

UDC 627

SCOPUS CODE 2212

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2024-2-244-251>

ტალღამტები ბეტონის ბლოკების ანგარიში ტეტრაპოდის მაგალითზე

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით MR 23-134 საგრანტო პროექტის ფარგლებში.

მანონი კოდუა	ჰიდროტექნიკისა და სამოქალაქო ინჟინერიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68 ^ბ E-mail: m.kodua@gtu.ge
მარი თებიძე	ჰიდროტექნიკისა და სამოქალაქო ინჟინერიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75 E-mail: 2maritebidze@gmail.com

რეცენზენტები:

შ. გაგოშიძე, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის ემერიტუს-პროფესორი

E-mail: sh.gagoshidze@gmail.com

ი. საღინაძე, ა. წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის საზღვაო-სატრანსპორტო ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: vanosag@gmail.com

ანოტაცია. ტალღამტები ნაგებობა გამოიყენება ოკეანეების, ზღვების, მდინარეთა სანაპიროების თუ საზღვაო პორტების დამანგრეველი ზემოქმედებისგან დასაცავად. ტალღამტები ნაგებობის რამდენიმე ტიპი არსებობს, საპროექტო წინადადებაში განხილულია სხვადასხვა მოხაზულობის ფიგურული მასივებისგან შედგენილი გამჭოლი კონსტრუქციები, რომლებსაც ტალღამტებ ნაგებობაში იყენებენ და ფასონურ ბლოკებს უწოდებენ. ასეთი ბლოკები გამოიყენება როგორც, სანაპირო ზოლის წა-

რეცხვისაგან დასაცავად, ისე საზღვაო პორტის შემომზღუდავი მოლოს ასაგებად. მსოფლიოში ფასონური ბლოკების მრავალი სახეობიდან ყველაზე ადრე დანერგილია და ხშირად გამოყენებული ტეტრაპოდები. სტატიაში გაანალიზებულია ამ ტიპის ბლოკების საანგარიშო მეთოდი ჰადსონის ფორმულის გამოყენებით.

საკვანძო სიტყვები: ტალღამტები; ტეტრაპოდი; ფასონური ბლოკი; ჰადსონის ფორმულა.

შესავალი

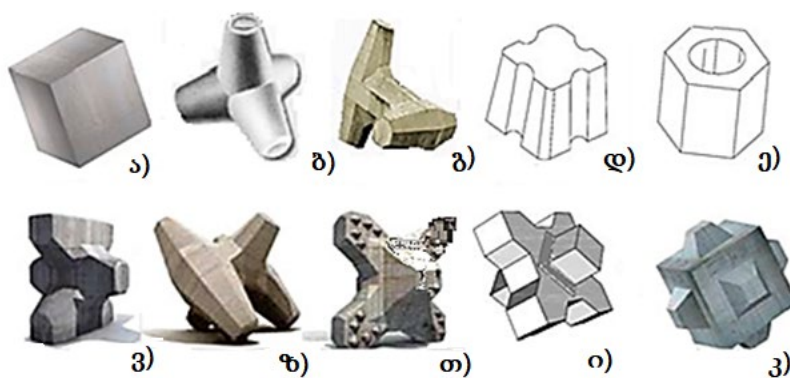
ოკეანეების, ზღვების, მდინარეთა სანაპიროების თუ საზღვაო პორტების დაცვა დამანგრეველი ზემოქმედებისგან მთელ, მსოფლიოში აქტუალურია, ამ მხრივ არც საქართველოა გამონაკლისი, მის შავი-ზღვისპირა ზოლში აბრაზიული პროცესები დიდი ინტენსივობით მიმდინარეობს.

წარეცხილი ნაპირების დაცვა, მაღალი ტალღა-ჩამქრობი უნარის და დაბალი თვითღირებულების მქონე ნაპირდამცავი ნაგებობების მეშვეობით უმთავრესი პრობლემაა. ერთიანი ბეტონის კედლებით ნაპირდამცავი ნაგებობების აგება ძალიან დიდ სამუშაოებთან არის დაკავშირებული და ძვირია. სხვადასხვა მოხაზულობის ბეტონის ფიგურული მასივებისგან შექმნილია კონსტრუქციები, რომლებსაც ტალღამტეხ ნაგებობებში იყენებენ და ფასონურ ბლოკებს უწოდებენ. ასეთი ბლოკები გამოიყენება როგორც, სანაპირო ზოლის წარეცხვისაგან დასაცავად, ისე საზღვაო პორტის შემომზღუდავი მოლოს ასაგებად.

სანაპირო ზოლში ტალღამტეხ ნაგებობათა აგებისას, პლაჟის წონასწორობის მდგომარეობა ფორმირდება სხვადასხვა მიმართულების ტალღებით, ის შეკავებული უნდა იყოს მინიმალური დანაკარგებით. ხელოვნური პლაჟის ფერდის ბუნებრივ წყალქვეშა კალთასთან შეუღლება დიდი დაფერდების შემთხვევაში ძალიან რთულია. ამ დროს საწყისი ნაყარის მოცულობისა და პლაჟის მასალის დანაკარგების შემცირების მიზნით იყენებენ სწორედ ფასონური ბლოკებისგან შემდგარ წყალქვეშა კონსტრუქციებს.

ძირითადი ნაწილი

ფასონური ბლოკების მრავალი სახეობა არსებობს (სურ.1). ტალღამტეხი ნაგებობის ეფექტურობა როგორც საინჟინრო, ისე ეკონომიკური თვალსაზრისით დამოკიდებულია ამა თუ იმ ადგილმდებარეობისთვის ფასონური ბლოკების ფორმების თუ ზომების სწორად შერჩევაზე.



სურ. 1. ფასონური ბლოკების ზოგიერთი ტიპი: ა) კუბუსი; ბ) ტეტრაპოდი; გ) დოლოსი; დ) ანტიფერი; ე) სეაბი; ვ) აკროპოდი; ზ) კორე-ლოკი; თ) აკროპოდი II; ი) იქსბლოკი; კ) კუბიდონი [4]

თავდაპირველად ნაპირდამცავი თუ პორტის შემომზღუდავი ჯგუხრის ასაგებად გამოიყენებოდა მარტივი, კუბის ფორმის ბლოკები, მაგრამ ასეთი ბლოკების ურთიერთშეჭიდულობა ძალიან სუსტი იყო და მეცნიერების წინაშე დადგა ამოცანა, შეექმნათ ოპტიმალური ფორმის მოდელი.

1950 წელს გრენობლში, ცნობილ დოფინიოს ჰიდრაულიკურ ლაბორატორიაში ტეტრაპოდები შეიქმნა პიერ დანელისა და პოლ ანგლეს დ'ორიაკის მიერ, რომლებმაც მიიღეს პატენტი. ფრანგულ გამოგონებას ეწოდა ტეტრაპოდი, რომელიც გამომდინარეობს ბერძნული სიტყვისგან tetra – „ოთხი“ და pode „ფეხი“ და მიუთითებს ოთხკუთხედის ფორმაზე [3]. ტეტრაედრის გეომეტრიული მოხაზულობა არის სფეროზე სიმეტრულად „დაშენებული“ წაკვეთილი კონუსები.

მიუხედავად იმისა, რომ შემდგომ წლებში შეიქმნა მარავალი ფორმის ფიგურული ბლოკი, ტეტრაპოდს აქტუალურობა არ დაუკარგავს, მას აქვს მარტივი ფორმა, გამორჩევა მედეგობით, ტალღის მოქმედების საწინააღმდეგოდ.

ტეტრაპოდები პირველად გამოიყენეს კასაბლანკასა და მაროკოში ზღვის სანაპირო ზოლის დასაცავად [3, 7]. შემდეგ კი პოპულარული გახდა მთელს მსოფლიოში, განსაკუთრებით იაპონიაში. ცნობილია, რომ იაპონიის 35000 კმ-იანი სანაპირო ზოლის თითქმის 50% გამაგრებულია ტეტრაპოდებითა და სხვა ფიგურული მასივებით [5, 7].

ტალღამტეხი კონსტრუქციის დაგეგმარებისას პირველ რიგში შეისწავლება ტალღისა და ნაგებობის ურთიერთქმედება, მნიშვნელოვანი პარამეტრია წყლის სიღრმე, რომელზეც დიდად არის დამო-

კიდებული სამუშაოს ღირებულება. ტალღისა და ნაგებობის სტრუქტურის ურთიერთქმედებას განაპირობებს ტალღის სიმაღლე და სიგრძე, მათი ტრანსფორმაცია ტალღის მოსვლისა და ფერდობის კუთხის მიხედვით, ფსკერზე მყარი ნატანის გადაადგილება, შიგა დინებები. ამ პროცესის ზუსტი მათემატიკური აღწერა ურთულესია და ხშირად შეუძლებელიც.

ამერიკელი ინჟინრის რობერტ ჰადსონის ხელმძღვანელობით, დიდი რაოდენობით ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგად აშშ-ის არმიის ინჟინერთა კორპუსმა, წყლის ტალღის ექსპერიმენტულ ლაბორატორიაში შეიმუშავა ემპირიული განტოლება, რომელიც ჰადსონის ფორმულით არის ცნობილი და მისი მეშვეობით იანგარიშება ფიგურული მასივის საანგარიშო ოპტიმალურ წონა [6].

ჰადსონის ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$W = \frac{W_r \cdot H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}, \quad (1)$$

სადაც W არის ფიგურული მასივის წონა (ნ); W_r – ხვედრითი წონა; H საანგარიშო ტალღის სიმაღლე (მ); S_r – ტალღამტეხი ელემენტის ფარდობითი წონა

$S_r = \frac{\rho_r}{\rho_w}$ სადაც ρ_r და ρ_w ბლოკისა და წყლის სიმკვ-

რივეებია. θ ჰორიზონტის მიმართ ტალღამტეხი ნაგებობის დახრის კუთხეა; K_D კი მდგრადობის კოეფიციენტი, რომელიც ძირითადად იცვლება ფიგურული მასივის ტიპის მიხედვით, დამოკიდებულია მისი ზედაპირის ხორკლიანობაზე, კიდეების დაქანებაზე და განთავსებისას მიღებულ შეჭიდულობაზე. ტეტრაპოდებისთვის დამსხვრეული ტალღის შემთხვევაში მისი მნიშვნელობა 3.5-5.0

ფარგლებშია, ხოლო უწყვეტი ტალღის შემთხვევაში – მერყეობს 4. 0 დან 6-მდე. (1) ფორმულაში ორივე მხარის, W -სა და W_r -ის თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაზე გაყოფა გვაძლევს ბეტონის ბლოკის მასის განტოლებას.

მოგვიანებით, ზემოთ მოხსენიებული ლაბორატორიის მკვლევართა მიერ გამოცემულ სახელმძღვანელოში კვითხულობთ ჰადსონის ფორმულის (1) შესწორებულ ვერსიას [8]:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = \frac{(K_D \cot \theta)^{1/3}}{1.27} \quad (2)$$

სადაც H_s არის ტალღის სიმაღლე ტალღამტეხი ნაგებობის ქუსლთან, მ. ხოლო $\Delta = \frac{\rho_r}{\rho_w} - 1$ ნაგებობისა და ზღვის წყლის ფარდობით სიმკვრივე $\Delta = \frac{\rho_r}{\rho_w} - 1$, რომელიც რკინაბეტონის ბლოკისთვის 1,58-ის ტოლია. D_{n50} არის ფასონური ბლოკის ნომინალური საშუალო დიამეტრი, გათვალისწინებულია ბლოკის ან ბუნებრივი ქანის 50%-იანი გრადაცია.

ჰოლანდიელმა მეცნიერმა ვან დერ მეერმა შეიმუშავა ფორმულა, სადაც ჰადსონის ფორმულისგან განსხვავებით ითვალისწინებდა, ტალღის პერიოდს, ქარიშხლის ხანგრძლივობას და სხვა პარამეტრებს და ზვირთცემის შემთხვევაში აქვს შემდეგი სახე [9]:

$$\frac{H_s}{D_{n50}} = 6.2 P^{0.18} \left(\frac{S_d}{N^{0.5}} \right)^{0.2} \xi_m^{-0.5} \quad (3)$$

ხოლო მცირე სიმაღლის ტალღების ნაპირთან ან ტალღამტეხთან შეჯახების შემთხვევა ასე გამოსახა:

$$\frac{H_s}{D_{n50}} = 1.0 P^{-0.13} \left(\frac{S_d}{N^{0.5}} \right)^{0.2} \cot \alpha \xi_m^P \quad (4)$$

სადაც $S_d = A_e / D_{n50}^2$ ს A_e ეროზიული ფართობის დაზიანების დონეს უწოდებს. N შტორმის დროს ტალღათა რიცხვია, ხოლო α ნაპირის დაფერდება. ტალღის მსხვერვის კრიტიკული მნიშვნელობა განსაზღვრული აქვს შემდეგი ფორმულით

$$\xi_{mc} = \left(\frac{6.2}{1.0} P^{0.31} \sqrt{\tan \alpha} \right)^{\frac{1}{P+0.5}} \quad (5)$$

P -ს ნომინალური გამტარიანობის რიცხვს უწოდებენ და არის H_s -ზე დამოკიდებული, რომელთა ვარიაცია (3) და (4) ფორმულებში 1 და 6.2 კოეფიციენტებს ცვლის. თუ $\xi_m \leq \xi_{mc}$, გამოიყენება (3) ფორმულა, როცა $\xi_m \geq \xi_{mc}$ - (4) ფორმულა.

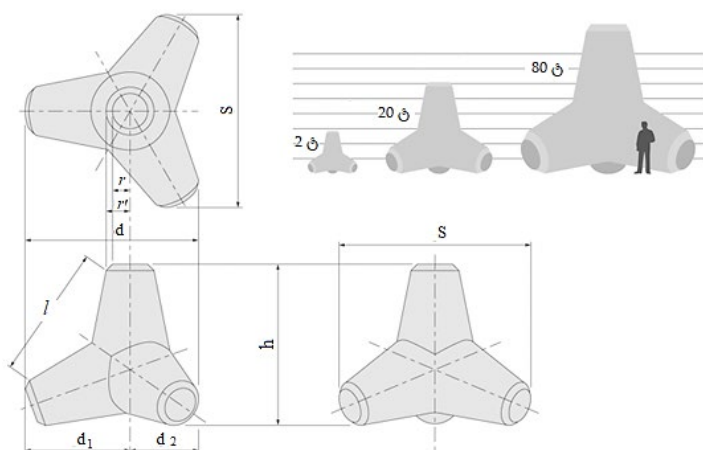
ზოგადად, ვან დერ მეერის ორიგინალური ფორმულა გამოიყენება: შედარებით ღრმა წყალში (ნაპირზე ძლიერი ტალღმსხვერვა არ ხდება); ნაყარი ან ცალკეული ლოდების ორ სრულ ფენად მოწესრიგებული წყობის გარეშე განთავსებისას; ბლოკების ან ლოდების ნახევრად მრგვალი ფორმისას; როცა ვიწრო და განიერი ბლოკების შეფარდება არ აღემატება 2.3-ს; "გაუმტარი ბირთვისთვის" მისაღები მონაცემია 1:2-დან 1:6-მდე, ხოლო გამჭოლი კედლისთვის 1:1.5-დან 1:3-მდე დაფერდება; ერთგვაროვანი სტრუქტურის დამცავი კედლისთვის დახრილობა 1:2; ტალღის ციცაბოობის დიაპაზონი მიღებულია 0,01-დან შესაძლო მაქსიმუმამდე [9].

როგორც ვხედავთ, ვან დერ მეერის მეთოდში ბევრი მორფომეტრიული მახასიათებელი იყრის თავს, რასაც ურთულეს მათემატიკურ გათვლებამდე მივყავართ, მიღებულ განტოლებებს არაერთი ამონახსნი აქვს, ამიტომ მსოფლიოს საინჟინრო პრაქტიკაში უფრო ხშირად, ისევ ჰადსონის ფორმულას

იყენებენ, რომელიც საკმარისი სიზუსტით ანგარიშობს ტეტრაპოდის ზომას.

იაპონური საინჟინრო კომპანია „ფუდოდეტრას“ შემუშავებული ოცი სხვადასხვა მასის მქონე ტეტრაპოდისთვის შესაბამისი ფორმები, გეომეტრიუ-

ლი ზომები ბუნებრივი პირობების გათვალისწინებით გამოსახულია მე-2 სურ-ზე. ცხრილში მოცემულია მახასიათებლების რიცხვითი მნიშვნელობები მე-2 სურ-ზე გამოსახული ტეტრაპოდის პროფილის საანგარიშო ზომების მიხედვით.



სურ. 2 ტეტრაპოდის პროფილური სქემები [10]

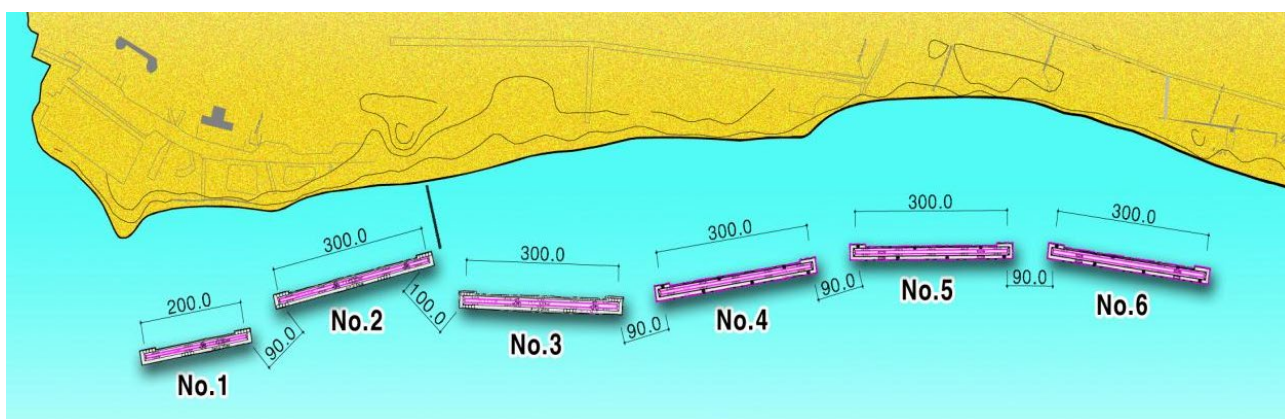
ცხრილი

ტეტრაპოდის ტექნიკური მახასიათებლები [10]

ტიპები ტონაჟის მიხედვით	ფაქტ. მასა, ტ	წონა, კნ	მოცუ ლობა მ ³	ზედა- პირის ფართ. მ ²	ერთეული, მმ							
					h	d	d ₁	d ₂	S	2r	2r'	l
T-0.5	0.46	4.51	0.2	2.18	900	967	587	380	1075	198	270	747
T-1.0	0.92	9.02	0.4	3.44	1130	1214	738	476	1350	248	338	937
T-2.0	1.84	18.04	0.8	5.42	1420	1526	927	599	1696	312	426	1178
T-3.2	2.88	28.24	1.25	7.32	1650	1773	1077	696	1971	362	494	1369
T-4.0	3.68	36.09	1.6	8.62	1790	1924	1169	755	2139	392	536	1485
T-5.0	4.60	45.11	2.0	10.00	1930	2074	1260	814	2306	424	578	1601
T-6.3	5.75	56.39	2.5	11.58	2075	2230	1355	875	2479	456	622	1722
T-8.0	7.36	72.18	3.2	13.74	2260	2429	1476	953	2700	496	678	1875
T-10.0	9.20	90.22	4.0	15.88	2430	2612	1587	1025	2903	534	728	2016
T-12.5	11.50	112.78	5.0	18.46	2620	2816	1711	1105	3130	576	786	2174
T-16.0	14.49	142.10	6.3	21.54	2830	3042	1848	1194	3381	622	848	2348
T-20.0	18.40	180.44	8.0	25.19	3060	3289	1998	1291	3656	672	918	2539
T-25.0	23.00	225.55	10.0	29.29	3300	3547	2155	1392	3943	726	990	2739
T-32.0	28.75	281.94	12.5	33.90	3550	3816	2318	1498	4242	780	1064	2946
T-40.0	37.03	363.14	16.1	40.08	3860	4149	2520	1629	4612	848	1158	3203
T-50.0	46.00	451.11	20.0	46.44	4155	4466	2713	1753	4965	914	1246	3448
T-64.0	58.88	577.42	25.6	54.59	4505	4842	2941	1901	5383	990	1350	3739
T-80.0	80.50	789.44	35.0	67.25	5000	5375	3265	2110	5975	1100	1500	4150

აღსანიშნავია, რომ ტეტრაპოდი საქართველოს შავიზღვისპირეთში ბევრგან არის გამოყენებული. ერთ-ერთი მასშტაბური პროექტი, რომელიც შესრულდა კორეული კომპანია DOHWA Engineering-ისა და შპს „ჰიდროსფეროს“ მიერ საქართველოს მუნიციპალური განვითარების ფონდის დაკვეთით, მოიცავდა ანაკლიის სანაპირო ზოლს მდინარე ენ-

გურის შესართავიდან მდინარე თიკორამდე. პროექტით გათვალისწინებული იყო წყალქვეშა ტალღამტები ნაგებობის მოწყობა, ნაპირის ფლეთილი ლოდებით გამაგრება და პლაჟზე ქვიშის დაყრა. ნაგებობის სიგრძე იყო 1700მ და შედგებოდა 6 სექციისგან (სურ. 3) [1,2].



სურ. 3. ანაკლიის სანაპირო ზოლში წყალქვეშა ტალღამტების მოწყობის სქემა

პირველი წყალქვეშა ტალღამტები მდებარეობს მდინარე ენგურის შესართავიდან 870მ-ში. სექციებს შორის დაცილებაა 90მ, მაგრამ დაცილება მეორესა და მესამეს შორის არის 100 მეტრი. პირველი წყალქვეშა ტალღამტების სიგრძე არის 200 მ და დანარჩენების ნომერ 2-დან ნომერ 6-მდე თითოეულის არის 300 მეტრი. პირველი სექცია შედგებოდა 3,435 ერთეული 10-ტონიანი ტეტრაპოდისგან, მეოთხედან მეექვსემდე: 5-ტონიანი 5 069 ერთეული ტეტ-

რაპოდი, წყლის სიღრმის, ნაგებობის სიგანისა და ტრანსფორმირებული ტალღის მხედველობაში მიღებით. ანგარიშები ჩატარებულია ჰაიდროდინამიკური ფორმულით.

საინტერესო იქნებოდა ამ პროექტის განხორციელება, ის უდავოდ უზრუნველყოფდა კურორტ ანაკლიის სანაპირო ზოლის გეომორფოლოგიურ სტაბილურობას, მაგრამ სამუშაოები მხოლოდ ნაწილობრივ შესრულდა.



სურ. 3. ტეტრაპოდებით ანაკლიის სანაპირო ზოლის გამაგრებითი სამუშაოები (2015წ.)

დასკვნა

სანაპირო ზოლში ტალღამტეხ ნაგებობათა აგებისას, პლაჟის წონასწორობის მდგომარეობა ფორმირდება სხვადასხვა მიმართულების ტალღებით, ის შეკავებული უნდა იყოს მინიმალური დანაკარგებით. კონსტრუქციების საანგარიშოდ ტალღების მოძრაობის ფუნდამენტურ კანონებთან ერთად აუცილებელია ფიზიკური მოდელირება, მათი და-

ტესტვა. როგორც კვლევები აჩვენებს, საინჟინრო სამუშაოების შესრულებისას გათვალისწინებული უნდა იყოს საპროექტო ადგილმდებარეობის მახასიათებლები და საანგარიშოდ ტალღების პარამეტრები. ისეთი შიგაკონტინენტური ზღვის სანაპირო ზოლისთვის, როგორცაა საქართველის შავი ზღვისპირეთი, ხელსაყრელია ჰადსონის მეთოდის გამოყენება.

ლიტერატურა

1. Gagoshidze, Sh., Kodua, M., Saghinadze, I., Kadaria, I. (2017). *River Hydro Construction and Geomorphological Processes of the Black Sea Coast of Georgia*. Georgia, Tbilisi: GTU. (In Georgian);
2. Municipal Development Fund of Georgia. (2013). Anaklia Coastal Improvement Project.;
3. Danel, P. (1963). Tetrapods. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(4).;
4. Dupray, S., Roberts, J., Allsop, W. (2010) Review of the use of concrete in the manufacture of concrete armour units. *Engineering. Materials Science*. <https://doi.org/10.1680/cmsb.41301.0021>
5. Hesse, S. (2007). Tetrapods. *The Japan Times Online*. ISSN 0447-5763.;
6. Hudson, R Y. (1959). *Transaction paper 3213 – Laboratory investigation of rubble-mound breakwaters*. USA: ASCE.
7. Park, S. K., Dodaran, A.A., Chong Soo Han, Ch. S., Shahmirzadi, M.E. (2014). Effects of vertical wall and tetrapod weights on wave overtopping in rubble mound breakwaters under irregular wave conditions. *International Journal of Naval Architecture and Ocean*, 6(4), pp:947-964.;
8. US Army Corps of Engineers. (1984). *Shore Protection Manual. Vol II*.;
9. Van der Meer, J. W. (1987). *Stability of rubble mound breakwaters, stability formula for breakwaters armoured with tetrapods. Report on Basic Research, H462 Volume II*. The Netherlands: Delft Hydraulics Laboratory.
10. Fudo Tetra. (n.d). *Tetrapod*. Retrieved from: <https://www.fudotetra.co.jp/en/solution/block/tetrapod/>

UDC 627

SCOPUS CODE 2212

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2024-2-244-251>

Account of Breakwater Concrete Blocks on the Tetrapod Example

The research has been carried out with the support of The Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia within the MR 23-134 grant project.

Manoni Kodua Department of Hydrotechnical and Civil Engineering, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68^b, M. Kostava str.
E-mail: m.kodua@gtu.ge

Mari Tebidze Department of Hydrotechnical and Civil Engineering, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68^b, M. Kostava str.
E-mail: 2maritebidze@gmail.com

Reviewers:

Sh. Gagoshidze, Professor Emeritus, Faculty of Civil Engineering, GTU
E-mail: sh.gagoshidze@gmail.com

I. Saginadze, Professor, Faculty of Marine Transport, ATSU
E-mail: vanosag@gmail.com

Abstract. Breakwater structures are used to shield shores of rivers, seas, ocean or sea ports from destructive forces. There are different types of breakwater structures, in this project proposal figurative arrays for end-to-end constructions are discussed, which are used in breakwater structures and are referred to as formal blocks. This kind of blocks are used against erosion of coastal line as well as to build molo of edging of sea ports.

From the several types of formal blocks used in the globe, tetrapod is the one that has been developed the earliest and is most extensively used.

Calculation for this kind of blocks using Hudson formula is covered in this article.

Keywords: breakwater; formal blocks; Hudson formula; tetrapod.

განხილვის თარიღი 06.02.2024

შემოსვლის თარიღი 29.02.2024

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 10.06.2024