# Definicija parametara školjere nasutog lukobrana LNT Promajna

**Mihanović, Mihaela**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*
**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:897768

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-24**

*Repository / Repozitorij:*

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# ZAVRŠNI RAD

**Mihaela Mihanović**

**Split, 2020.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# Definicija parametara školjere nasutog lukobrana LNT Promajna

**Završni rad**

**Split, 2020.**

# Definicija parametara školjere nasutog lukobrana LNT Promajna

***Sažetak:***

Rad obrađuje problematiku izbora parametara školjere nasutog lukobrana. Za polazišnu točku odabrani su dostupni podatci o vjetru te parametri idejnog rješenja luke nautičkog turizma. U smislu definicije parametara, definiraju se potrebna težina kamenog bloka školjere, nagib pokosa iste te kota krune lukobrana.

***Ključne riječi:***

LNT Promajna, školjera, nagib pokosa, kota lukobrana

# Definition of Nautical Tourism Port Promajna breakwater parameters

***Abstract:***

This work deals with the problem of definition of rubble-mound breakwater parameters. The available data about wind measurments and conceptual solution of Nautical Tourism Port parameters are selected as the starting point. In the meaning of parameters definition, parameters which are defined are: required weight of rock blok of rubble-mound breakwater, its slope and grade level of breakwater.

***Keywords:***

Nautical Tourism Port Promajna, rubble-mound, slope, grade level of breakwater

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Split, Matice hrvatske 15

| | |
|---|---|
| STUDIJ: | **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA** |
| KANDIDAT: | MIHAELA MIHANOVIĆ |
| BROJ INDEKSA: | 4366 |
| KATEDRA: | **Katedra za privrednu hidrotehniku** |
| PREDMET: | Luke i pomorske građevine |

# ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Definicija parametara školjere nasutog lukobrana LNT Promajna

Opis zadatka: Za planiranu luku nautičkog turizma u Promajni potrebno je definirati težinu elemenata školjere i nagiba pokosa iste te visinsku kotu krune lukobrana za realno valno polje u svrhu osiguranja dugoročne stabilnosti. Kandidatkinja treba dati uvid u karakteristike raspoloživih mjerodavnih podataka, pregled korištene metodologije te rezultate i zaključke.

U Splitu, 9. rujna 2020.

Voditelj Završnog rada:

Dr. sc. Veljko Srzić

*Sadržaj:*

1. UVOD ..... 1
2. OPIS LOKACIJE I VJETROVALNI PODATCI NA LOKACIJI ZAHVATA ..... 2
2.1. LOKACIJA ..... 2
2.2. POZNATI VJETROVALNI PODATCI ..... 5
3. ODABIR NAGIBA POKOSA ŠKOLJERE I TEŽINE KAMENOG BLOKA ..... 7
4. DEFINIRANJE KOTE KRUNE LUKOBRANA ..... 9
5. ZAKLJUČAK ..... 21
6. LITERATURA ..... 22

# 1. UVOD

Predmet zahvata u ovome Završnome radu je zaštita glavnog lukobrana planirane Luke nautičkog turizma Promajna kamenim nabačajem (školjerom) na osnovu dostupnih podataka o postojećem stanju. Potrebno je odabrati najoptimalniji odnos nagiba pokosa školjere i mase kamenog elementa te u skladu s tim definirati visinsku kotu krune lukobrana.

Rad se sastoji od pet poglavlja, uključujući Uvod i Zaključak kao prvo i posljednje poglavlje.

U drugom poglavlju prikazani su ulazni podatci o lokaciji zahvata, trenutnom i planiranom stanju te vjetrovalne karakteristike lokacije. Trenutno stanje je izvedeno nasipom glavnog lukobrana, bez izgrađene obale i školjere. Na temelju obrađenih podataka o vjetrovalnim karakteristikama na lokaciji očitana je valna visina i povratni period za mjerodavni val.

U trećem i četvrtom poglavlju koristeći se matematičkim izrazima, dijagramima, izmjerenim vjetrovalnim karakteristikama i analizom podataka dobivenih s mareografa u Splitu definirana je visinska kota krune nasutog lukobrana, težina elementa školjere i nagiba pokosa školjere za realno valno polje, u svrhu osiguranja dugoročne stabilnosti i da ne dođe do prelijevanja mora kod ekstremnoga vala.

U trećem poglavlju Hudson-ovom formulom (*Formula 1.)* izražunata je ovisnost mase kamenog elementa i nagiba pokosa školjere za različite koeficijente stabilnosti (Grafikon *1.*).

U četvrtom poglavlju definirana je visinska kota krune lukobrana za koju je potrebno poznavanje visine uspinjanja vala i plima petogodišnjeg povratnog perioda te odabir odgovarajuće rezerve (*Slika 9.*). Koristeći se odgovarajućim dijagramom i očitanom valnom visinom i povratnim periodom izračunata je visina uspinjanja vala. Obrađeni su podatci za izračun plime petogodišnjeg perioda.

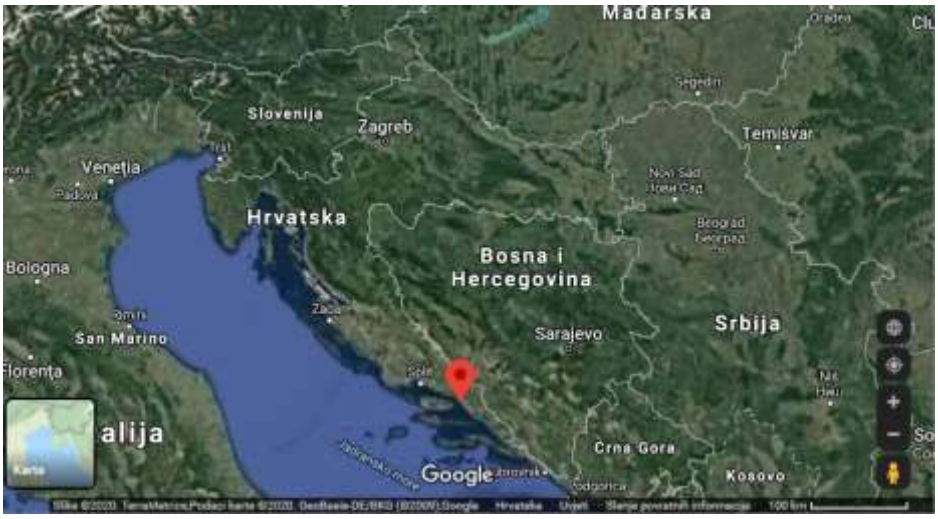
Preporučene su najoptimalnije vrijednosti za izbor rješenja zahvata, ali su prikazane i ostale vrijednosti s jednakim osiguranjem dugoročne stabilnosti ovisno o neraspoloživosti izvora ili mogućnostima zbog nepredviđenih okolnosti tijekom radova.

# 2. OPIS LOKACIJE I VJETROVALNI PODATCI NA LOKACIJI ZAHVATA

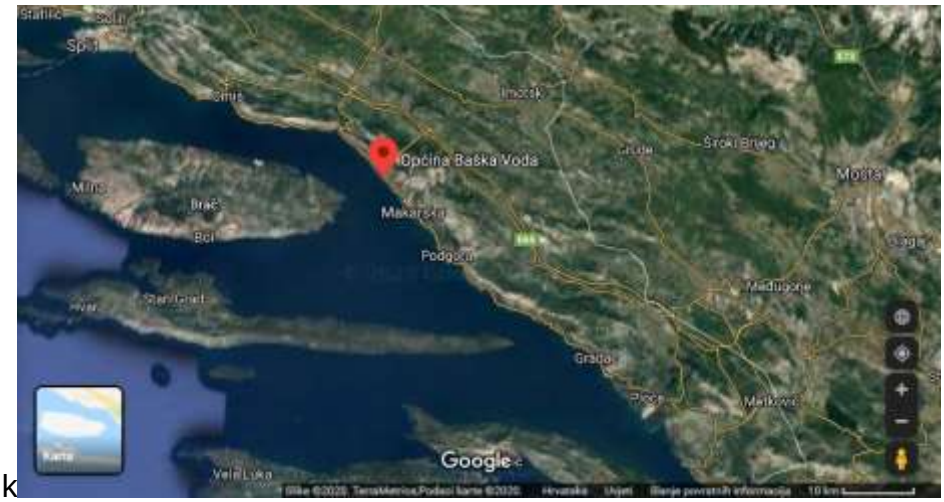
## 2.1. LOKACIJA

Planirana Luka nautičkog turizma Promajna obuhvaća područje na sjeverozapadnom dijelu naselja Promajna, u Općini Baška Voda, u Splitsko-dalmatinskoj županiji. Jedinica lokalne samouprave je Općina Baška Voda. Prostor luke je na nižim kotama uz more (2,0 mnm), pored urbaniziranog dijela naselja. Veći dio površine zahvata formiran je u dužem vremenskom periodu, nekontroliranim nasipanjem u pokušaju izrade zakloništa za plovila lokalnog stanovništva. Materijal je raznolikog sastava i nije selektiran. Najveći dio ovoga materijala će se morati ukloniti ili premjestiti u skladu s projektom.

Područje zahvata u prostoru djelomično je izvedeno, i to nasipom glavnoga lukobrana, bez izgrađene obale i bez zaštite kamenim nabačajem (školjerom).




***Slika 1.*** *Geografski položaj planirane luke nautičkog turizma na makro skali*

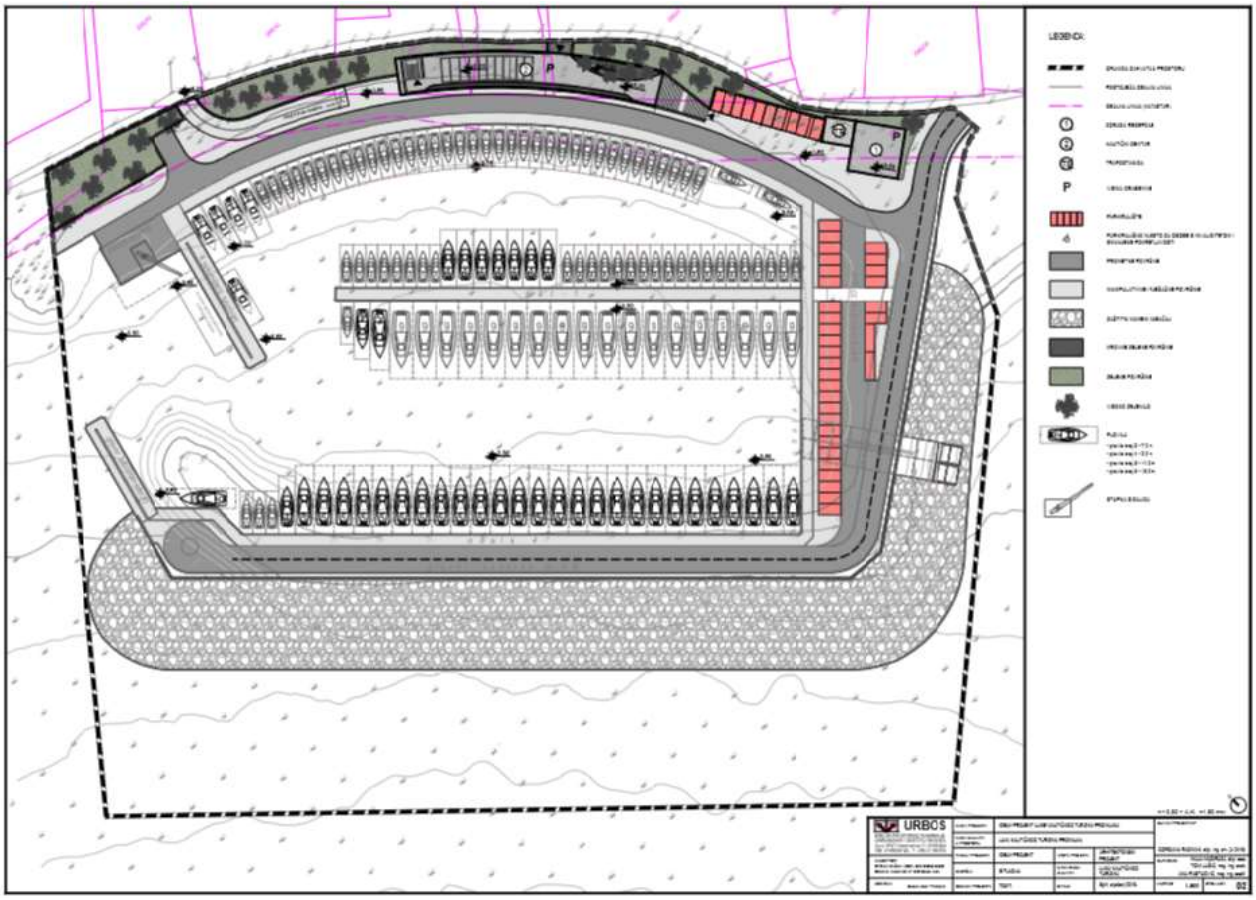
k 


***Slika 2.*** *Geografski položaj planirane luke nautičkog turizma na mikro skali*

***Slika 3.*** *Područje zahvata*

***Slika 4.*** *Prikaz postojećeg stanja*

Za planiranu luku nautičkog turizma u Promajni, zahvat se sastoji od gradnje i uređenja luke nautičkog turizma s operativnom obalom i drugim pomorskim građevinama, te uređenje ostalih površina i sadržaja neophodnih za funkcioniranje luke. Kapacitet marine je 130 vezova na cca 520 m duljine obale za privez plovila [1].



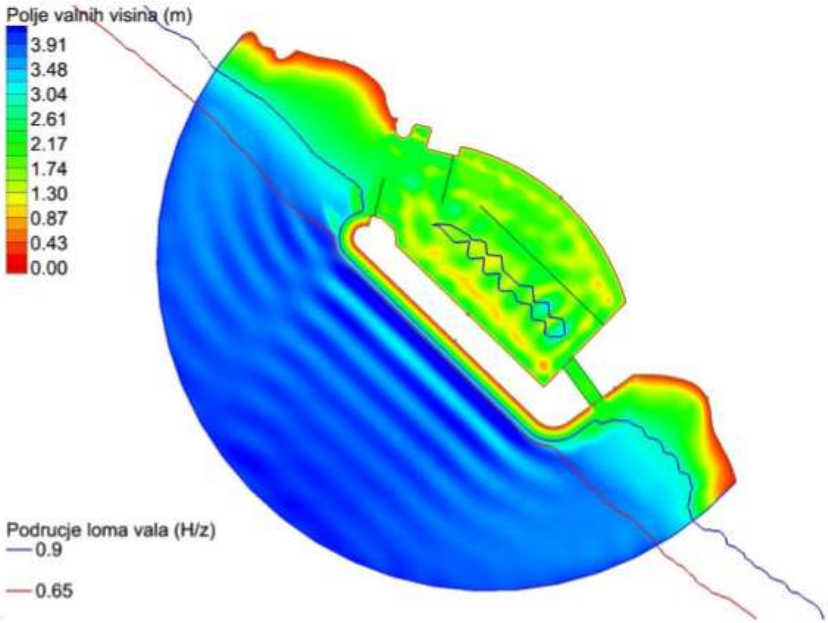

***Slika 5.*** *Prikaz planiranog stanja [1]*

## 2.2. POZNATI VJETROVALNI PODATCI

Podatci na temelju kojih se proračunava stabilnost školjere uzeti su iz Elaborata zaštite okoliša koje je izradilo Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, koje ima ovlaštenje za obavljanje stručnih poslova zaštite okoliša.

Na temelju obrađenih podataka o brzini i smjeru vjetra, koji su dobiveni s meteorološke postaje Makarska koja je pozicionirana na geografskoj širini 43°17' N i geografskoj dužini 17°01' E te nadmorskoj visini od 52 m n.m., u pogledu razvoja vala značajnih valnih visina, uočeno je kako vjetrovi prvog kvadranta nisu kritični u pogledu djelovanja na objekte u području obuhvata. Duljina privjetrišta za vjetar iz smjera prvog kvadranta zanemariva je čime nije moguć prijenos energije vjetra na morsku površinu, a samim time i razvoj vala. U slučaju drugog kvadranta, duljine privjetrišta nisu zanemarive te se omogućava razvoj vala. Treći kvadrant rezultira značajnim iznosima privjetrišta. Na ovaj način definirana su mjerodavni smjerovi za koje je analiziran i prognoziran vjetrovni val: Garbin (SW), Jugo (SE-ESE) i Maestral (NW) [1].

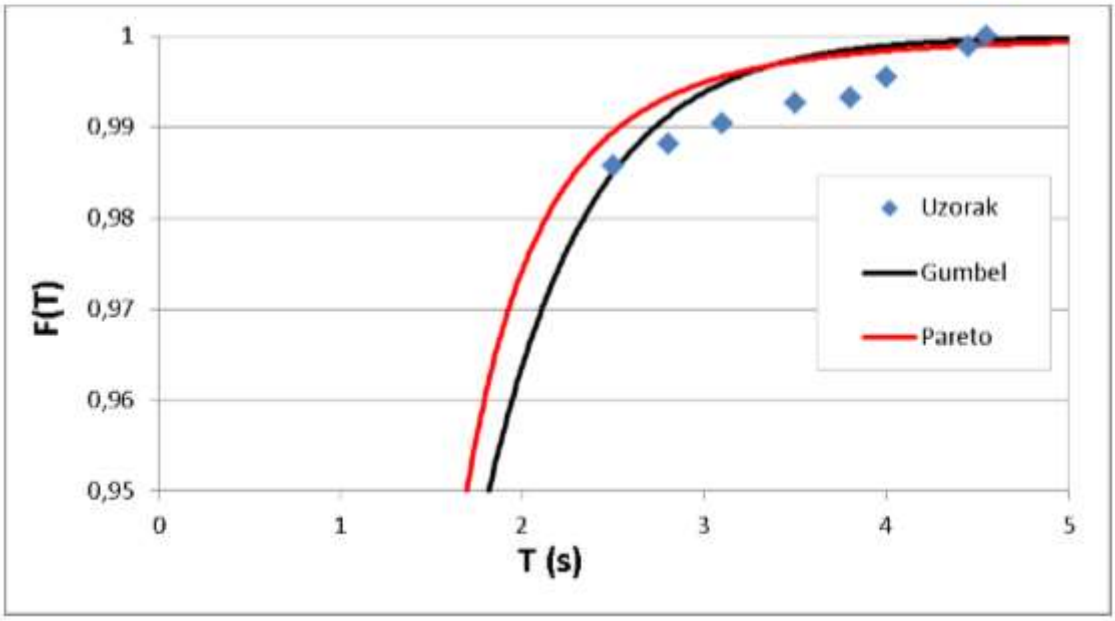
Koristeći se izračunatim podatcima očitana je najkritičnija valna visina na lukobranu smjera SW, i loma vala 100-godišnjeg povratnog perioda: 2,5 m (*Slika 6.)* [1].




***Slika 6.*** *Prikaz polja valnih visina vala smjera SW, i loma vala 100-godišnjeg povratnog perioda [1]*

Koristeći se rezultatima dugoročnih prognoza za povratne periode odabran je period vala za povratni period od 5 godina za smjer SW: T = 3,92 s (*Slika 7.)* [1].

| T | P | 1-P | $T^{Tpareto}$ | $T^{T\ gumbel}$ |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 0,001135 | 0,998865 | | 3,92 |
| 20 | 0,000284 | 0,999716 | | 4,73 |
| 50 | 0,000114 | 0,999886 | | 5,23 |
| 100 | 5,68E-05 | 0,999943 | | 5,63 |




***Slika 7.*** *Prognozirani periodi vala za povratne periode 5, 20, 50 i 100 godina i Dugoročne prognoze perioda vala za smjer SW [1]*

# 3. ODABIR NAGIBA POKOSA ŠKOLJERE I TEŽINE KAMENOG BLOKA

Svrha kamenog nabačaja (školjere) je da se svojom masom odupre djelovanju vala u svrhu osiguranja dugoročne stabilnost.

Nagib pokosa ovisi o valnoj klimi, vrsti obloge i temeljnom tlu, a težina kamenog bloka ovisi o hidrodinamičkom opterećenju valova na konstrukciju i karakteristikama konstrukcije. Obložni blokovi moraju biti čvrsti, kompaktni i međusobno dobro ukliješteni sa šupljikavošću među elementima kako bi kod djelovanja valova što više vode moglo ući u šupljine i izgubiti valnu energiju. Težina mora biti u skladu s veličinom valova prema Hudson-ovoj formuli kako bi ostali stabilni na pokosu.

Izraz korišten za proračun je Hudson-ova formula (*Formula 1.)*, izvedena temeljem ravnoteže bloka na pokosu izloženog statičkim i dinamičkim silama: vlastita težina, uzgon, hidrodinamički uzgon, sila otpora bloka u struji silaznog vala, inercijalna sila, sila trenja na pokosu, reakcija podloge i sila od strujanja mora u jezgri lukobrana. Rezultat je dugotrajnih eksperimenata provedenih u laboratoriju na nizu uzoraka (tipova školjere) izloženih djelovanju vala. Istraživanja su provedena u kanalu za valovanje s mehaničkim generatorom vala.

$$\mathrm{G_A} = \mathrm{G_A}^{50\%} = \frac{\rho_{obloge} * \mathrm{g} * {H_{proj}}^3}{K_d * \left(\frac{\rho_{obloge}}{\rho_{mora}} - 1\right)^3} * tg\alpha$$

*Formula 1. Hudson-ova formula*

$G_A$ – težina bloka primarne obloge (N) koja je u odnosu na proračunatu veličinu između 0,75 $G_A^{50\%}$ i 1,25 $G_A^{50\%}$

$\rho_{obloge}$ = 2500 kg/m$^3$ – specifična masa kamenog bloka

$\rho_{mora}$ = 1030 kg/m$^3$ – specifična masa mora

α = [1:1,5 - 1:4] - nagib pokosa

H = 2,5 m – visina vala za smjer SW

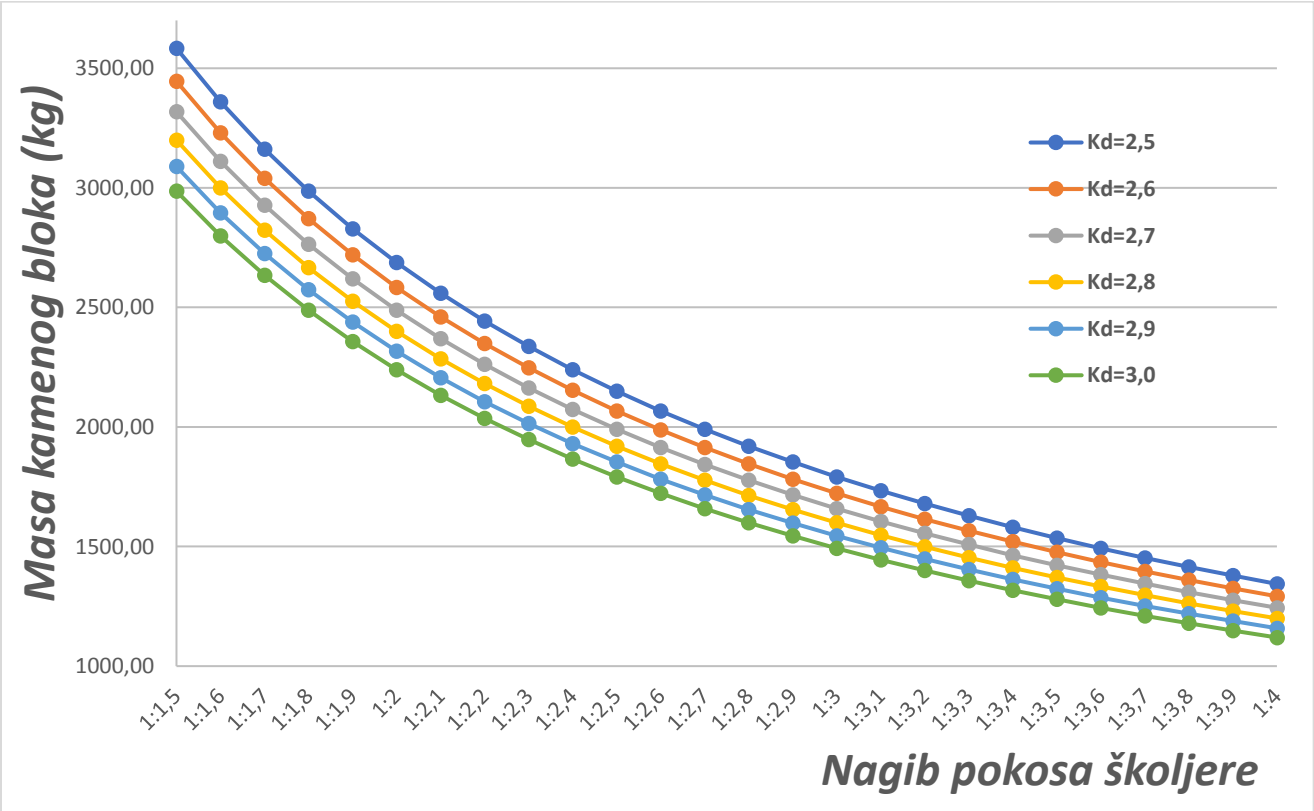
g = 9,81 m/s$^2$

$K_d$ = [2.5-3.0] – eksperimentalni koeficijent obloge, koeficijent ukliještenja

$K_d$ je ekperimentalni koeficijent stabilnosti, tj. ukliještenja obloge. Odabrane su vrijednosti 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 i 3.0, za lomljeni val na trupu lukobrana, s pretpostavkom da su kameni blokovi posloženi pažljivo u 3 sloja s minimalnom pogreškom slaganja.

Na grafu (*Grafikon 1.*) prikazan je izračun odnosa nagiba pokosa školjere i mase kamenog bloka u kilogramima za koeficijent ukliještenja između 2.5 i 3.0. Na apscisi su prikazani nagibi pokosa školjere, a na ordinati odgovarajuće mase kamenog bloka.

Iz prikazanog je vidljivo da je odabirom strmijeg nagiba pokosa potrebna veća masa kamenog bloka, ali ujedno i manja količina kamena. Vrijedi i obrnuto, odabirom blažeg nagiba pokosa potrebna je manja masa kamenog bloka, ali ujedno veća količina kamena. Ukoliko se ide na stranu sigurnosti te se odabire manji koeficijent ukliještenja $K_d$, potrebna je još veća količina kamena.




***Grafikon 1.*** *Odnos nagiba pokosa školjere i mase kamenog bloka za različite koeficijente ukliještenja $K_d$*

Najoptimalniji nagib pokosa je 1:1,5 zbog znatne uštede na kamenu za školjeru, ali u slučaju neraspoloživosti izvora određene mase kamenog elementa ili potrebe blažeg nagiba, uzete su u obzir i vrijednosti blažih nagiba.

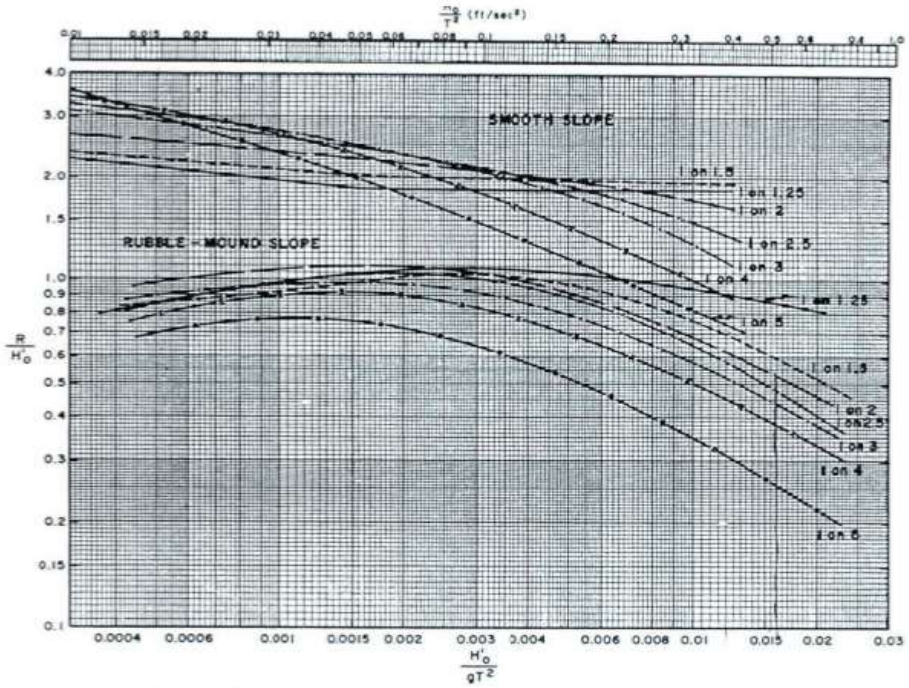
# 4. DEFINIRANJE KOTE KRUNE LUKOBRANA

Kruna lukobrana mora biti iznad morske razine te je za izbor visinske kote lukobrana potrebno poznavati plimu petogodišnjeg povratnog perioda $H_{p/o}$ i uspinjanje vala R te odabrati odgovarajuću rezervu.

Rezerva se uzima 20-50 cm ovisno o promjeru kamenog elementa. Ostavlja se cijeli kameni blok, kako bi se izbjegli dodatni radovi.

Visina uspinjanja vala određuje se pomoću dijagrama kojim je zadana ovisnost $H_o/gT^2$ i $R/H_o$ za različite hrapavosti obale, ovisno o nagibu obale.

Visina vala za smjer SW je 2,5 m ($H_o$ = 2,5 m) (*Slika 6.)*, a period za isti smjer iznosi 3,92 sekunde (T = 3,92 s) (*Slika 7.).*Iz priloženog dijagrama je za hrapavu i propusnu obalu („rubble-mound slope“) te nagibe 1:1,5; 1:2; 1:2,5; 1:3 i 1:4 koristeći se ovisnost $H_o/gT^2$ očitana ovisnost $R/H_o$, iz čega se dobije visina uspinjanja vala R (*Grafikon 2.*).

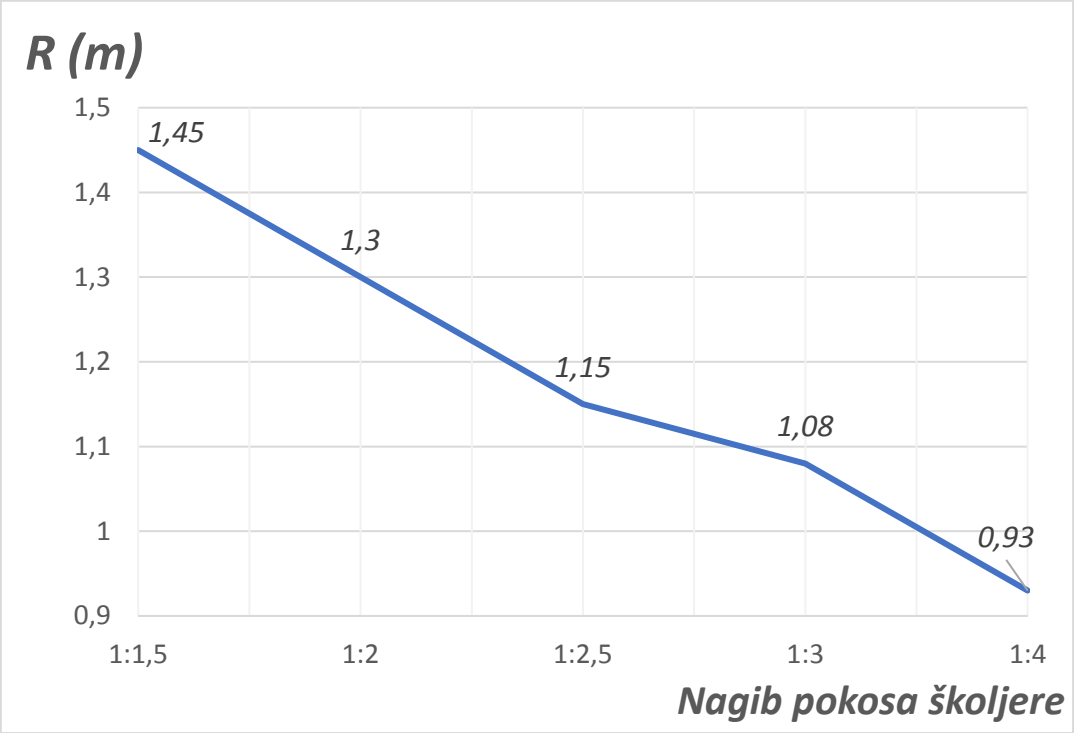



***Dijagram 1.*** *Ovisnost $H_o/gT^2$ i $R/H_o$ za različite hrapavosti obale, ovisno o nagibu obale*

Na grafu (*Grafikon 2.)* je prikazana visina uspinjanja vala R za navedene nagibe pokosa školjere. Na apscisi su prikazani nagibi pokosa školjere, a na ordinati odgovarajuće visine uspinjanja vala.

Za strmiji nagib proračunata je veća visina uspinjanja vala, a što je blaži nagib ta vrijednost se smanjuje.

Kao što je rečeno, kao najoptimalnija vrijednost nagiba uzima se nagib pokosa 1:1,5 zbog znatne uštede na kamenu za školjeru te je stoga odgovarajuća visina uspinjanja vala R = 1,45 m.

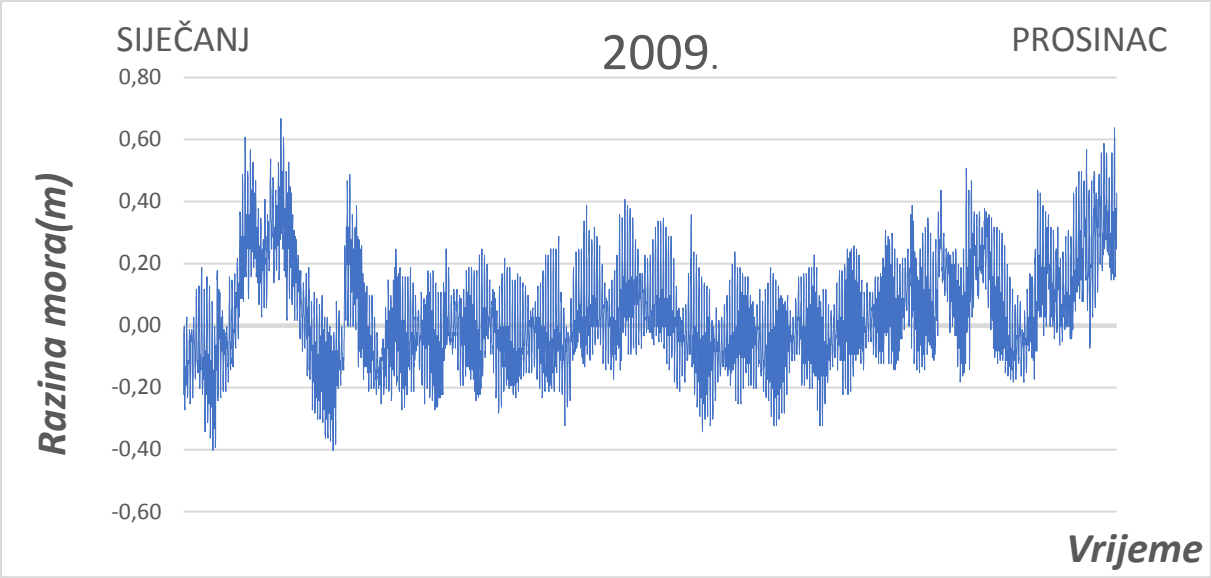



***Grafikon 2.*** *Visina uspinjanja vala R za različite nagiba pokosa ctgα*

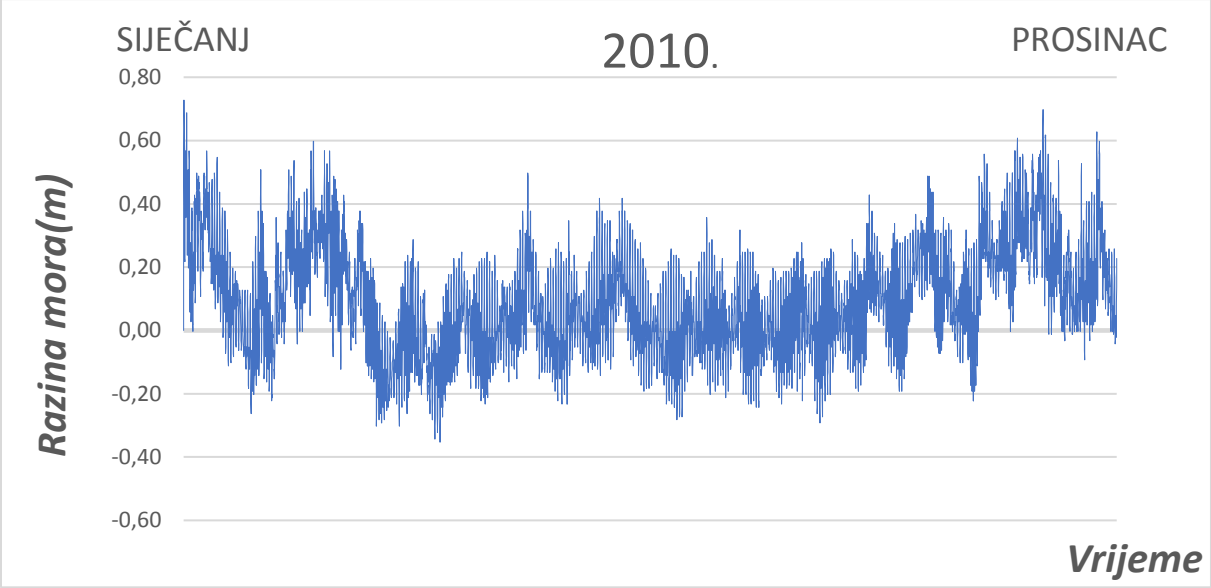
Podloga na temelju koje se obrađuju podatci za izračun plime petogodišnjeg povratnog perioda dobivena je od Hrvatskog hidrografskog instituta Republike Hrvatske s obližnje mareografske postaje. Mareografska postaja nalazi se u Splitskoj luci s pozicijom geografske širine 43°30′ N i geografske dužine 16°26′ E (*Slika 8.*).

***Slika 8.*** *Položaj mareografa Split*

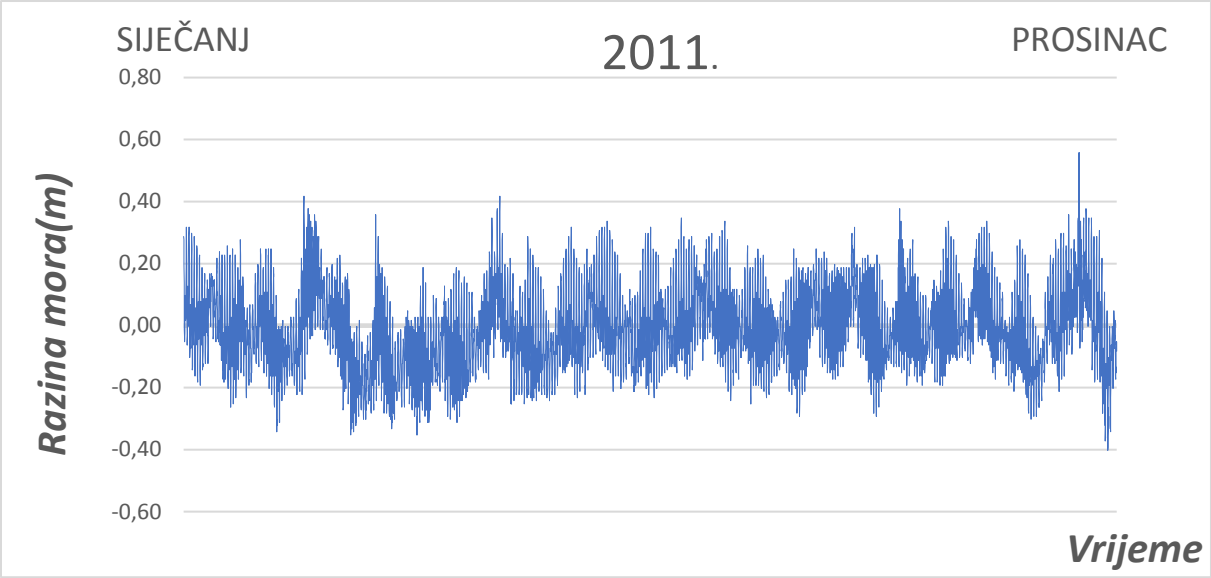
Vremensko razdoblje mjerenih podataka je od 1.1.2009. do 31.12.2017. Podatci su mjereni svaki sat što daje ukupan broj podataka od n = 78 888. Mjereno je u odnosu na Normalnu Nulu Trsta te svedeno na novi Hrvatski visinski referentni sustav za epohu 1971.5. Na sljedećim grafovima (*Grafikon 3. – Grafikon 11.)* prikazane su izmjerene razine vode za svaku navedenu godinu.



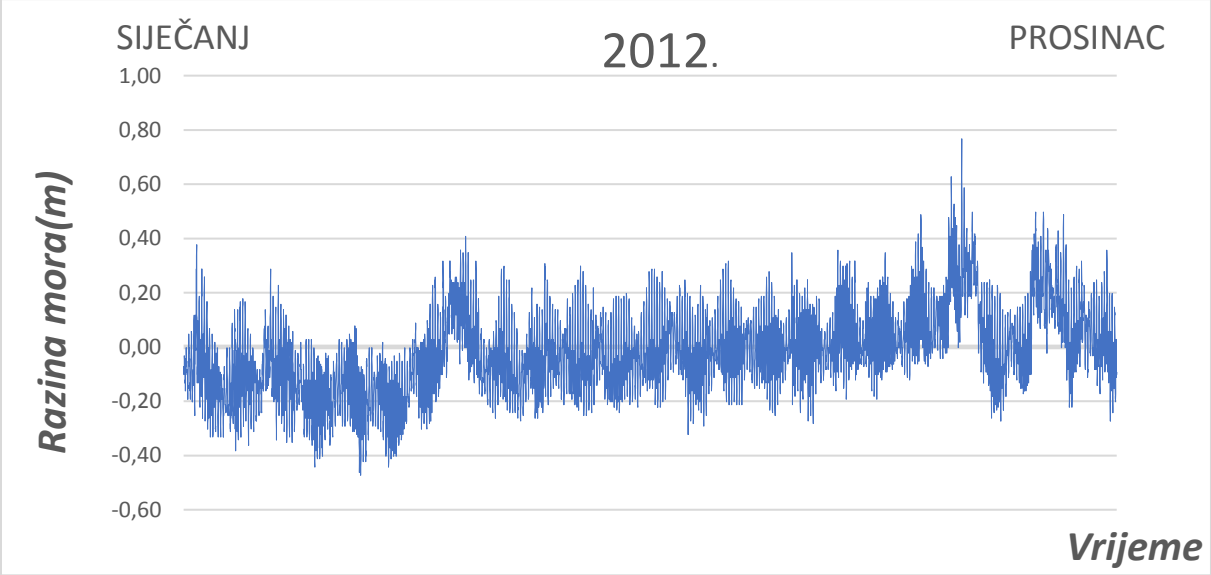

***Grafikon 3.*** *Satne izmjerene razine mora za 2009. godinu*



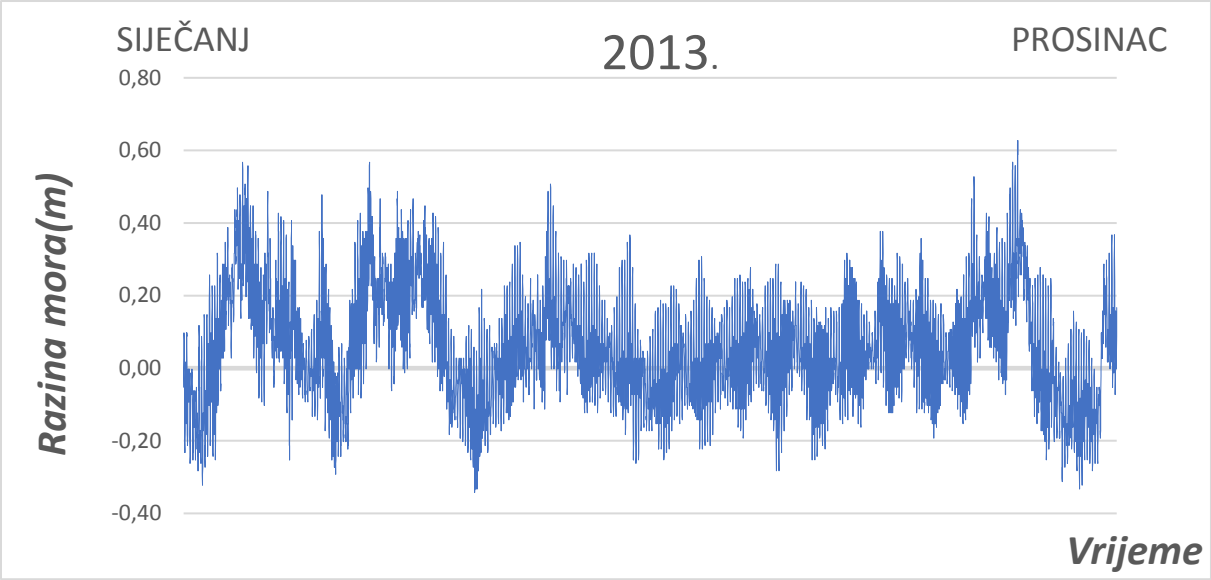

***Grafikon 4.*** *Satne izmjerene razine mora za 2010. godinu*



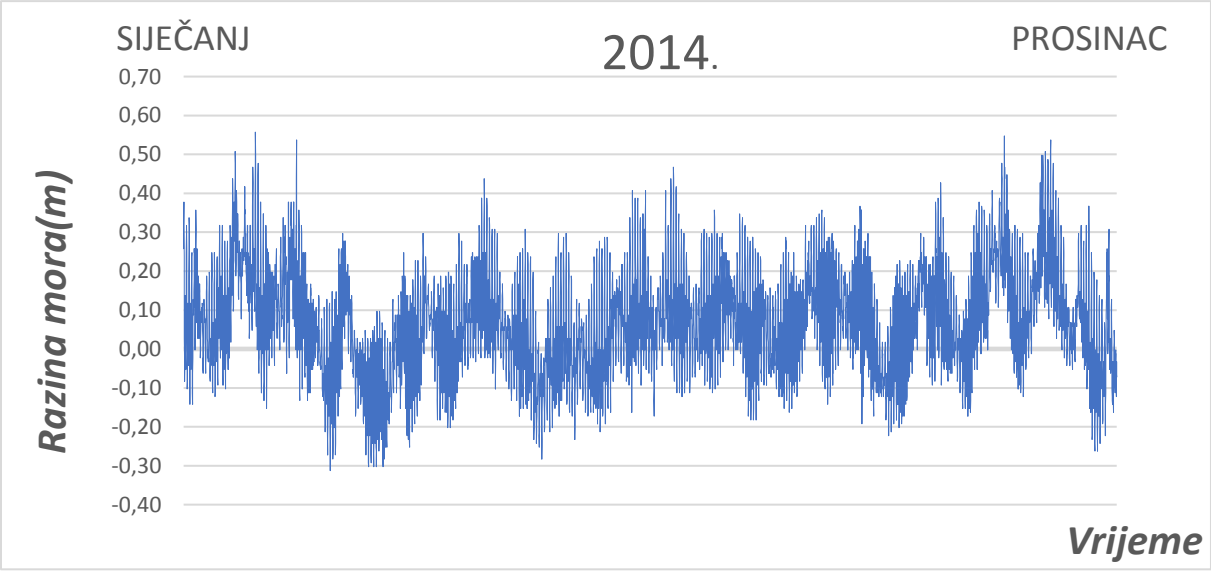

***Grafikon 5.*** *Satne izmjerene razine mora za 2011. godinu*



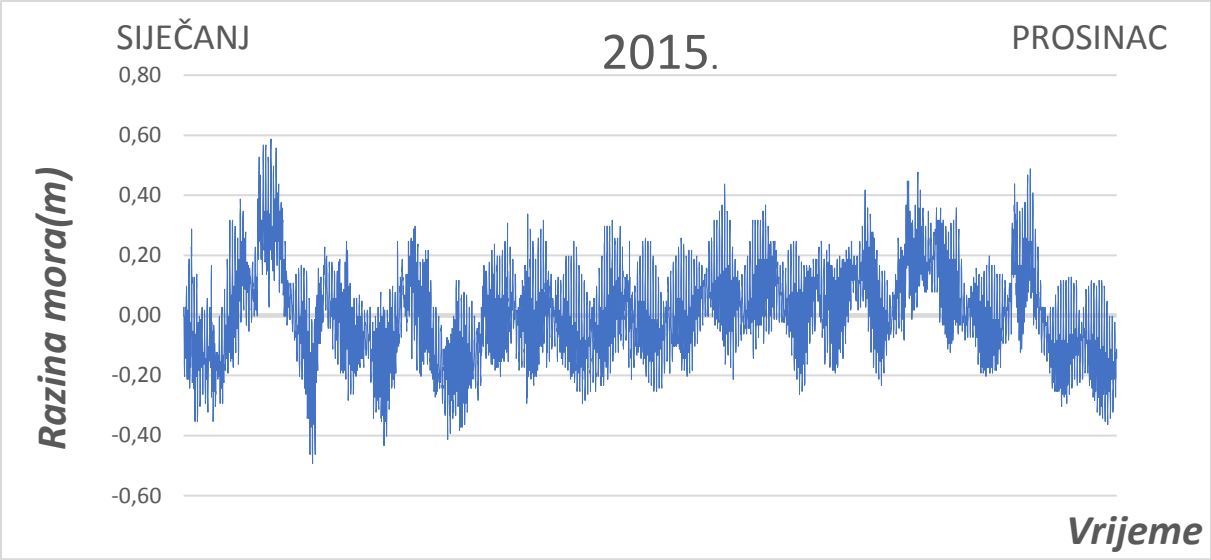

***Grafikon 6.*** *Satne izmjerene razine mora za 2012. godinu*



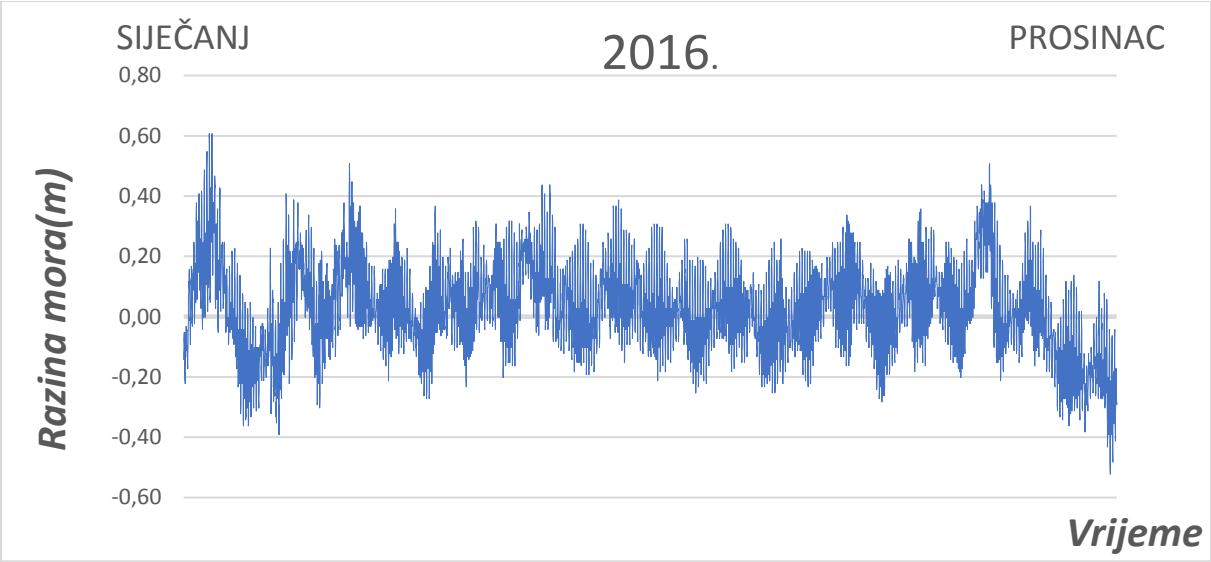

***Grafikon 7.*** *Satne izmjerene razine mora za 2013. godinu*



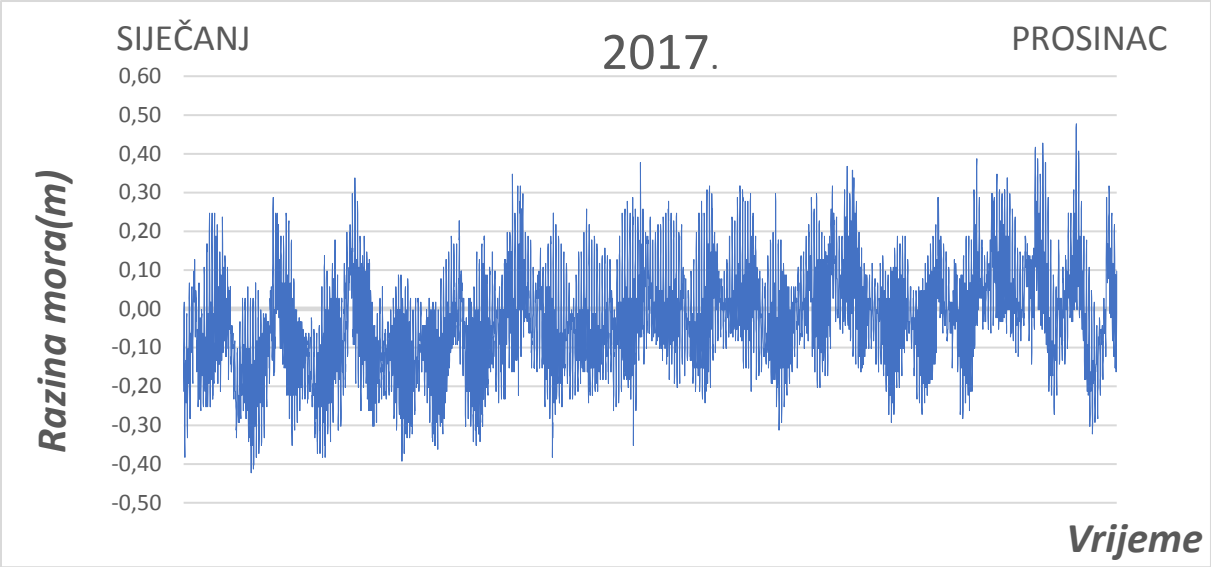

***Grafikon 8.*** *Satne izmjerene razine mora za 2014. godinu*




***Grafikon 9.*** *Satne izmjerene razine mora za 2015. godinu*

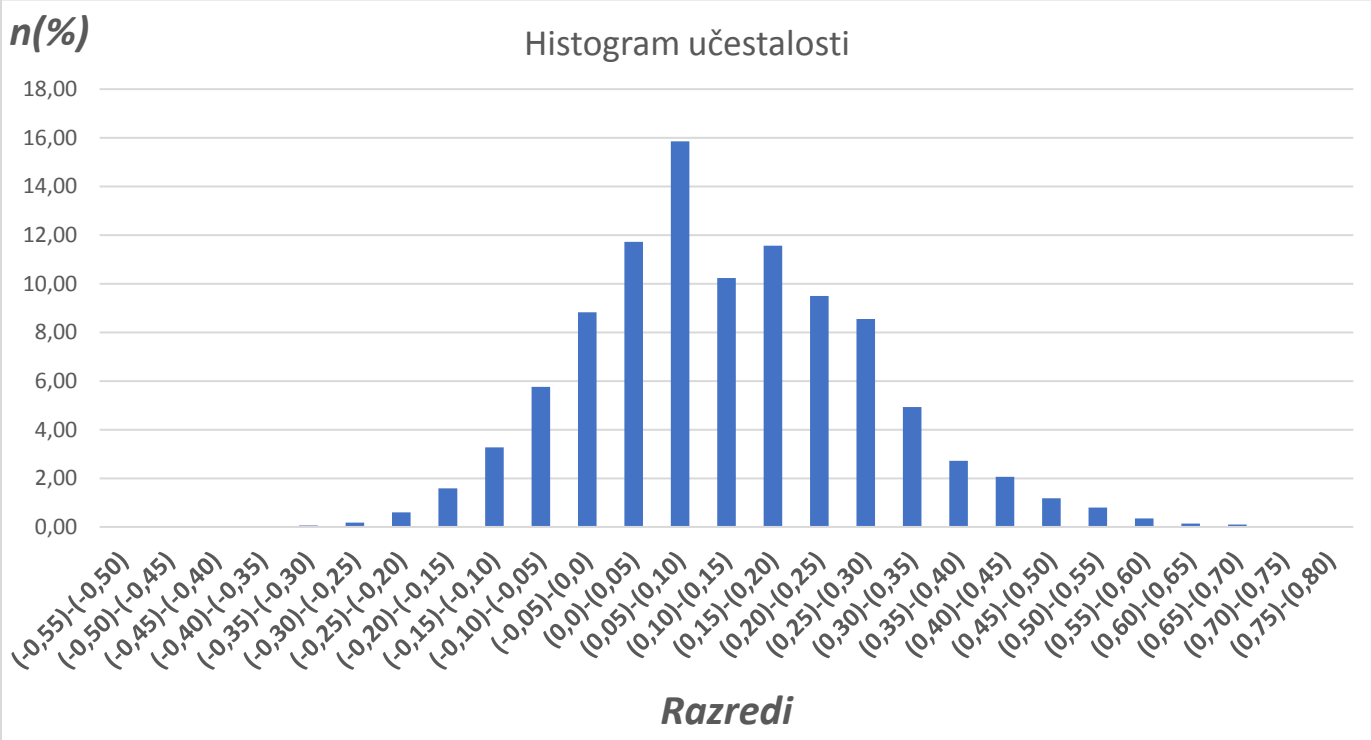



***Grafikon 10.*** *Satne izmjerene razine mora za 2016. godinu*

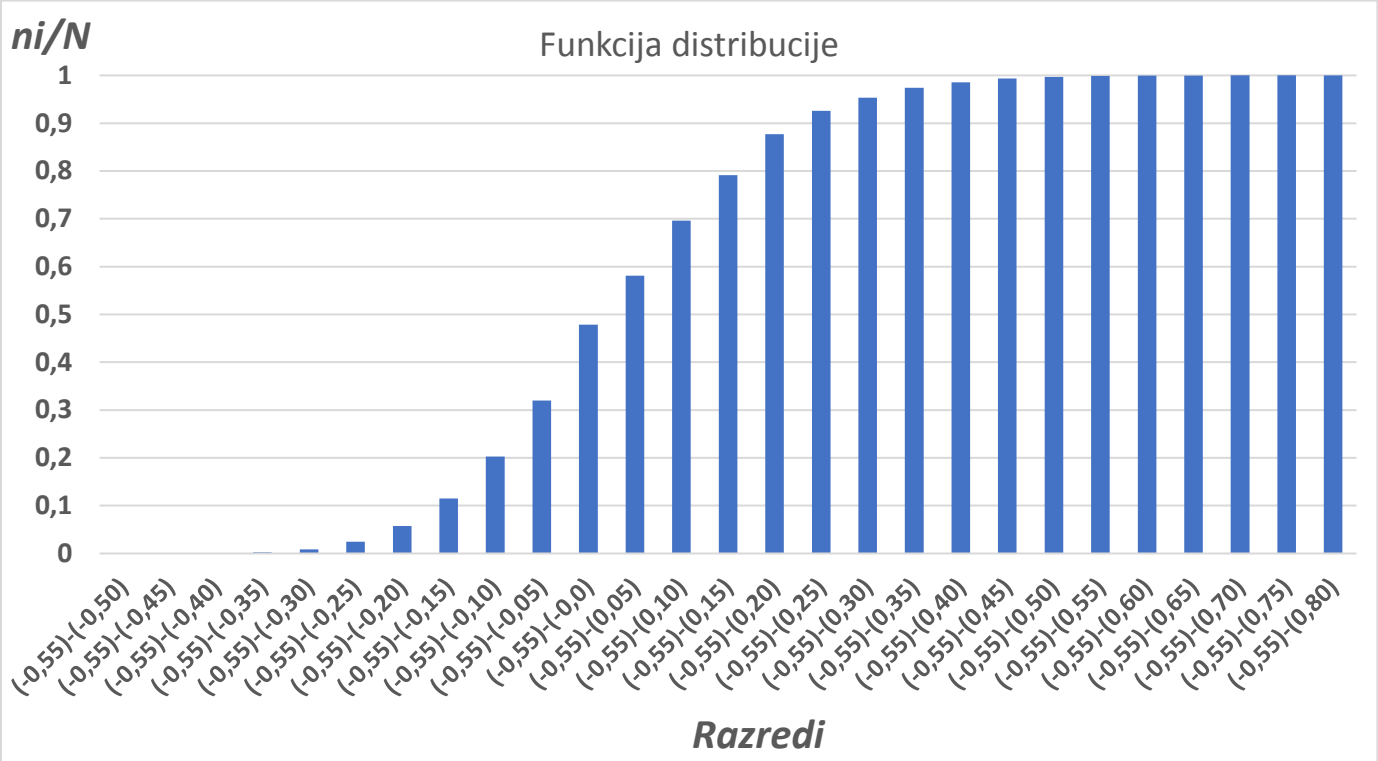



***Grafikon 11.*** *Satne izmjerene razine mora za 2017. godinu*

Raspoloživi podatci izmjerenih razina mora prikazani na prethodnim grafovima (*Grafikon 3.-Grafikon 11.)* obrađeni su i svrstani u razrede širine 0,05 m te je prikazan histogram učestalosti pojavljivanja (*Grafikon 12.)* i kumulativni histogram učestalosti pojavljivanja (*Grafikon 13.)* za razrede s maksimalnom osekom 0,52m i maksimalnom plimom 0,77m.




***Grafikon 12.*** *Histogram učestalosti plime i oseke*




***Grafikon 13.*** *Kumulativni histogram učestalosti plime i oseke*

Proračun plime petogodišnjeg povratnog perioda vrši se na temelju dugoročne valne prognoze, za koju je potreban dovoljan niz podataka, koristeći se funkcijom prekoračenja Q i funkcijom distribucije P.

Funkcija distribucije vjerojatnosti slučajne varijable X jest, prema definiciji, funkcija F: R → R, zadana uvjetom: F ( x ) = P ( X ≤ x ). Vrijednost te funkcije u realnom broju x jest vjerojatnost da slučajna varijabla X poprimi vrijednost manju ili jednaku od x. Dok je vrijednost funkcije prekoračenja Q = 1 - P vjerojatnost da slučajna varijabla poprimi vrijednost veću od x.

$$Q = \frac{1}{T} \cdot \frac{Tm}{n} = 2{,}2817 \cdot 10^{-5}$$

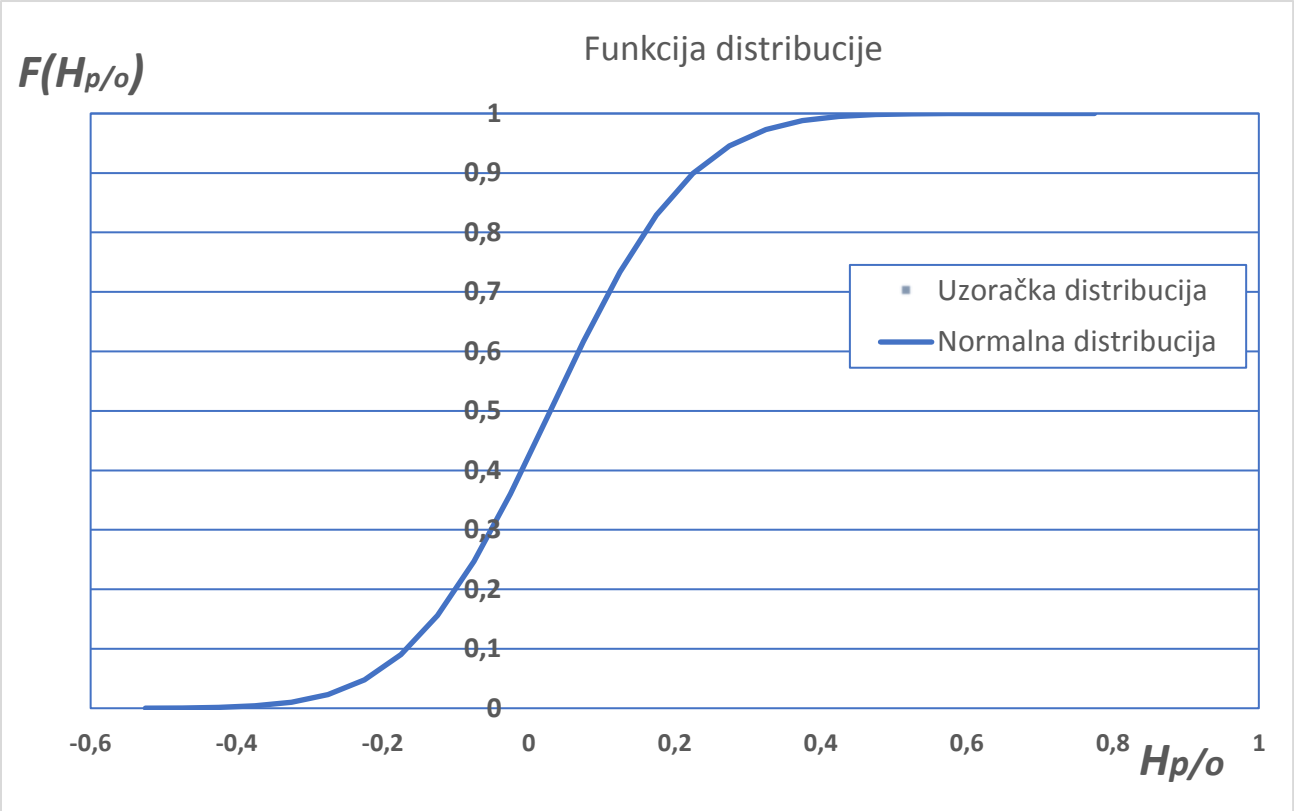
Q – funkcija prekoračenja
T – vrijednost povratnog perioda za koji se traži plima petogodišnjeg perioda (T = 5 godina)
$T_m$ – vremenski period mjerenja ($T_m$ = 9 godina)
n – ukupan broj mjerenja (n = 78 888)

$$Q = 1 - P = 1 - \int_0^{H_{p|o}} f(H_{p|o}) dH_{p|o}$$

Kako se povratni periodi definiraju proizvoljno, a gustoća mjerenja ovisi o raspoloživim podacima, rješenje problema je pronalaženje gornje granice integrala funkcije distribucije plime povratnog perioda. Tome prethodi iznalaženje teorijske funkcije gustoće koja je rezultat prihvaćanja hipoteze o ravnanju uzoračke statistike teorijskom.

Korištenjem excel-funkcije NORM.DIST dobivena je vrijednost $H_{p/o}$ = 0,6532 m. Za opis uzorka korištena je usporedba uzoračke i normalne distribucije (*Grafikon 14.*).

Funkcija distribucije P = 1 – Q, sa srednjom vrijednosti uzorka od 0,03 m i standardnom devijacijom 0,1523 m, za koju se dobije vrijednost P = 1 - $2{,}281710^{-5}$ = 0,9999772, vjerojatnost da slučajna varijabla poprimi rezultati manji od $H_{p/o}$.




***Grafikon 14.*** *Uzoračka i normalna distribucija plime petogodišnjeg povratnog perioda*

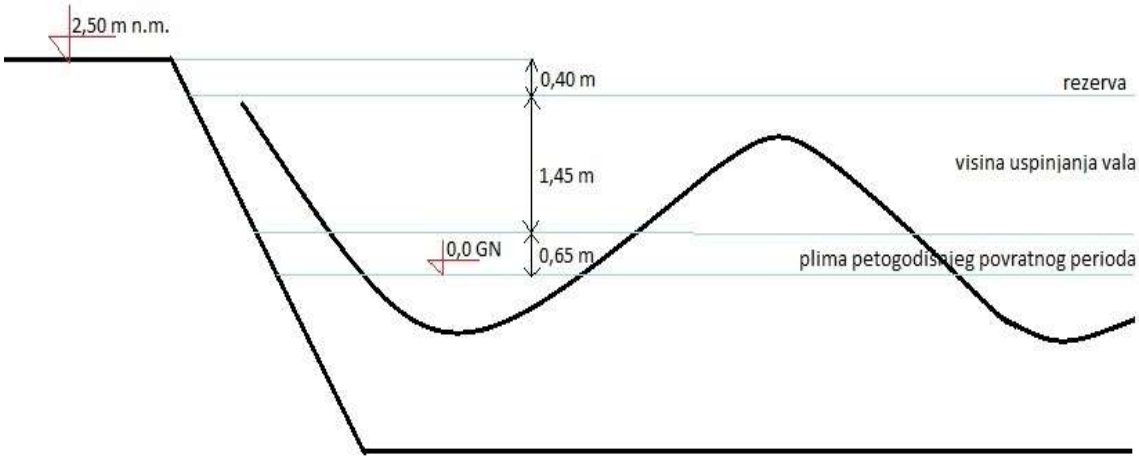
Konačna visinska kota krune lukobrana za nagib pokosa 1:1,5 dobije se ukupnom visinom plime petogodišnjeg povratnog perioda $H_{p/o}$, uspinjanjem vala R i odgovarajućom rezervom r (*Slika 9.*)

$H_{lukobrana} = H_{p/o} + R + r = 0,65 + 1,45 + 0,40 = 2,50$ m n.m.

$H_{p/o} = 0,65$ m

R = 1,45 m

r = 0,40 m




***Slika 9.*** *Visinka kota krune lukobrana*

# 5. ZAKLJUČAK

Primjenom matematičkih izraza i raspoloživih dijagrama u svrhu osiguranja dugoročne uporabljivosti školjere lukobrana definirani su nagibi pokosa školjere i težine kamenog elementa te visina kote krune lukobrana.

Koristeći se izmjerenim vjetrovalnim karakteristikama i Hudson-ovom fomulom kao najoptimalniji odnos nagiba pokosa školjere i težine kamenog elementa odabran je nagib 1:1,5, gdje se iz grafa (*Grafikon 1.)* za odgovarajući nagib odabire masa kamenog elementa ovisno o odabranom koeficijentu ukliještenja.

Vjetrovalnim karakteristikama (*Slika 6. i 7.)* definirana je visina uspinjanja vala za odabrani nagib pokosa školjere 1:1,5 koja iznosi R = 1,45 m (*Grafikon 2.)* te je analizom podataka dobivenih s mareografa u Splitu definirana plima petogodišnjeg povratnog perioda $H_{p/o}$=0,65 m. Uz odgovarajuću rezervu od r = 0,40 m definirana visinka kota krune lukobrana je $H_{lukobrana} = H_{p/o} + R + r = 0,65 + 1,45 + 0,40 = 2,50$ m n.m.

U slučaju neraspoloživosti izvora određene mase kamenog elementa ili zbog različitih nepredviđenih okolnosti moguć je odabir blažeg nagiba pokosa s odgovarajućom visinom uspinjanja vala s jednakim osiguranjem dugoročne stabilnosti školjere lukobrana.

# 6. LITERATURA

[1] Fakultet Građevinarstva, arhitekture i geodezije - ELABORAT ZAŠTITE OKOLIŠA – Luka nautičkog turizma Promajna (EZO_Promajna_draft)

[2] Srzić V. - Predavanja iz kolegija Luke i pomorske građevine

[3] Normalna distribucija https://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution