

ასფალტბეტონის სიმტკიცე

არჩილ ჩიქოვანი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის პროფესორი

ნინო მსხილაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის პროფესორი

<https://doi.org/10.52340/gbsab.2025.54.06>

საკვანძო სიტყვები: ასფალტბეტონი, კუმშვა, გაჭიმვა, ღუნვა, გრეხა, დეფორმაცია, დატვირთვა, სიბლანტე, ტემპერატურა, შეჭიდება, ხახუნი.

სიმტკიცე ხასიათდება მასალის უნარით გაუძლოს მაქსიმალურ ძაბვას (კუმშვის, გაჭიმვის, ღუნვის, გრეხვის და სხვ.) დაუშლელად. მასალის დაშლა დატვირთვის მოქმედებით არის მისი დეფორმირების კრიტიკული სტადია. სხვანაირად რომ ვთქვათ, მასალის დაშლა დგება იმ მომენტში, როცა მისი დეფორმირება აღწევს ზღვრულ (კრიტიკულ) მნიშვნელობას, ე.ი. ადგილი აქვს მისი მთლიანობის დარღვევას.

დატვირთვის დროს ასფალტბეტონში განვითარებული დეფორმაციები შედგება დრეკადობის $\varepsilon_{\text{დ}}$ მყისიერი დეფორმაციებისაგან და დროებითი ელასტიურობის $\varepsilon_{\text{ე}}$ და პლასტიკურობის (მყისიერი და ხანგრძლივი) $\varepsilon_{\text{პ}}$ დეფორმაციებისაგან:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{დ}} + \varepsilon_{\text{ე}} + \varepsilon_{\text{პ}}. \quad (1)$$

მასალაში დრეკადი დეფორმაცია ვითარდება ერთდროულად ძაბვის წარმოქმნისა და ზრდისაგან, დრეკადობის შეზღუდვებული დეფორმაცია, ასევე ვითარდება ძაბვის წარმოქმნის ერთდროულად, აღწევს თავის მაქსიმუმს (მოცემულ ძაბვაზე) გარკვეული დროის განმავლობაში და შემდეგ რჩევა უცვლელი. პლასტიკური დეფორმაციის სიდიდე არის უკუქცევადი და დამოკიდებულია ძაბვის მოქმედების ხანგრძლივობაზე: ძაბვის ზრდის პერიოდში ვითარდება მყისიერი პლასტიკური დეფორმაცია, ხოლო მისი ხანგრძლივი მოქმედებით – ცოცვადობის პლასტიკური დეფორმაცია.

მყისიერი დატვირთვის დროს (მაგალითად, დარტყმისას) პლასტიკური დეფორმაცია შეიძლება საერთოდ არ გამოჩნდეს (არ წარმოიქმნას) და მაშინ კრიტიკული დეფორმაცია შეიძლება იყოს მხოლოდ დრეკადი ($\varepsilon_{\text{დ}} = \varepsilon$). ამ შემთხვევაში დაშლა ხდება გაცილებით მეტ დატვირთვებზე.

თუ მასალაში ძაბვა მოქმედებს გარკვეული დროის განმავლობაში, მაშინ დრეკად დეფორმაციებთან ერთად მასში ვითარდება შექცევადი ელასტიკური და უკუქცევადი პლასტიკური დეფორმაციები (პლასტიკურობის და ცოცვადობის). რადგან ამ შემთხვევაში $\varepsilon_{\text{დ}} < \varepsilon$, კრიტიკული დეფორმაცია და დაშლა ხდება ნაკლებ დატვირთვებზე. ამრიგად, ასფალტბეტონის დაშლა შეიძლება მოხდეს ძაბვის სხვადასხვა სიდიდით, ამ ძაბვების ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულებით.

ასფალტბეტონის როგორც საგზაო-სამშენებლო მასალის, ძირითადი ნაკლია მისი სიმტკიცის და დეფორმაციული თვისებების დამოკიდებულება ტემპერატურაზე. ტემპერატურის მატების დროს ასფალტბეტონში არსებული ბიტუმის სიბლანტე მცირდება, მინერალური მარცვლებს შორის კავშირები სუსტდება, რის შედეგადაც სიმტკიცე მცირდება. ტემპერატურის შემცირებისას ხდება პირიქით: ბიტუმის სიბლანტე დამასთან ერთად სიმტკიცე იზრდება. ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით სიმტკიცე იცვლება საკმაოდ ფართო ფარგლებში: 50°C ტემპერატურაზე ის შეადგენს 1...2 მგპა, ხოლო მინუს 35°C-ზე – 18...30 მგპა. ამიტომ, ასფალტბეტონის სიმტკიცის

განსაზღვრის დროს აუცილებელია მკაცრად დავიცვათ გამოცდის პირობები: დატვირთვის სიჩქარის ზრდა (დროებითი ფაქტორი) და მასალის ტემპერატურა გამოცდის მომენტში.

დატვირთვებზე ასფალტბეტონის წინაღობა განპირობებულია ძირითადად ორი ფაქტორით: მინერალური მარცვლების ურთიერთშეჭიდებაზე და მათ შორის ხახუნზე. შეჭიდების სიმტკიცე დამოკიდებულია ბეტონის სიბლანტეზე და მის რაოდენობრივ შემცველობაზე (სტრუქტურირების ხარისხზე). ოპტიმალურთან შედარებით, ბიტუმის სიჭარბის დროს ასფალტბეტონის სიმტკიცე ძირითადად დამოკიდებულია შეჭიდებაზე.

შინაგანი შეჭიდების სიდიდე განისაზღვრება მინერალური ნარევის გრანულომეტრული შემადგენლობით, მარცვლების მაქსიმალური სისხოთი და ფორმით. ნაწილაკების ზომების გაზრდით შინაგანი შეჭიდება იზრდება. ასე, მაგალითად, მსხვილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის შინაგანი ხახუნის კუთხე იქნება მეტი, ვიდრე წვრილმარცვლიანის და მით უმეტეს ქვიშოვანის. მსხვილკუთხოვანი და ხორკლიან ზედაპირიანი მარცვლების რიცხვს აქვს მეტი შინაგანი ხახუნი, ვიდრე ხრემის მომრგვალებულ და გლუვზედაპირიან მარცვლებს.

შორის თეორიის თანახმად, ერთდერმა კუმშვის და გაჭიმვის ზღვრული წინაღობა დაკავშირებულია შეჭიდებასთან და შინაგან ხახუნთან:

$$R = 2c \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right); \quad (2)$$

$$r = \frac{2c}{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)}, \quad (3)$$

სადაც R და r – შესაბამისად სიმტკიცის და ზღვრული კუმშვის და გაჭიმვის დროს, მგპა; c – შეჭიდება, მგპა; φ – შინაგანი შეჭიდების კუთხე, რადიანი.

ამ დამოკიდებულებიდან გამომდინარეობს, რომ კუმშვის ან გაჭიმვის წინაღობა იზრდება შეჭიდულობის ზრდასთან ერთად. ხახუნის შინაგანი კუთხის გაზრდით კუმშვის სიმტკიცე იზრდება, ხოლო ძაბვა – მცირდება.

თანაფარდობა კუმშვის და გაჭიმვის სიმტკიცეებს შორის დამოკიდებულია შინაგანი ხახუნის კუთხეზე:

$$\frac{R}{r} = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right). \quad (4)$$

თუ (2) და (3) ფორმულებიდან შევასრულებთ მარტივ გარდაქმნებს, მივიღებთ დამოკიდებულებას შინაგანი ხახუნის და შეჭიდების განსაზღვრისათვის:

$$\sin \varphi = \frac{R - r}{R + r}, \quad (5)$$

$$c = 0,5 \sqrt{Rr}. \quad (6)$$

ასფალტბეტონის კუმშვის სიმტკიცე განისაზღვრება ცილინდრული ფორმის ნიმუშების გამოცდით, რომელთა დიამეტრი და სიმაღლე უნდა იყოს ერთნაირი. ნიმუშები მზადდება იმ ნარევის შემკვრივებით, რომელიც მზადდება ლაბორატორიაში ან იღებენ ამრევი მოწყობილობიდან ან სამუშაო წარმოების ობიექტიდან.

ნიმუშების ზომები ირჩევა ნარევაში მინერალური მარცვლების მაქსიმალური სისხოს მიხედვით:

მსხვილზომებიანისათვის – 101 მმ;
წვრილმარცვლიანისათვის – 71,4 მმ;
ქვიშოვანისათვის – 50,5 მმ.

ლაბორატორიაში ნარევის ცხელი მეთოდით მომზადების დროს მინერალური მასალა (ღორღი, ქვიშა, მინერალური ფხვნილი) წინასწარ უნდა გამოშრეს, ხოლო ბიტუმი გაუწყლოვანდეს.

ღორღს, ქვიშას და ბიტუმს აცხელებენ ცხრილ 1-ში მითითებულ ტემპერატურამდე.
ცხრილი 1

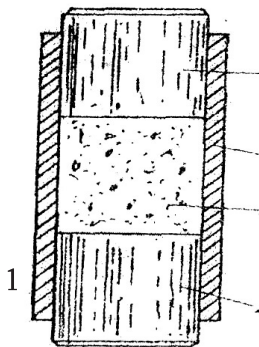
ღორღის, ქვიშის და ბიტუმის გაცხელების ტემპერატურა

მასალის დასახელება	გაცხელების ტემპერატურა, °C, მაჩვენებლებზე დამოკიდებულებით						
	ნემსის ჩაძირვის სიღრმე 25°C ტემპერატურაზე					პირობითი სიბლანტე ვისკოზიმეტრის (5 მმ ნახვრეტით) მიხედვით	
	40–60	61–90	91–130	131–200	201–300	70–130	131–200
ღორღი, ქვიშა	170–180	165–175	160–170	150–160	140–150	100–120	120–140
შემკვრელი	150–160	140–150	130–140	110–120	100–110	80–90	90–100
ნარევი	150–160	145–155	140–150	130–140	120–130	80–100	100–120

შენიშვნა: მინერალური ფხვნილს არ აცხელებენ.

ნიმუშების დამზადების წინ ყალიბებს და სადებს აცხელებენ 90...100°C ტემპერატურამდე.

იმ ნიმუშების შემკვრივებას, რომელიც შეიცავს 50%-მდე ღორღს (მასით), ახდენენ 40 მგპა-მდე წნევით, ჰიდრავლიკურ წნეხაზე, ფოლადის ყალიბში (ნახ. 1).



ნახ. 1. ასფალტბეტონის ნიმუშების დასამზადებელი ყალიბი:
– ცილინდრული ფორმა; 2 – სადები; 3 – შემკვრივებელი ნარევი

ნიმუშებზე წნევას 40 მგპა-მდე ახდენენ 5...10 წმ-ის განმავლობაში, 3 წთ-ის შემდეგ დატვირთვას წყვეტენ და ყალიბიდან ნიმუში გამოაქვთ გამოწნეხვით. ცივი ასფალტბეტონის ნიმუშები მზადდება წინასწარი გაცხელების გარეშე.

ცხელი წნეხვის იმ ნიმუშების შემკვრივებას რომელიც 50%-ზე მეტ ღორღს შეიცავს, ახდენენ თავდაპირველად 0,03 მგპა მიტვირთვითი ვიბრირებით 3 წთ-ის განმავლობაში, შემდეგ 20 მგპა წნევით.

კუმშვის სიმტკიცე განისაზღვრება წნეხზე, დატვირთვის 3 მმ/წთ სიჩქარით. გამოცდის წინ ნიმუშებს ინახავენ 50°C, 20°C ან 0°C ტემპერატურის წყალში, 1 სთ განმავლობაში.

წყლით გაჟღენთილი ნიმუშების სიმტკიცის დასადგენად მათ ჟღენთენ ვაკუუმში. ამისათვის მათ ათავსებენ 20°C ტემპერატურის წყლიან ჭურჭელში. ამ ჭურჭელს 1 სთ ინახავენ ვაკუუმში, სადაც წნევა უნდა იყოს 2000 პასკალამდე (ვერცხ. წყლ. 15 მმ). შემდეგ წნევა ჩამოყავთ ატმოსფერულზე და ნიმუშებს იმავე ჭურჭელში აჩერებენ

კიდევ 30 წთ, 20°C ტემპერატურაზე. ამის შემდეგ ამოიღებენ წყლიდან, წმენდენ სველი ტილოთი და გამოცდიან.

კუმშვის სიმტკიცეს ანგარიშობენ ფორმულით

$$R_d = \frac{P}{F} \text{ კგძ/სმ}^2, \quad (7)$$

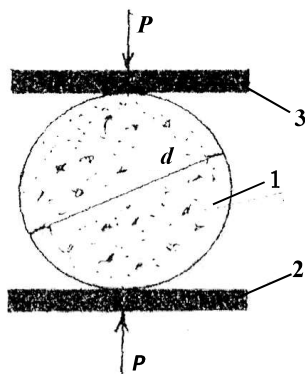
სადაც P – მრღვევი ძალა, კგძ; F – ნიმუშის განივკვეთის თავდაპირველი ფართობი, სმ².

სიმტკიცე მიიღება 3 ნიმუშის საშუალო მაჩვენებელით.

ღუნვის სიმტკიცეს გაპობის ხერხით, ადგენენ ცილინდრული ნიმუშების გამოცდით (ნახ. 2). ეს მეთოდი განკუთვნილია ასფალტბეტონის დაბალ ტემპერატურაზე ბზარმდეგობის შესაფასებლად.

გაპობის მეთოდით გაჭიმვაზე გამოცდის წინ ნიმუშები უნდა შევინახოთ 0°C ტემპერატურის წყალში 1 საათის განმავლობაში. გამოცდა წნეხზე უნდა მოხდეს მუდმივი 3 მმ/წთ სიჩქარით (ნახ. 2).

გაპობის მეთოდით გაჭიმვის სიმტკიცე, მგპა, გამოითვლება ფორმულით:



$$R_d = \frac{P}{hd} 10^{-6}, \quad (8)$$

სადაც P – მრღვევი ძალა, ნ; h – ნიმუშის სიმაღლე, მ; d – ნიმუშის დიამეტრი, მ.

გამოცდის შედეგი განისაზღვრება 3 ნიმუშის საშუალო სიმტკიცით.

ასფალტბეტონის მდგრადობა ძვრადობაზე τ , გამოისახება ფორმულით:

$$\tau = Ptg\phi + c + \Sigma, \quad (9)$$

სადაც P – ძვრის ფართობზე მოსულ ნორმალური წნევა, მგპა; ϕ – ასფალტბეტონის შიგა ხახუნის კუთხე, რად; Σ – მინერალური მარცვლების მოდება, მგპა; c – ბიტუმის კავშირებით განპირობებული შეჭიდება, მგპა.

მოყვანილი დამოკიდებულებიდან ჩანს, რომ ძვრადობის დროს სიმტკიცე დამოკიდებულია როგორც მინერალურ ჩონჩხზე (ϕ , Σ), ასევე ბიტუმის თვისებებზე (c). ექსპლუატაციის პირობებში ასფალტბეტონის ძვრადობის დაკარგვა ყველაზე მეტად დამოკიდებულია ტემპერატურის მატებაზე, რომლის დროსაც ბიტუმი რბილდება და შეჭიდების ძალები (c) მნიშვნელოვნად მცირდება.

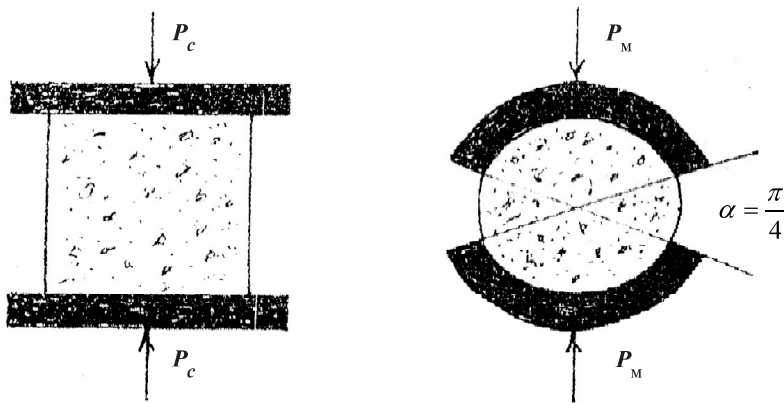
ამასთან დაკავშირებით საჭირო ძვრამდეგობა მიიღწევა ძირითადად მინერალური ნარევის შერჩევით, რომელსაც ექნება შემდეგის დაგვარად დიდი შინაგანი ხახუნი ($tg\phi$) და მოდება (c). ასეთი ნარევისათვის დამახასიათებელია ღორღის, როგორც ძირითადი კარკას შემქმნელი ელემენტის ზედმეტი შემცველობა. ასე, მაგალითად, 65% ღორღის შემცველობის დროს შინაგანი ხახუნზე და მოდებაზე მოდის ძვრის სიმტკიცის დაახლოებით 90%, 20% ღორღის შემცველობის დროს კი – დაახლოებით 70%.

ასფალტბეტონის ძვრამდეგობის ამაღლების სხვა მიმართულებაა ასფალტ-შემკვრელის სიბლანტის და თბომდეგობის გაზრდა. ეს შეიძლება მიღწეული იქნას მისი შემადგენლობის ოპტიმიზაციით (ფარდობით „ბიტუმი-მინერალური ფხვნილი“), მინერალური ფხვნილის აქტივიზაციით და ასევე ბიტუმის პოლიმერებით მოდიფიკაციით.

ასფალტბეტონის ძვრამდეგობის ამაღლება, მასში ღორღის შემცველობის გაზრდით, ყოველთვის არ არის გამართლებული, რადგან ამას ხშირად მივყავართ მისი ხანმდეგობის გაუარესებისაკენ. ამიტომ ამოცანა შეიძლება გადაწყდეს ამ ორი გზის შერწყმით – მასში კარკასული სტრუქტურის მინერალური ჩონჩხის შექმნით, ღორღის მომატებული შემცველობით და სტრუქტურული კავშირების გაზრდით, მინერალური ფხვნილის აქტივიზაციით და ბიტუმის მოდიფიკაციით.

ასფალტბეტონის ძვრამდეგობის დამახასიათებელია შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი (როგორც შინაგანი ხახუნის მინერალური ჩონჩხის და მოდების ინტეგრალური მახასიათებელი) და შეჭიდება. ეს მაჩვენებლები განისაზღვრება შემდეგნაირად.

ასფალტბეტონის ნარევიდან მზადდება არანაკლებ 6 ნიმუში – ცილინდრი 71,4 მმ დიამეტრით. გამოცდის წინ ნიმუშები უნდა 1 სთ შევინახოთ 50°C ტემპერატურის წყალში. შემდეგ ის გამოიცდება ორი სქემით: ნიმუშების ნახევარი – პირველი სქემით (ნახ. 3, ა) მეორე – მეორე სქემით (ნახ. 3, ბ).



ნახ. 3. ნიმუშების ძვრამდეგობაზე გამოცდა:

ა – ერთღერძა დატვირთვის დროს; ბ – მარშალის მეთოდით

გამოცდა წარმოებს ისეთ წნეხზე, რომელსაც შეუძლია უზრუნველყოს დატვირთვის სიჩქარე 50 მმ/წთ. გამოცდის პროცესში აფიქსირებენ ძალის მზომის მაქსიმალურ მაჩვენებელს, რომელიც მიიღება როგორც ამრღვევი დატვირთვა. ამავედროულად ინდიკატორის მეშვეობით იზომება ზღვრული დეფორმაცია, რომელიც შეესაბამება მრღვევ დატვირთვას და ნიმუშის დატვირთვის დრო წამმზომით.

ერთღერძა დატვირთვაზე მარშალის სქემით კუმშვაზე გამოცდის დროს, თითოეული ნიმუშისათვის გამოიანგარიშება მუშაობა A , ჯოული, ფორმულით:

$$A = \frac{Pl}{2}, \quad (10)$$

სადაც P – მრღვევი ძალა, კნ; l – ზღვრული დეფორმაცია, მმ.

ნიმუშების დეფორმირების მუშაობა გამოითვლება როგორც საშუალო მნიშვნელობა არანაკლებ 3 ნიმუშის გამოცდიდან.

შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი $tg\phi$ გამოითვლება ფორმულით

$$tg\phi = \frac{3(A_0 - A_3)}{3A_0 - A_3}, \quad (11)$$

სადაც A_0 – ასფალტბეტონის ნიმუშების დეფორმირების საშუალო მუშაობაა, მარშალის სქემით გამოცდის დროს; A_0 – იგივე ერთდერძა კუმშვაზე, ჯოული.

ლიტერატურა

1. ა. ჩიქოვანი. ბეტონის ტექნოლოგია. სტუ, 2015.
2. ლ. კლიმიაშვილი, დ. გურგენიძე, ა. ჩიქოვანი. ბეტონები, ტექნიკური მოთხოვნები, გამოცდის მეთოდები ევროპულ სამშენებლო ნორმებთან შესაბამისობით, სტუ, 2018.
3. ლ. კლიმიაშვილი, დ. გურგენიძე, ა. ჩიქოვანი. ბეტონმცოდნეობა, სტუ. 2021.
4. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы. Москва, КноРус, 2021.

რეზიუმე

ასფალტბეტონის სიმტკიცე განისაზღვრება კომპონენტების ხარისხით და რაოდენობრივი შემადგენლობით, მათი შერწყმით, განლაგებით და მათ შორის კავშირებით. ასფალტბეტონის ხარისხს განსაზღვრავს მისი მთავარი თვისებები: სიმტკიცე და დეფორმაციულობა, სიმკვრივე და ატმოსფერომედეგობა, დაბერება და ხანმედეგობა. ასფალტბეტონის სტრუქტურა შედგება პოლიდისპერსიული მინერალური კომპონენტებისაგან, მიკრო-, მაკრო- და მეზოსტრუქტურისაგან, რაც დიდ გავლენას ახდენს ასფალტბეტონის სიმტკიცეზე, და რომელთა გათვალისწინება აუცილებელია სიმტკიცის დასადგენად.

კონსტრუქციაში ასფალტბეტონი, ტემპერატურასა და დეფორმირების პირობებზე დამოკიდებულებით, შეიძლება იმყოფებოდეს შემდეგ სტრუქტურულ მდგომარეობაში: დრეკადხისტი, დრეკადპლასტიკური და ბლანტპლასტიკური.

RESUME

The strength of asphalt concrete is determined by the quality and quantitative composition of the components, their combination, arrangement and connections between them. The quality of asphalt concrete is determined by its main properties: strength and deformability, density and the atmospheresustainable, aging and durability. The structure of asphalt concrete consists of polydisperse mineral components, micro-, macro- and mesostructure, which greatly affect the strength of asphalt concrete, and which must be taken into account to determine the strength.

In construction, asphalt concrete, depending on the temperature and deformation conditions, can be in the following structural states: ductile-rigid, ductile-plastic and viscoplastic.