	0,08	1,34	2,80	0,03	0,18	0,025	
H_s [m] - Izmjereni	H_s [m] - Sonda 1	T_p [s] - Izmjereni	$T_{m-1,0}$ [s]	K_r [-]	$\xi_{m-1,0}$ [-]	R_c/H_s	K_r/K_{rBP}
0,04	0,04	0,75	0,69	0,38	2,02	0,56	1,63
0,06	0,06	0,85	0,78	0,35	2,00	0,42	1,75
0,11	0,15	1,07	0,97	0,35	1,82	0,23	2,08
0,05	0,05	0,80	0,77	0,35	2,18	0,51	1,81
0,07	0,09	0,99	0,89	0,35	2,03	0,33	1,94
0,13	0,16	1,28	1,13	0,32	1,98	0,20	1,69
0,06	0,07	0,99	0,88	0,36	2,19	0,39	1,99
0,09	0,11	1,16	1,06	0,34	2,20	0,28	1,84
0,10	0,12	1,28	1,15	0,32	2,24	0,24	1,64

PRILOG E

Tablica E: Nepravilni (spektralni) valovi u laboratorijskom mjerilu - kamena obloga + ploča udaljena 0,025 m od vodnog lica sa dozvoljenim odzračivanjem disipacijske komore

Broj testa	H_s [m] - Zadani	T_p [s] - Zadani	L_p [m]	H_s/L_p [-]	d/L_p [-]	R_c [m]	
Test 37	0,04	0,72	0,80	0,05	0,63	0,025	
Test 38	0,05	0,83	1,08	0,05	0,46	0,025	
Test 39	0,09	1,07	1,80	0,05	0,28	0,025	
Test 40	0,04	0,83	1,08	0,04	0,46	0,025	
Test 41	0,06	0,98	1,50	0,04	0,33	0,025	
Test 42	0,10	1,29	2,60	0,04	0,19	0,025	
Test 43	0,05	0,98	1,50	0,03	0,33	0,025	
Test 44	0,07	1,21	2,30	0,03	0,22	0,025	
Test 45	0,08	1,34	2,80	0,03	0,18	0,025	
H_s [m] - Izmjereni	H_s [m] - Sonda 1	T_p [s] - Izmjereni	$T_{m-1,0}$ [s]	K_r [-]	$\xi_{m-1,0}$ [-]	R_c/H_s	K_r/K_{rBP}
0,04	0,04	0,75	0,69	0,28	2,04	0,57	1,21
0,06	0,06	0,80	0,78	0,24	2,01	0,42	1,23
0,11	0,13	1,07	0,97	0,28	1,83	0,23	1,65
0,05	0,05	0,80	0,77	0,24	2,18	0,51	1,25
0,07	0,07	0,99	0,89	0,21	2,04	0,34	1,18
0,13	0,16	1,28	1,13	0,30	1,97	0,20	1,57
0,06	0,06	0,99	0,89	0,21	2,20	0,39	1,16
0,09	0,10	1,16	1,06	0,25	2,20	0,27	1,36
0,10	0,12	1,28	1,16	0,27	2,25	0,24	1,39

PRILOG F

Tablica F: Nepravilni (spektralni) valovi u laboratorijskom mjerilu - kamena obloga + ploča udaljena 0,05 m od vodnog lica sa spriječenim odzračivanjem disipacijske komore

Broj testa	H_s [m] - Zadani	T_p [s] - Zadani	L_p [m]	H_s/L_p [-]	d/L_p [-]	R_c [m]	
Test 46	0,04	0,72	0,80	0,05	0,63	0,05	
Test 47	0,05	0,83	1,08	0,05	0,46	0,05	
Test 48	0,09	1,07	1,80	0,05	0,28	0,05	
Test 49	0,04	0,83	1,08	0,04	0,46	0,05	
Test 50	0,06	0,98	1,50	0,04	0,33	0,05	
Test 51	0,10	1,29	2,60	0,04	0,19	0,05	
Test 52	0,05	0,98	1,50	0,03	0,33	0,05	
Test 53	0,07	1,21	2,30	0,03	0,22	0,05	
Test 54	0,08	1,34	2,80	0,03	0,18	0,05	
H_s [m] - Izmjereni	H_s [m] - Sonda 1	T_p [s] - Izmjereni	$T_{m-1,0}$ [s]	K_r [-]	$\xi_{m-1,0}$ [-]	R_c/H_s	K_r/K_{rBP}
0,04	0,04	0,75	0,69	0,25	2,03	1,11	1,07
0,06	0,06	0,80	0,78	0,26	2,00	0,85	1,32
0,11	0,12	1,07	0,98	0,27	1,84	0,45	1,60
0,05	0,04	0,80	0,77	0,26	2,19	1,04	1,34
0,08	0,08	0,99	0,89	0,27	2,04	0,67	1,49
0,13	0,13	1,28	1,14	0,27	1,98	0,39	1,44
0,06	0,07	0,99	0,88	0,27	2,20	0,79	1,50
0,09	0,09	1,16	1,06	0,29	2,20	0,55	1,59
0,10	0,10	1,28	1,16	0,29	2,25	0,48	1,47

PRILOG G

Tablica G: Nepravilni (spektralni) valovi u laboratorijskom mjerilu - kamena obloga + ploča udaljena 0,05 m od vodnog lica sa dozvoljenim odzračivanjem disipacijske komore

Broj testa	H_s [m] - Zadani	T_p [s] - Zadani	L_p [m]	H_s/L_p [-]	d/L_p [-]	R_c [m]	
Test 55	0,04	0,72	0,80	0,05	0,63	0,05	
Test 56	0,05	0,83	1,08	0,05	0,46	0,05	
Test 57	0,09	1,07	1,80	0,05	0,28	0,05	
Test 58	0,04	0,83	1,08	0,04	0,46	0,05	
Test 59	0,06	0,98	1,50	0,04	0,33	0,05	
Test 60	0,10	1,29	2,60	0,04	0,19	0,05	
Test 61	0,05	0,98	1,50	0,03	0,33	0,05	
Test 62	0,07	1,21	2,30	0,03	0,22	0,05	
Test 63	0,08	1,34	2,80	0,03	0,18	0,05	
H_s [m] - Izmjereni	H_s [m] - Sonda 1	T_p [s] - Izmjereni	$T_{m-1,0}$ [s]	K_r [-]	$\xi_{m-1,0}$ [-]	R_c/H_s	K_r/K_{rBP}
0,04	0,04	0,75	0,69	0,29	2,05	1,14	1,24
0,06	0,06	0,80	0,78	0,25	2,01	0,85	1,27
0,11	0,11	1,07	0,97	0,18	1,85	0,46	1,10
0,05	0,05	0,80	0,77	0,25	2,19	1,04	1,31
0,07	0,07	0,99	0,89	0,20	2,04	0,68	1,12
0,13	0,13	1,28	1,13	0,19	1,99	0,40	0,99
0,06	0,06	0,99	0,89	0,20	2,22	0,80	1,10
0,09	0,09	1,16	1,06	0,18	2,22	0,56	0,99
0,10	0,10	1,28	1,16	0,19	2,26	0,49	0,97