

Florin BELC

**VERIFICAREA CALITĂȚII UNOR
MATERIALE COMPOZITE RUTIERE**

CUPRINS

1. CARACTERISTICI DE LABORATOR	3
1.1. Rezistența la compresiune	5
1.2. Rezistența la întindere	9
1.3. Încercarea braziliană	11
1.4. Determinarea sensibilității la apă	12
1.5. Determinarea pierderii de masă	14
1.6. Determinarea modulului de elasticitate	15
1.6.1. Cazul agregatelor naturale stabilizate cu ciment	17
1.6.2. Cazul mixturilor asfaltice	22
1.7. Determinarea legilor de oboseală	29
1.7.1. Cazul agregatelor naturale stabilizate cu ciment	30
1.7.2. Cazul mixturilor asfaltice	32
1.8. Determinarea volumului de goluri	34
1.9. Încercarea Duriez	36
1.10. Rezistența la formarea făgașelor (ornieraj)	38
1.11. Particularități privind caracteristicile straturilor stabilizate	39

1. CARACTERISTICI DE LABORATOR

Experiența acumulată pe plan internațional și național atestă faptul că reușita lucrărilor de realizare a straturilor rutiere din agregate naturale stabilizate cu ciment, var sau lianți puzzolanici, în general, și a tehnologiilor de reciclare, în particular, este strâns legată de modul în care sunt concepute dozajele, de modul de respectare a proceselor tehnologice și de asigurare a controlului pe durata execuției. Toate acestea pot fi bine stăpânite prin determinarea în laborator a principalelor caracteristici fizico-mecanice și de deformabilitate a acestor materiale, urmată de interpretarea corectă a rezultatelor obținute și de calibrări tehnologice care să permită obținerea rezultatelor proiectate.

Este important ca în afara caracteristicilor fizico-mecanice ale acestor materiale (rezistența la compresiune, încercarea braziliană, sensibilitatea la apă, volumul de goluri etc.), care stau adesea la baza determinării dozajului optim de liant în amestec, să fie cunoscute și caracteristicile folosite pentru dimensionarea straturilor rutiere obținute și caracterizarea comportării acestora în exploatare (modul de elasticitate, lege de oboseală etc.).

Din păcate, mai ales în țara noastră, caracteristicile care trebuie determinate și cerințele care trebuie respectate de materialele rutiere obținute prin reciclare (la cald, la rece, respectiv cu diferiți lianți) nu sunt decât vag menționate de normele în vigoare. Din acest motiv, de regulă analizarea calității materialelor rutiere obținute prin reciclare se realizează pornind fie de la caracteristicile unor agregate naturale stabilizate cu ciment, fie de la cele ale mixturilor asfaltice produse, mai ales, la cald.

Trebuie reținut faptul că, înainte de demararea oricărei lucrări de reciclare, investigațiile de teren și de laborator sunt obligatorii. Astfel, prin determinarea capacității portante (pârghia Benkelman și mai ales deflectometre cu sarcină dinamică), se poate stabili cu exactitate ce tehnologie de reciclare se poate aplica pentru complexul rutier considerat (cu sau fără aport de capacitate portantă, cu lianți bituminoși sau cu ciment etc.) sau dacă este necesară reconstrucția (reabilitarea) structurii de rezistență. Pe de altă parte, pe baza carotelor prelevate

(fig. 1.1), trebuie să se determine sau să se verifice caracteristicile materialelor și grosimile straturilor din structura rutieră asupra căreia se va acționa.



Fig. 1.1. Sondaj în structura rutieră.

Numărul carotelor prelevate pe fiecare sector omogen trebuie să ofere date statistice reprezentative și va depinde de importanța lucrărilor executate. În general, se apreciază că două carote și un sondaj deschis pe fiecare kilometru sunt suficiente. De asemenea, pentru o bună reușită a lucrărilor și o comportare corespunzătoare în exploatare, este necesar să se determine atât caracteristicile materialelor din straturile superioare ale structurii rutiere, cât și din straturile inferioare.

O analiză specială trebuie efectuată asupra structurilor rutiere vechi care au în componență suprafețe majore cu reparații, cu lărgiri ale părții carosabile inițiale, corecții de traseu etc. Acestea conțin în mod frecvent materiale și straturi eterogene, cu condiții de calitate necorespunzătoare. Experiența acumulată până în prezent arată că deseori apar variații importante ale grosimilor straturilor rutiere care se reciclează, dar și variații de calitate a straturilor rutiere inferioare. Pornind de la acest considerent se poate ajunge la o împărțire exagerat de mare în sectoare omogene a drumului pentru realizarea lucrărilor de reciclare. Din punct de vedere tehnologic, este preferabil ca lungimea sectoarelor omogene să nu se micșoreze sub 500 m.

În continuare se prezintă câteva încercări de laborator pe baza cărora se poate determina calitatea materialelor rutiere înainte și după reciclare, cu anumite recomandări propuse de literatura de specialitate internațională.

1.1. Rezistența la compresiune

Rezistența la compresiune este una dintre încercările de laborator frecvent utilizate pentru analiza calității materialelor rutiere stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici, respectiv a materialelor rutiere obținute prin reciclarea cu ciment. Pentru agregatele naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici determinarea acestei caracteristici se realizează pe epruvete cilindrice, prin solicitarea lor la compresiune, perpendicular pe direcția generatoarei, cu o presă hidraulică. De regulă, în paralel, se poate efectua și determinarea modului de elasticitate (fig. 1.2).

Rezistența la compresiune se calculează în urma determinării forței maxime de rupere (fig. 1.3), cu relația următoare:

$$R_c = \frac{F}{A} \quad [N/mm^2] \quad (1.1)$$

în care:

R_c este rezistența la compresiune, în N/mm^2 (MPa);

F – forța maximă de rupere a epruvetei, în N;

A – aria inițială a secțiunii transversale a epruvetei, în mm^2 .



Fig. 1.2. Determinarea rezistenței la compresiune și a modului de elasticitate.



Fig. 1.3. Ruperea epruvetei prin solicitarea la compresiune.

Determinarea modului de elasticitate prin încercare la compresiune se poate efectua pe același tip de epruvetă, cu măsurarea deformațiilor longitudinale ale probei pe trei generatoare (fig. 1.2).

Pentru obținerea unor rezultate corecte este obligatorie respectarea următoarelor condiții de încercare:

- baza inferioară și cea superioară a epruvetei pe care se exercită forța de compresiune trebuie să fie plane și paralele (diferența de lungime a generatoarelor trebuie să fie mai mică de 2 mm, la 100 mm). În cazul în care acestea nu sunt paralele trebuie executate lucrări de rectificare a fețelor respective (polizare sau remodelare cu sulf);

- aplicarea sarcinii în mod crescător, continuu și uniform până la rupere (de exemplu 5 mm/min.). Epruveta trebuie să fie centrată pe platanele presei astfel încât aplicarea sarcinii să se facă axial și nu excentric. Viteza de încărcare se va alege astfel încât ruperea să se producă într-un timp de 30...60 s. Este recomandat ca erorile de măsurare a forței și deformațiilor să nu fie mai mari de $\pm 1\%$;

- înregistrarea în mod continuu a curbei forță – deplasare verticală în cazul determinării rezistenței la compresiune, respectiv forță – deformație în cazul măsurării modulului de elasticitate.

În paralel cu determinarea caracteristicilor sus-menționate operatorul trebuie să urmărească și modul în care se rupe epruveta și să precizeze acest lucru în buletinul de analiză. Astfel, tipurile corespunzătoare în care poate ceda epruveta sunt redată în fig. 1.4, în timp ce în fig. 1.5 sunt redată moduri de rupere necorespunzătoare.

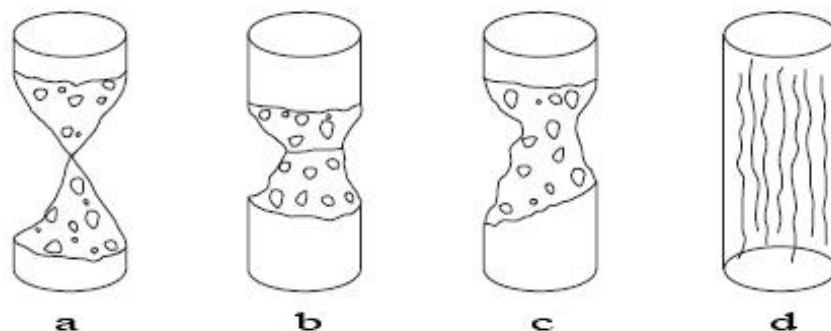


Fig. 1.4. Tipuri de rupere corespunzătoare.

Conform normelor românești, prepararea epruvetelor se realizează în tipare metalice cilindrice, prin compresiune exercitată la cele două capete prin intermediul unor pistoane metalice. Presiunea exercitată pe cele două pistoane, prin intermediul unei prese hidraulice, se stabilește prin încercări preliminare, astfel încât epruvetele să aibă înălțimea standardizată, iar gradul lor de compactare să fie de min. 95 % Proctor modificat. Materialul cu care se prepară epruvetele trebuie să aibă o umiditate apropiată de cea optimă de compactare Proctor modificat (în intervalul $w_{opt} - 2\% \dots w_{opt} + 1\%$). Presiunea maximă odată obținută se menține constantă timp de 3 min., timpul necesar atingerii acesteia printr-o încărcare continuă și uniformă fiind de 2 min.

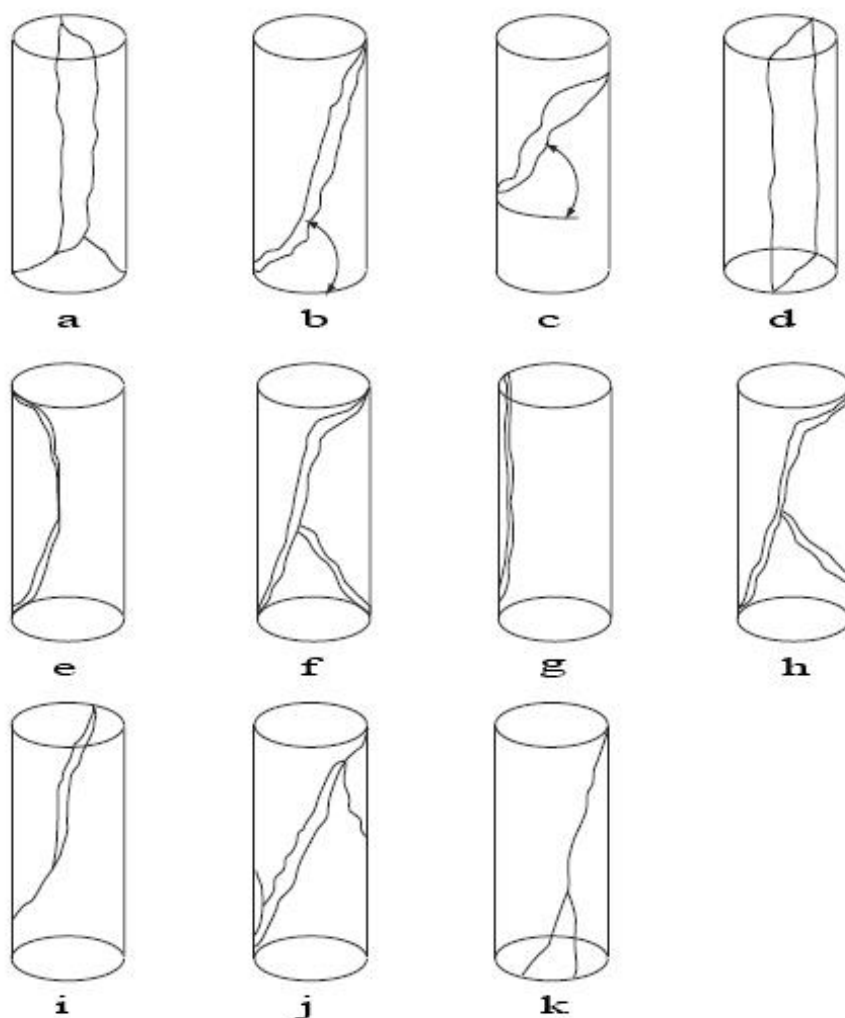


Fig. 1.5. Tipuri de rupere necorespunzătoare.

Decofrarea epruvetelor se realizează imediat după preparare cu ajutorul unui piston metalic și a unui prelungitor. Păstrarea epruvetelor până la vârsta efectuării determinării trebuie să se efectueze în poziție verticală, în condiții care să împiedice evaporarea apei din epruvete (învelite în folie de polietilenă, incinte etanșe cu atmosferă umedă) și la temperatură constantă.

Înainte de efectuarea încercării epruvetele trebuie cântărite cu o precizie de $\pm 0,25 \%$, urmând ca masa obținută să fie comparată cu masa inițială. Orice diferențe constatate trebuie menționate în raportul de analiză, iar dacă diferența este

mai mare de $\pm 2\%$ rezultatele pot fi respinse deoarece ele pot să nu fie reprezentative pentru materialul supus analizei.

Dimensiunile epruvetelor care se prepară pentru agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici sunt prezentate în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1.

Material	România		Norme europene	
	d, în cm	h, în cm	d, în cm	h, în cm
Dimensiunea maximă a granulelor de 31 mm (22,4 mm după normele europene)	7,14	10,50	10,00	10,00 sau 20,00
Dimensiunea maximă a granulelor de 7 mm (11,2 mm după normele europene)	5,05	7,50	5,00	5,00 sau 10,00

Valorile impuse de normele românești în vigoare pentru rezistența la compresiune a materialelor rutiere stabilizate cu ciment pentru diferite straturi rutiere, la anumite vârste, sunt prezentate în tabelul 1.2.

Tabelul 1.2.

Strat rutier	Rezistența la compresiune	
	la 7 zile, în N/mm ²	la 28 zile, în N/mm ²
Strat de bază pentru structuri rutiere mixte, platforme și locuri de parcare	1,5...2,2	2,2...5,0
Strat de fundație pentru structuri rutiere mixte sau rigide, respectiv pentru consolidarea benzilor de încadrare și acostamentelor	1,2...1,8	1,8...3,0
Strat de formă	0,8...1,2	1,2...2,0

Pe de altă parte, normele franceze stabilesc valorile admisibile ale rezistenței la compresiune pe tipuri de materiale stabilizate cu ciment și vârstă, astfel (la 28 zile):

- pentru balast valoarea obținută trebuie să fie mai mare de 10,0 N/mm²;
- pentru nisip rezistența la compresiune va fi de 2,0...8,0 N/mm²;
- pentru pământuri stabilizate cu lianți hidraulici rezistența la compresiune va fi de 1,5...4,0 N/mm¹.

Pentru un anumit material stabilizat și aceeași vârstă, valoarea rezistenței la compresiune se calculează ca medie a trei determinări, cu condiția ca valorile rezistențelor obținute să nu difere cu mai mult de 0,2 N/mm¹.

Conform normelor europene, epruvetele preparate în laborator pentru determinarea rezistențelor mecanice (rezistența la compresiune, rezistența la întindere directă, rezistența la întindere indirectă etc.), respectiv pentru determinarea modulului de elasticitate, pot fi compactate prin presare, prin batere

(cu maiul Proctor), prin vibrare (cu o masă vibrantă), vibrocompresiune sau cu un ciocan vibrant. De asemenea, normele europene admit utilizarea unor epruvete cubice, preparate în aceleași condiții, pentru determinarea rezistenței la compresiune pentru materiale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. De exemplu, prin metoda de compactare prin presare se pot prepara numai epruvete cilindrice (tabelul 1.1), în timp ce prin metoda de compactare cu ciocanul vibrant se pot prepara atât epruvete cilindrice cât și cubice (diametrul și înălțimea, sau latura cubului, de 10,00 cm pentru materiale cu granula maximă de 22,4 mm, respectiv diametrul și înălțimea, sau latura cubului, de 15,00 cm pentru materiale cu granula maximă de 31,5 mm).

Rezistența la compresiune se poate determina, respectând aceleași principii de încercare, și pe carote prelevate din straturi rutiere stabilizate aflate în exploatare.

1.2. Rezistența la întindere

Determinarea rezistenței la întindere directă pe epruvete cilindrice de formă specială nu este încă dezvoltată în țara noastră (fig. 1.6) pentru materiale stabilizate cu ciment. Încercarea respectivă permite determinarea atât a rezistenței la întindere, cât și a modulului de elasticitate pe agregate naturale stabilizate cu ciment cu dimensiunea maximă a granulei de 31,5 mm (conform normelor tehnice franceze).



Fig. 1.6. Determinarea rezistenței la întindere și a modulului de elasticitate.

Epruvetele utilizate pentru determinarea rezistenței la întindere se prepară prin vibropresare. În acest sens, se folosesc tipare din materiale rigide (material plastic sau alte materiale similare), de formă specială (fig. 1.7.a), tăiate pe două generatoare opuse pentru a se putea efectua decofrarea, după producerea prizei liantului. Tiparele sunt fixate într-un cadru de rigidizare prevăzut cu prelungitor (fig. 1.7.b), iar compactarea se asigură printr-o presiune verticală crescătoare sub formă de impulsuri, transmisă probei prin intermediul unui piston metalic, respectiv printr-o vibrație orizontală (frecvența de

100 Hz și amplitudinea de 0,8...1,0 mm). Vibrația trebuie să fie suficientă pentru compactarea epruvetei la densitatea solicitată (Proctor modificat) într-un timp de 90 s, cu o presiune exercitată asupra amestecului de max. 0,5 N/mm¹. Prepararea epruvetei se consideră terminată atunci când fața superioară a materialului introdus în prelungitor a ajuns la partea superioară a tiparului.

Dacă în condițiile menționate anterior amestecul nu pătrunde în totalitate în tipar se modifică densitatea sau umiditatea considerate inițial pentru calculul masei probei.

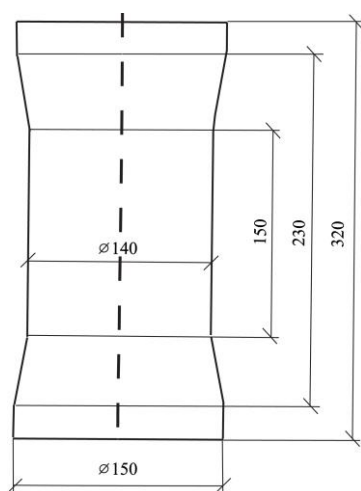


Fig. 1.7.a. Forma epruvetei pentru încercarea de întindere directă.

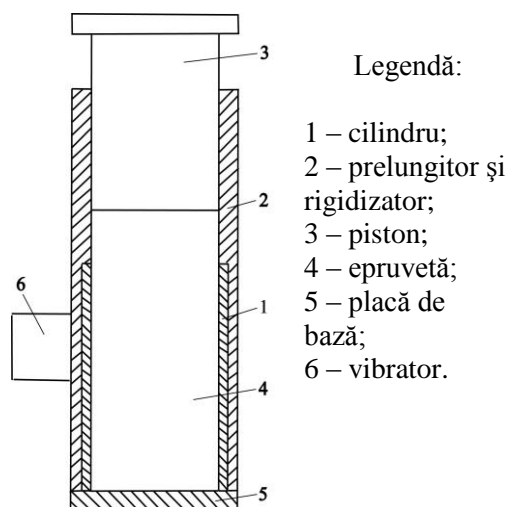


Fig. 1.7.b. Modul de preparare a epruvetelor prin vibropresare.

După prepararea epruvetelor se retrage tiparul și proba din dispozitivul de preparare, se așază capacele la tipar și se izolează cu bandă adezivă pentru evitarea pierderilor de umiditate. Depozitarea epruvetelor se efectuează în poziție verticală, în tipare și în incinte cu temperatură constantă.

Prin metoda de compactare sus-menționată, conform normelor europene, pot fi preparate și epruvete cilindrice cu următoarele caracteristici:

- diametrul de 10,0 cm și înălțimea de 10,0 sau 20,0 cm, pentru amestecuri cu dimensiunea maximă a granulei de 22,4 mm;
- diametrul de 16,0 cm și înălțimea de 16,0 sau 32,0 cm, pentru amestecuri cu dimensiunea maximă a granulei de 31,5 mm.

Pentru efectuarea încercării, epruveta se fixează de platanele preseii prin intermediul a două carcase metalice prinse de platane, fără jocuri, după care este supusă la întindere longitudinală până la rupere. Forța de întindere se aplică continuu și uniform cu o viteză de 0,01 MPa/s, urmând ca forța de rupere să se înregistreze cu o exactitate de $\pm 1\%$.

Rezistența la întindere se calculează cu relația următoare:

$$R_t = \frac{4F}{\pi \cdot D^2} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1.2)$$

în care:

R_t este rezistența la întindere directă, în N/mm^2 (MPa);

F – forța maximă de rupere a epruvetei, în N;

D – diametrul secțiunii transversale micșorate a epruvetei, în mm.

Dacă ruperea se produce în afara părții centrale a epruvetei, acest lucru va trebui menționat în buletinul de analiză.

Determinarea modulului de elasticitate se realizează pe baza înregistrării deformației longitudinale a epruvetei pe direcția a trei generatoare, decalate între ele cu câte un unghi de 120° (fig. 1.6).

Valorile rezistenței la întindere precizate de literatura franceză pentru materiale stabilizate cu lianți hidraulici, după 360 zile de păstrare în condiții standardizate, sunt următoarele:

- pentru balast stabilizat: 1,1...2,5 N/mm^2 ;
- pentru nisip stabilizat: 0,6...1,4 N/mm^2 ;
- pentru pământuri tratate: 0,3...0,9 N/mm^2 .

Pentru efectuarea încercării, forța de întindere trebuie aplicată cu viteză constantă și fără șocuri (tensiunea exercitată pe fețele epruvetei trebuie să crească permanent cu $0,010 \pm 0,005 \text{ N/mm}^2$), până la rupere.

1.3. Încercarea braziliană

Încercarea braziliană constă în supunerea unor epruvete cilindrice la o forță de compresiune aplicată pe două generatoare opuse, până la rupere. Încercarea braziliană permite determinarea indirectă a rezistenței la întindere (fig. 1.8).



Fig. 1.8. Determinarea rezistenței la întindere prin încercarea braziliană.

Încercarea braziliană se poate aplica pentru materiale (agregate naturale sau pământuri) stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, respectiv var, dar și pentru mixturi asfaltice (conform normelor românești în vigoare).

Presă utilizată pentru efectuarea încercării trebuie să permită:

- dezvoltarea unei forțe necesare ruperii epruvetei, cu înregistrarea acesteia cu o precizie de $\pm 1\%$;

- atașare de platane speciale, care trebuie să fie cel puțin egale cu înălțimea epruvetei care se încearcă (preferabil mai lungi decât epruveta), iar planeitatea acestora să fie mai mică de 3 %;

- fixarea unui dispozitiv special de centrare a epruvetei pe platanul inferior.

Normele europene permit prepararea epruvetelor în laborator prin toate metodele de compactare descrise anterior, dar epruvetele trebuie să fie cilindrice și cu o valoare a coeficientului de zveltețe (raportul dintre înălțimea și diametrul epruvetei) de 0,8...2,0.

Epruvetele trebuie păstrate în condiții corespunzătoare pentru a se evita pierderile de umiditate (se recomandă ca diferențele de masă dintre momentul preparării și cel al încercării să nu depășească ± 2 %). Înaintea efectuării încercării este obligatorie verificarea paralelismului generatoarelor pe care se exercită încărcarea (se acceptă o diferență între dimensiunile diametrelor de max. 1 mm la fiecare 100 mm), iar epruvetele care nu corespund trebuie înlăturate.

Rezistența la întindere indirectă se calculează cu relația următoare:

$$R_{it} = \frac{4F}{\pi \cdot H \cdot D} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1.3)$$

în care:

R_{it} este rezistența la întindere indirectă, în N/mm^2 (MPa);

F – forța maximă de rupere a epruvetei, în N;

H – înălțimea epruvetei cilindrice, în mm;

D – diametrul secțiunii transversale a epruvetei, în mm.

În țara noastră este standardizată încercarea braziliană pentru determinarea rezistenței la întindere indirectă pe epruvete din mixturi asfaltice (diametrul și înălțimea de 7,0 cm), preparate prin presare, la cald.

1.4. Determinarea sensibilității la apă

Analizarea sensibilității la apă se utilizează în cazul agregatelor naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici, respectiv al pământurilor tratate cu var (materiale pentru realizarea straturilor de bază, de fundație sau de formă).

Înainte de efectuarea imersării în apă, epruvetele se cântăresc și li se măsoară dimensiunile (înălțime și diametru).

Sensibilitatea la apă se evidențiază prin determinarea scăderii rezistenței la compresiune, a umflării și a absorbției de apă a epruvetelor imersate în apă timp de 7 zile, după împlinirea vârstei de 7 zile (în cazul agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici) sau de 21 zile (în cazul agregatelor naturale stabilizate cu lianți puzzolanici). Imersarea se realizează după scoaterea epruvetelor din învelișul etanș în care au fost păstrate după preparare, prin introducerea în apă într-o cutie sau vas metalic prevăzut cu grătar, astfel încât nivelul apei să depășească cu 2...3 cm baza superioară a epruvetei.

După scurgerea timpului de imersare în apă, epruvetele se scot, se șterg cu o cârpă umedă, după care li se determină masa, dimensiunile (diametrul și înălțimea) și rezistența la compresiune. Pe baza valorilor măsurate se calculează următoarele caracteristici:

- scăderea rezistenței la compresiune, determinată pe baza rezistențelor la compresiune determinate, astfel:

$$\Delta R_c = \frac{R_{c14(28)} - R_{c7(21) + 7im}}{R_{c14(28)}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.4)$$

în care:

ΔR_c este scăderea rezistenței la compresiune, în %;

$R_{c14(28)}$ – rezistența la compresiune a epruvetelor la 14 zile (în cazul lianților hidraulici) sau 28 zile (în cazul lianților puzzolanici), în N/mm²;

$R_{c7(21) + 7im}$ – rezistența la compresiune a epruvetelor la 7 zile (în cazul lianților hidraulici) sau 21 zile (în cazul lianților puzzolanici), urmată de imersarea în apă timp de 7 zile, în N/mm²;

- umflarea volumică, determinată pe baza dimensiunilor epruvetelor măsurate înainte și după imersare, astfel:

$$U = \frac{V_{7(21) + 7im} - V_{7(21)}}{V_{7(21)}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.5)$$

în care:

U este umflarea epruvetelor după imersarea în apă timp de 7 zile, în %;

$V_{7(21)}$ – volumul epruvetelor la vârsta de 7 zile (în cazul lianților hidraulici) sau 14 zile (în cazul lianților puzzolanici), funcție de înălțimea și diametrul epruvetelor, în cm³;

$V_{7(21) + 7im}$ – volumul epruvetelor la vârsta de 7 zile (în cazul lianților hidraulici) sau 21 zile (în cazul lianților puzzolanici), urmată de imersarea în apă timp de 7 zile, funcție de înălțimea și diametrul epruvetelor, în cm³;

- absorbția de apă, determinată pe baza maselor epruvetelor cântărite înainte și după imersare, astfel:

$$A = \frac{m_{7(21) + 7im} - m_{7(21)}}{m_{7(21)}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.6)$$

în care:

A este absorbția de apă după imersarea epruvetelor timp de 7 zile, în %;

$m_{7(21)}$ – masa epruvetelor la vârsta de 7 zile (în cazul lianților hidraulici) sau 14 zile (în cazul lianților puzzolanici), în g;

$m_{7(21) + 7im}$ – masa epruvetelor la vârsta de 7 zile (în cazul lianților hidraulici) sau 21 zile (în cazul lianților puzzolanici), urmată de imersarea în apă timp de 7 zile, în g.

Încercările se efectuează pe trei epruvete pentru fiecare caracteristică, iar pentru interpretare se consideră media lor, cu condiția ca abaterea maximă față de valoarea medie să nu depășească $\pm 0,5\%$.

Valorile maxime impuse de normele românești pentru caracteristicile care stau la baza determinării sensibilității la apă a agregatelor naturale stabilizate cu ciment sunt prezentate în tabelul 1.3.

Tabelul 1.3.

Strat rutier	Sensibilitatea la apă:		
	ΔR_c , în %	umflarea, în %	absorbția, în %
Strat de bază pentru structuri rutiere mixte, platforme și locuri de parcare	20,00	2,00	5,00
Strat de fundație pentru structuri rutiere mixte sau rigide, respectiv pentru consolidarea benzilor de încadrare și acostamentelor	25,00	5,00	10,00

Epruvetele care se utilizează pentru realizarea încercărilor sus-menționate sunt de formă cilindrică și sunt preparate și păstrate în condițiile precizate la pct. 1.1, specifice normelor românești.

1.5. Determinarea pierderii de masă

Pierderea de masă este o caracteristică solicitată de normele românești pentru agregatele naturale stabilizate cu lianți hidraulici utilizate la realizarea straturilor de fundație sau de bază. Încercarea presupune supunerea unor epruvete cilindrice, preparate și păstrate în condiții similare cu cele încercate la compresiune, la 14 cicluri de îngheț-dezghet sau de saturare-uscare. Epruvetele trebuie să aibă vârsta de 7 zile pentru efectuarea încercării de îngheț-dezghet și de 14 zile (13 zile + 1 zi imersare în apă) pentru cele supuse la saturare-uscare.

Un ciclu de îngheț-dezghet constă în:

- menținerea timp de 16 ore a epruvetelor la temperatura de $-4...-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ într-o instalație frigorifică;

- imersarea în apă timp de 8 ore a epruvetelor la temperatura de $23...27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Un ciclu de saturare-uscare presupune:

- menținerea epruvetelor în etuvă, timp de 18 ore, la temperatura de $69...73\text{ }^{\circ}\text{C}$, după care probele sunt lăsate să se răcească la temperatura camerei timp de o jumătate de oră;

- imersarea epruvetelor în apă la temperatura de $23...27\text{ }^{\circ}\text{C}$, timp de 5 ore, după care sunt lăsate să se scurgă de apă în exces timp de o jumătate de oră.

Pe parcursul ciclurilor de saturare-uscare sau de îngheț-dezghet epruvetele sunt examinate vizual în vederea constatării numărului de cicluri după care au apărut primele degradări.

După finalizarea ciclurilor de saturare-uscare sau de îngheț-dezghet epruvetele se șterg cu o cârpă umedă, se îndepărtează părțile degradate și se cântăresc.

Calcularea pierderii de masă în urma ciclurilor de saturare-uscare se efectuează cu relația următoare:

$$P_{su} = \frac{m_7 - m_{7+14csu}}{m_7} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.7)$$

în care:

P_{su} este pierderea de masă în urma ciclurilor de saturare-uscare, în %;

m_7 – masa epruvetelor la vârsta de 7 zile, în g;

$m_{7+14csu}$ – masa epruvetelor la vârsta de 7 zile urmată de 14 cicluri de saturare-uscare, în g.

Pierderea de masă prin îngheț-dezghet se determină astfel:

$$P_{id} = \frac{m_{13+lim} - m_{14+14cid}}{m_{13+lim}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.8)$$

în care:

P_{id} este pierderea de masă în urma ciclurilor de îngheț-dezghet, în %;

m_{13+lim} – masa epruvetelor la vârsta de 13 zile urmată de o zi imersare în apă, în g;

$m_{14+14cid}$ – masa epruvetelor la vârsta de 14 zile urmată de 14 cicluri de îngheț-dezghet, în g.

Pierderea de masă prin saturare-uscare sau îngheț-dezghet se determină ca medie a valorilor obținute prin încercarea a trei epruvete. Abaterea admisibilă maximă a valorilor, față de valoarea medie obținută, trebuie să fie de $\pm 0,5\%$.

Standardul românesc în vigoare impune valori maxime ale pierderii de masă obținută prin cele două tipuri de încercare de 7 % pentru agregatele naturale stabilizate cu ciment utilizate pentru realizarea unor straturi de bază, respectiv de 10 % pentru cele utilizate pentru realizarea unor straturi de fundație.

1.6. Determinarea modulului de elasticitate

Starea de tensiuni și deformații specifice într-un strat rutier compozit (stabilizat cu lianți hidraulici sau puzzolanici, cu lianți bituminoși sau cu lianți micști), care face parte dintr-o structură rutieră supusă solicitărilor din trafic, este cea corespunzătoare încovoierii sale (fig. 1.9). Tensiunea de întindere maximă (σ_t) apare în punctul A, la interfața dintre stratul respectiv și stratul inferior, și atât timp cât rămâne inferioară tensiunii de rupere prin încovoiere (R_t) stratul rutier respectiv rezistă solicitărilor de încovoiere. În caz contrar stratul respectiv va fisura.

Pe de altă parte, în cazul a două straturi rutiere care lucrează legate la interfață, starea de tensiuni este cea din fig. 1.9. Dacă straturile rutiere compozite

lucrează în exploatare fără legături la interfețe, atunci starea de tensiuni care apare este cea prezentată în fig. 1.10, fiind necesară verificarea tensiunilor apărute în fiecare strat (σ_{t1} și σ_{t2}) cu rezistența de rupere la încovoiere corespunzătoare pentru fiecare material în parte (R_{t1} și R_{t2}).

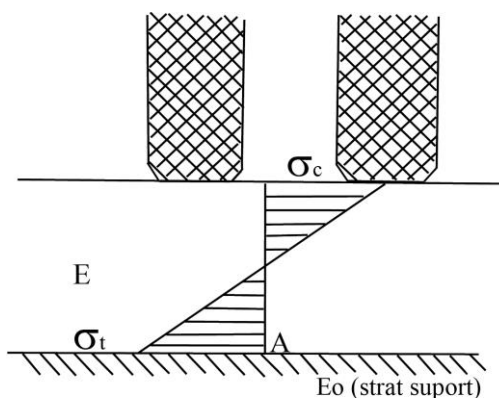


Fig. 1.9. Starea de tensiuni într-un strat rutier compozit sau în mai multe straturi legate între ele.

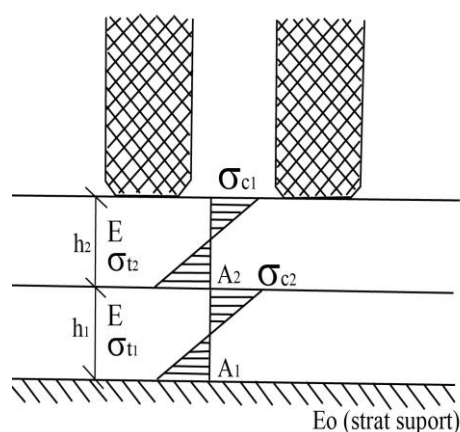


Fig. 1.10. Starea de tensiuni în două straturi rutiere compozite care lucrează independent.

Ca o observație la această comportare a straturilor rutiere compozite se remarcă importanța funcționării acestora ca un întreg monolit, deoarece în caz contrar durata de exploatare a întregii structuri rutiere se diminuează semnificativ. Astfel, calculele efectuate de către specialiștii francezi cu metoda rațională de dimensionare specifică (cu programul de calcul ALIZE), pentru o anumită structură rutieră supusă la același trafic dar cu legături diferite între straturile rutiere, au condus la rezultatele din fig. 1.11.

Pentru o stare de solicitare dată, tensiunile și deformațiile specifice din straturile rutiere compozite sunt determinate de valoarea modulului de elasticitate al materialului din care a fost executat stratul respectiv. Rezultă că, pentru definirea comportării elastice, la prima încărcare trebuie cunoscute, pe de o parte, modul de elasticitate (E) și coeficientul lui Poisson (μ), iar pe de altă parte, rezistența la întindere din încovoiere (R_t).

Urmărind acest raționament se observă că determinarea numai a rezistenței la compresie (R_c) nu este suficientă pentru definirea comportării unui material compozit sub trafic. Mai mult decât atât, comportarea reală sub trafic a unor astfel de materiale este influențată de caracteristicile de deformabilitate, indiferent dacă sunt considerate agregatele naturale stabilizate cu lianți hidraulici, puzzolanici, bituminoși sau micști, respectiv mixturile asfaltice.

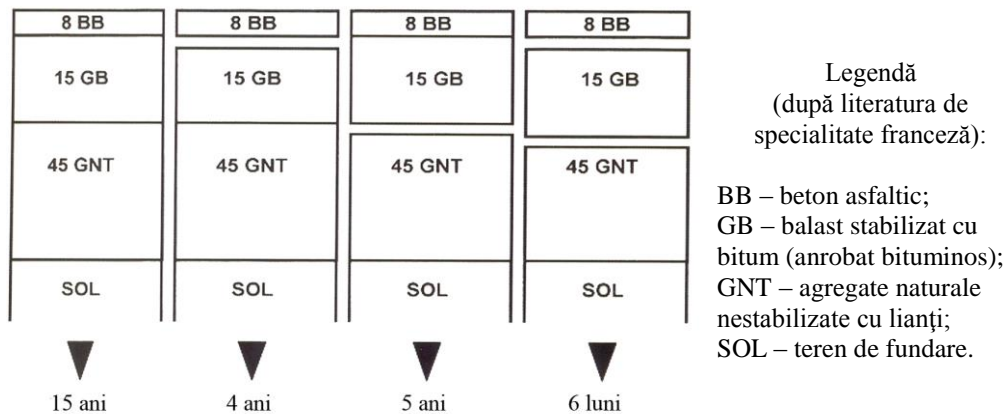


Fig. 1.11. Evoluția duratei de exploatare a unei structuri rutiere funcție de legăturile existente între straturi.

1.6.1. Cazul agregatelor naturale stabilizate cu ciment

Pentru determinarea modulului de elasticitate al agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se utilizează în prezent următoarele tipuri de încercări:

- la compresiune;
- la întindere directă;
- la întindere indirectă.

Epruvetele care se supun încercărilor pot fi preparate în laborator sau obținute prin carotare din straturi rutiere existente.

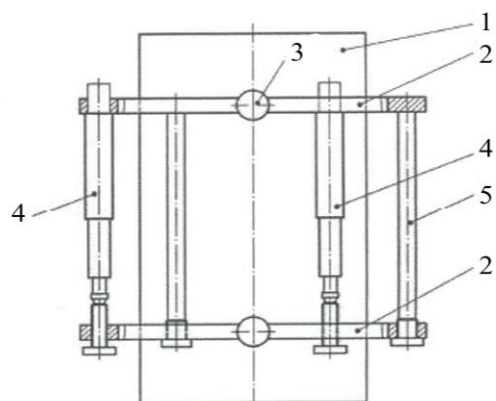
Ideal ar fi ca perechea de valori (E , R_t) să se obțină pe baza unei încercări de întindere prin încovoiere, care este cea mai apropiată de comportarea reală a materialului. Totuși, încercările de acest tip sunt puțin utilizate datorită dificultăților legate de prepararea epruvetelor prismatice și de efectuarea încercării.

1.6.1.1. Determinarea modulului de elasticitate prin compresiune

Forma, dimensiunile, condițiile de preparare și păstrare ale epruvetelor sunt cele descrise la pct. 1.1 sau 1.1. În general, pentru un balast stabilizat cu ciment se utilizează epruvete cilindrice cu diametrul de 160 mm și înălțimea de 320 mm pe care este fixat dispozitivul de măsurare a deformațiilor în partea centrală a epruvetei (fig. 1.2 și 1.12).

Cele trei generatoare pe care se măsoară deformația longitudinală a părții centrale a epruvetei sunt decalate între ele cu câte un unghi de 120° . Lungimea părții centrale a epruvetei cilindrice (h_0) pe care se efectuează măsurătorile trebuie să fie cel puțin egală cu valoarea $4d$ (d fiind dimensiunea maximă a granulelor din amestec). Pe de altă parte, în timpul încercării, distanța dintre platanele preseii și inelele sistemului de măsurare trebuie să rămână cel puțin egală cu $1,5d$, dar nu mai

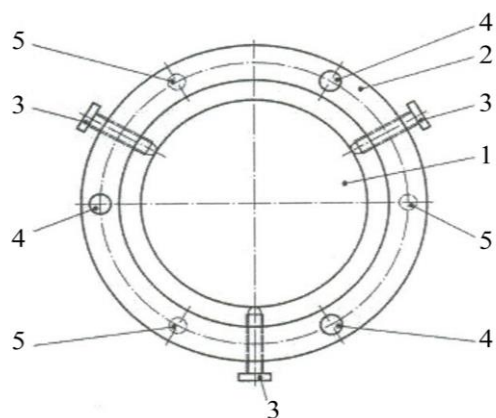
mică de 15 mm. Precizia de măsurare a deformației longitudinale a părții centrale a epruvetei (Δh_0) trebuie să fie de $\pm 0,5 \%$.



a

Legendă:

- a – vedere laterală;
- b – vedere de sus;
- 1 – epruvetă;
- 2 – inel rigid;
- 3 – șuruburi de fixare a inelului rigid pe epruvetă;
- 4 – captatori ai deformației produse în timpul încercării;
- 5 – șurub deplasabil pe verticală.



b

Fig. 1.12. Dispozitiv pentru citirea deformației longitudinale.

Deformația specifică (ϵ) se calculează cu relația următoare pentru fiecare dintre cele trei generatoare, iar pentru determinarea modulului de elasticitate se adoptă media valorilor obținute:

$$\epsilon = \frac{\Delta h_0}{h_0} \quad [-] \quad (1.9)$$

Pentru determinarea modulului de elasticitate se trasează curba forță – deformație specifică (fig. 1.13) și se aplică relația 1.10.

1.6.1.2. Determinarea modului de elasticitate prin întindere directă

Pentru determinarea modului de elasticitate printr-o încercare de întindere directă se folosesc condițiile și tipurile de epruvete descrise la pct. 1.2, cu aplicarea condițiilor de citire a alungirii longitudinale a părții centrale a epruvetei prezentate anterior.

Forma curbei forță – deformație specifică (fig. 1.14) este puțin diferită față de cea obținută prin compresiune (o liniaritate mai lungă și o cedare mai rapidă).

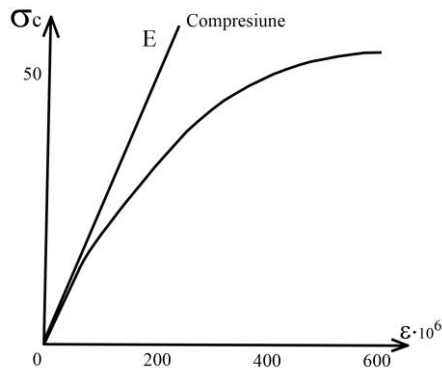


Fig. 1.13. Curbă forță – deformație specifică pentru compresiune directă.

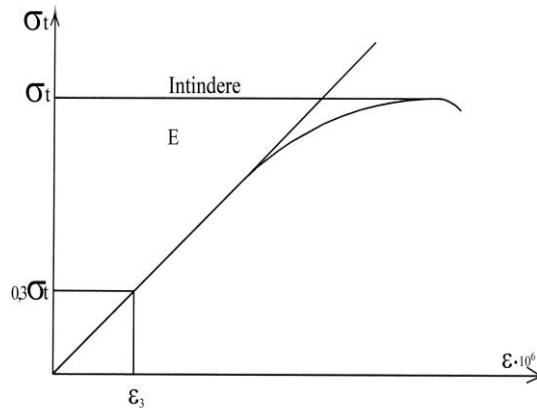


Fig. 1.14. Curbă forță – deformație specifică pentru întindere directă.

În principiu, modulul de elasticitate se determină cu relația următoare:

$$E = \frac{\sigma_r}{\epsilon_r} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1.10)$$

în care:

E este modulul de elasticitate determinat la o anumită vârstă și anumite condiții de încercare (umiditate, temperatură etc.), în N/mm^2 (MPa);

σ_r – tensiunea maximă (din contracție sau din întindere) până la care se respectă proporționalitatea dintre tensiune și deformația specifică, în N/mm^2 ;

ϵ_r – deformația specifică corespunzătoare tensiunii σ_r .

În aceste condiții, acceptând că liniaritatea dintre tensiune și deformație specifică se păstrează (atât pentru încercarea la compresiune directă, cât și pentru cea la întindere directă) până la o valoare a forței egală cu $0,3F_r$, modulul de elasticitate obținut pe baza celor două încercări se calculează astfel:

$$E_c (E_t) = \frac{\sigma_r}{\epsilon_r} = \frac{0,3F_r}{\frac{\pi D^2}{4} \cdot \epsilon_3} = \frac{1,2F_r}{\pi D^2 \cdot \epsilon_3} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1.11)$$

în care:

E_c (E_t) este modulul de elasticitate obținut prin încercarea de compresiune directă sau încercarea de întindere directă, în N/mm^2 (MPa);

F_r - forța maximă suportată de epruvetă, în N;

ϵ_3 - deformația specifică corespunzătoare forței de încărcare de $0,3F_r$;

D - diametrul epruvetei care suportă solicitarea de compresiune sau de întindere, în mm^1 .

Rapoartele de analiză trebuie să precizeze metoda prin care a fost determinat modulul de elasticitate, deoarece valorile obținute nu sunt egale.

1.6.1.3. Determinarea modulului de elasticitate prin întindere indirectă

Principiul metodei constă în supunerea unei epruvete cilindrice la o întindere indirectă, cu respectarea condițiilor descrise la pct. 1.3. Încercarea presupune determinarea variației diametrului orizontal AB (fig. 1.15) și a diametrului oblic CD (care formează cu orizontala un unghi de 60°), ca urmare a aplicării solicitării pe două generatoare opuse (fig. 1.16). Deformația diametrală se determină prin intermediul a doi captatori de deplasare dispuși diametral opus unul față de altul (precizia de măsurare trebuie să fie de $\pm 0,5\%$).

Epruvetele utilizate și condițiile de păstrare până la încercare sunt identice cu cele utilizate pentru determinarea rezistenței la întindere prin metoda braziliană.

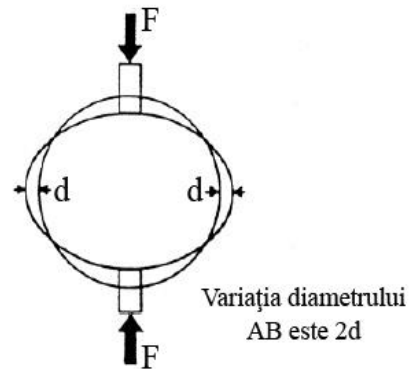


Fig. 1.15. Încercarea cu măsurarea diametrului orizontal.

Prin înregistrarea curbelor forță – deformație specifică (atât pe diametrul orizontal, cât și pe cel oblic) se pot calcula coeficientul lui Poisson și modulul de elasticitate ai materialului considerat. Relațiile de calcul sunt următoarele:

$$\mu = \frac{1 + 0,40E}{1,73 - 1,07E} \quad [-] \quad (1.12)$$

și

$$E_{it} = (0,273 + \mu + 0,726\mu^2) \cdot \frac{0,3F_r}{H} \cdot \frac{1}{\Delta\Phi_0} \quad [N/mm^2] \quad (1.13)$$

în care:

μ este coeficientul lui Poisson;

E_{it} – modulul de elasticitate determinat prin încercare de întindere indirectă, în N/mm^2 (MPa);

Ξ – valoarea raportului $\Delta\Phi_{60}/\Delta\Phi_0$;

F – forța exercitată asupra epruvetei, în N;

F_r – forța maximă suportată de epruvetă, în N;

H – înălțimea epruvetei cilindrice, în mm;

$\Delta\Phi_{60}$ – variația diametrului orizontal AB, pentru forța de valoare $0,3F_r$;

$\Delta\Phi_0$ – variația diametrului oblic CD, pentru forța de valoare $0,3F_r$.

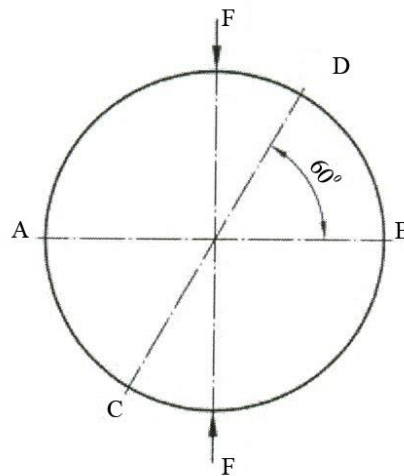


Fig. 1.16. Încercarea cu măsurarea diametrului oblic.

Trebuie reținut faptul că modificarea condițiilor de încercare (vârsta probei, temperatură, umiditate, proveniență material, dozaj etc.) conduce implicit și la modificarea valorii modulilor de elasticitate determinați în laborator.

1.6.2. Cazul mixturilor asfaltice

Mixturile asfaltice sunt materiale visco-elastice, proprietățile lor depinzând de o multitudine de factori (temperatură și durată de solicitare pe de o parte, respectiv dozaj de liant, consistența și natura liantului, eterogenitatea materialului etc. pe de altă parte). În orice condiții de compoziție a acestor materiale, deformațiile specifice la un anumit nivel de solicitare fixat depind de timp. Această comportare poate fi asimilată în mecanică printr-un ansamblu de arcuri sau un ansamblu de arcuri și amortizoare.

Această proprietate duce la dependența modulului de rigiditate de frecvența cu care le este aplicată încărcarea. Astfel, se obține un modul ridicat pentru o solicitare de scurtă durată (de exemplu trecerea unui vehicul cu o viteză normală), în timp ce modulul scade odată cu creșterea duratei de solicitare (vehicul care circulă cu o viteză scăzută sau staționează).

Al doilea factor care afectează modulul unui strat bituminos este temperatura, astfel: la o temperatură ridicată corespunde un modul de rigiditate redus, care crește foarte repede atunci când temperatura scade.

În acest context, mixturile asfaltice au o comportare reologică, adică se deformează diferit, funcție de condițiile în care se manifestă factorii de solicitare externi. Deoarece aceste materiale nu au o comportare pur elastică înseamnă că valorile pentru modulul lui Young și coeficientul lui Poisson depind de frecvența de solicitare și de temperatură. Consecința este că cei doi parametri care caracterizează materialele pur elastice sunt înlocuiți în cazul mixturilor asfaltice prin două funcții complexe: modulul complex și numărul lui Poisson.

1.6.2.1. Modulul complex

Modulul complex este un număr complex care definește relația între tensiune și deformația specifică pentru un material liniar visco-elastic supus unei sarcini sinusoidale sub formă de undă în funcție de timpul de solicitare. Experimental, modulul complex al mixturilor asfaltice se poate determina prin încercarea la oboseală a unei epruvete supusă la încovoiere dinamică (pe epruvete trapezoidale încastrate la bază). În cadrul încercării de încovoiere, tensiunea impusă este de forma:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot \sin \omega t \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1.14)$$

în care:

$\sigma(t)$ este tensiunea impusă pentru solicitarea epruvetei, în N/mm^2 ;

σ_0 - amplitudinea tensiunii aplicată sinusoidal, în N/mm^2 ;

ω - viteza unghiulară;

t - timpul la care se repetă solicitarea.

Având în vedere caracterul visco-elastic al materialului, deformația specifică rezultată în urma tensiunii aplicate are un unghi de defazaj în raport cu tensiunea și se

calculează cu relația următoare:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad [-] \quad (1.15)$$

în care:

$\varepsilon(t)$ este deformația specifică rezultată în urma tensiunii aplicate;

ε_0 - amplitudinea deformației specifice;

φ - unghiul de defazaj dintre tensiune și deformația specifică;

t și ω au semnificațiile din relația anterioară.

Unghiul de defazaj este pentru un material pur elastic zero, iar pentru lichidul lui Newton atinge valoarea de 90° , conform fig. 1.17. Se apreciază că o comportare corespunzătoare unui unghi de defazaj egal cu zero (comportare elastică) se obține pentru mixturi asfaltice la temperaturi foarte reduse (sub -20°C), caz în care modulul complex atinge valoarea cea mai mare posibilă.

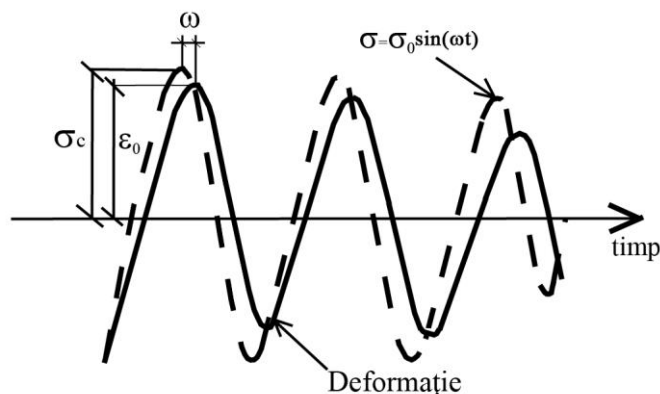


Fig. 1.17. Variația tensiunii și deformației relative în cazul încercării sinusoidale.

Modulul complex (E^*) este definit, ca raport dintre tensiunea și deformația specifică sus-menționate, astfel:

$$E^* = |E^*| \cdot (\cos\varphi + i \sin\varphi) \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1.16)$$

Modulul complex este caracterizat printr-o pereche de două componente: una reală, elastică (E_1) și una imaginară, viscoasă (E_2), exprimate astfel:

$$E_1 = |E^*| \cdot \cos\varphi \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1.17)$$

$$E_2 = |E^*| \cdot \sin\varphi \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1.18)$$

Valoarea absolută a modulului complex (E^*), care se numește modul de rigiditate, și a unghiului de defazaj (φ) se calculează cu relațiile următoare:

$$E^* = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1.19)$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{E_2}{E_1}\right) \quad [^\circ] \quad (1.20)$$

Componenta elastică a numărului complex se referă la capacitatea materialului de a stoca energie, în timp ce componenta viscoasă este responsabilă pentru pierderea energiei din sistem. Cele două componente, la fel ca și modulul complex, variază cu temperatura și solicitarea.

În practică se utilizează cel mai frecvent valoarea absolută a modulului complex, și anume modulul de rigiditate (E^*). Astfel, în calculele de dimensionare a straturilor bituminoase modulul de rigiditate (modulul secant) se introduce ca valoare corespunzătoare a modulului de elasticitate (modulul lui Young).

1.6.2.1. Modulul secant

Modulul secant se definește ca raport între tensiune și deformația relativă la un anumit timp, pentru un material supus unei viteze controlate de deformație, astfel:

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon(t)} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1.21)$$

în care:

$\sigma(t)$ și $\varepsilon(t)$ sunt tensiunea, respectiv deformația specifică la momentul t .

Legea deformației epruvetei este de forma următoare:

$$\varepsilon(t) = \alpha_i \cdot t^n \quad [-] \quad (1.22)$$

în care:

α_i și n sunt constante.

Se pot efectua câteva încercări succesive pe aceeași epruvetă, pentru valori diferite ale lui α_i . Pentru materiale visco-elastice liniare, modulul secant obținut pentru valori diferite ale lui α_i , la aceeași temperatură, depinde doar de timpul de încărcare (t).

Normele europene și literatura de specialitate internațională prevăd mai multe metode și tipuri de epruvete care se pot utiliza pentru a determina în condiții de laborator modulul de rigiditate, astfel:

- încercări la încovoiere care presupun solicitarea la încovoie a unor epruvete:

- trapezoidale;
- prismatice, sollicitate în două puncte;
- prismatice, sollicitate în trei puncte;
- prismatice, sollicitate în patru puncte;

- încercări la întindere indirectă pe epruvete cilindrice preparate cu presa giratorie sau prelevate prin carotare din straturi bituminoase existente;

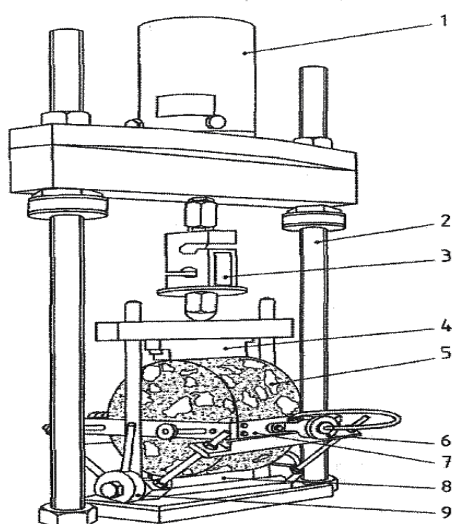
- încercări la întindere directă uniaxială, care presupun:

- solicitarea unor epruvete cilindrice la întindere - compresiune;
- solicitarea unor epruvete cilindrice la întindere directă;
- solicitarea unor epruvete prismatice la întindere directă.

Deoarece metoda de determinare a modului de rigiditate pe epruvete cilindrice supuse la încovoiere indirectă este cea mai răspândită în sectorul rutier românesc, se prezintă în continuare principalele caracteristici ale acesteia.

1.6.2.3. Determinarea modului de rigiditate prin întindere indirectă

Aparatura pentru efectuarea încercării prin întindere indirectă este compusă dintr-un cadru de oțel pentru încărcare și două benzi de oțel inoxidabil, care prezintă pe fața ce vine în contact cu epruveta o ușoară concavitate pe întreaga lățime (fig. 1.18). Marginile benzilor de încărcare sunt rotunjite pentru a se evita tăierea epruvetei în timpul încercării. Trebuie să se asigure un mijloc de centrare a platanului inferior cu axa cadrului de oțel pentru încărcare. Platanul superior face contact cu sistemul de încărcare printr-un reazem sferic.



Legendă:

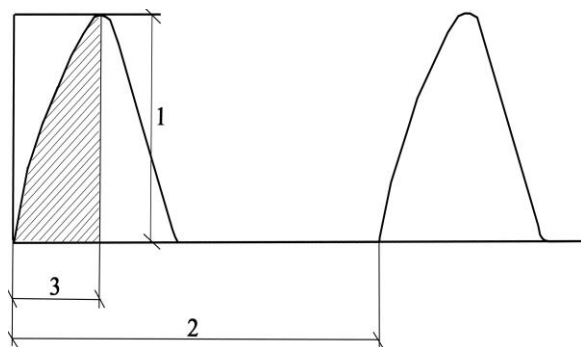
- | | |
|---|---|
| 1 - dispozitiv pneumatic de acționare a încărcării; | 6 - regulator LVDT; |
| 2 - cadru de oțel pentru încărcare; | 7 - cadru de montare LVDT; |
| 3 - capsulă dinamometrică; | 8 - placă inferioară de încărcare; |
| 4 - placă superioară de încărcare; | 9 - aliniament LVDT pentru dispozitivul de strângere. |
| 5 - epruvetă; | |

Fig. 1.18. Determinarea modului de rigiditate prin întindere indirectă.

Dispozitivul de acționare a încărcării trebuie să permită aplicarea acesteia uniform în lungul diametrului vertical al epruvetei, prin plăcile de încărcare. Acest

dispozitiv de acționare trebuie să fie capabil să aplice impulsuri repetate încărcării cu o perioadă de pauză între impulsuri, urmând ca încărcarea să aibă forma unei funcții haversiene sau apropiată de aceasta (fig. 1.19). Pe de altă parte, timpul de acționare a încărcării și de pauză trebuie controlat cu exactitate în timpul încercării. Timp de încărcare este considerat durata necesară pentru ca încărcarea aplicată să crească de la zero la valoarea maximă și trebuie să fie de 120...128 ms, iar perioada de repetare a impulsului trebuie să fie de 2,9...3,1 s (aparatură trebuie să permită măsurarea tensiunii și deformației epruvetei, împreună cu defazajul dintre cele două caracteristici, conform fig. 1.19).

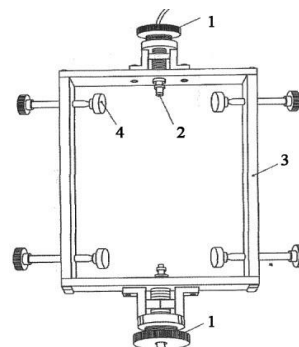
Amplitudinea încărcării trebuie să fie astfel stabilită încât să nu apară deteriorarea epruvetei pe durata efectuării încercărilor, iar comportarea materialului investigat trebuie să rămână în domeniul liniar (proportionalitate dintre tensiuni și deformații specifice). Pentru a se evita producerea unor deteriorări din oboseală, probele de mixtură asfaltică vor fi încercate la deformații specifice care nu vor depăși 50 micro-deformații ($50 \cdot 10^{-6}$ m/m), conform experienței acumulate pe plan internațional până în prezent. În acest sens, pentru această încercare, valoarea încărcării maxime trebuie să fie reglată pentru a se realiza în momentul în care deformația orizontală de trecere este de 0,005 % din diametrul epruvetei (măsurată cu dispozitivul din fig. 1.20).



Legendă:

- 1 - încărcare maximă;
- 2 - perioadă de repetare a impulsurilor;
- 3 - timp de propagare.

Fig. 1.19. Forma impulsului încărcării, cu timpul de propagare și încărcarea maximă.



- 1 - regulator LVDT;
- 2 - LVDT;
- 3 - cadru de montare LVDT;
- 4 - bride de prindere.

Fig. 1.20. Cadru pentru măsurarea deformației orizontale.

Frecvența de aplicare a încărcării depinde de tipul aparatului și al încercării efectuate (în general de 0,1...50 Hz). Este de preferat ca aparatul să permită folosirea unui set larg de frecvențe pentru a se permite o reprezentare logaritmică a izotermelor (normele europene recomandă următorul set de frecvențe: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 20,0 și 50,0 Hz, urmat de repetarea încercării la frecvența de 0,1

Hz, dar cu condiția ca epruveta sa nu fi suferit în timpul încercărilor cu frecvențe variate). De asemenea, se va evita producerea fenomenului de rezonanță, mai ales la frecvențe înalte.

Temperatura camerei climatice trebuie să fie egală cu temperatura specificată pentru efectuarea determinării ($\pm 0,5$ °C), iar epruveta trebuie introdusă în incinta respectivă cu cel puțin 4 ore înainte de încercare. Diferența dintre două izoterme nu trebuie să depășească 10 °C, iar rezultatele obținute este recomandat să acopere condițiile climatice reale extreme (normele europene prevăd următorul set tipic de temperaturi: -30,0; -20,0; -10,0; 0,0; 10,0; 20,0; 30,0 și 40,0 °C, dar temperatura de 40,0 °C trebuie utilizată cu prudență din pricina posibilei comportări neliniare a mixturii asfaltice, respectiv a eventualului fluaș care se poate produce). Pentru încercarea la întindere indirectă temperaturile uzuale de încercare sunt de 2,0; 10,0 și 20,0 °C, iar temperatura între exterior și centrul epruvetei nu trebuie să difere cu mai mult de 0,4 °C.

Factorul de suprafață al încărcării va fi raportul între suprafața hașurată din fig. 1.19 și produsul dintre timpul de propagare și încărcarea maximă. Factorul de suprafață recomandat este 0,60. Înălțimea traversei superioare a preseii trebuie reglată pentru a se atinge un factor de suprafață al încărcării de 0,50...0,70. Dacă această poziționare a traversei nu se realizează, epruveta trebuie refuzată și rezultatele respinse. În cazul în care acest factor este de 0,50...0,70, dar diferit de 0,60, modulul de rigiditate măsurat trebuie corectat.

Sistemul de măsurare a deformației trebuie să permită monitorizarea deformației pe diametrul orizontal al epruvetei în timpul unui impuls de încărcare. Valoarea maximă a deformației orizontale înregistrate trebuie să fie amplitudinea modificării diametrului orizontal al epruvetei.

Pentru acest tip de încercare se recomandă ca deformația orizontală țintă să fie de 5 micrometri pentru o epruvetă cu diametrul de 10 cm și de 7 micrometri pentru o epruvetă cu diametrul de 15 cm.

Epruvetele cilindrice care se pot utiliza pentru efectuarea unei astfel de încercări au diametrul de 80...200 mm, respectiv înălțimea de 30...75 mm.

Pentru măsurarea rigidității se aplică cel puțin 10 impulsuri de condiționare (cu scopul de a regla echipamentul pentru adoptarea amplitudinii și duratei încărcării), care să producă deformația orizontală specificată a diametrului în timpul impulsului de încercare. Dacă este necesar, dispozitivele de măsurare a deformației trebuie aduse înapoi aproximativ la mijlocul porțiunii domeniilor de lucru. Ulterior se aplică epruvetei cinci impulsuri de încărcare și, pentru fiecare aplicare a impulsului de încărcare, se măsoară și se înregistrează variația încărcării aplicate și a deformației diametrului orizontal cu timpul. De asemenea, se determină factorul de suprafață al încărcării.

Folosind măsurările de la cele cinci impulsuri ale încărcării, modulul de rigiditate se calculează pentru fiecare impuls cu relația următoare:

$$S_m = \frac{F \cdot (\mu + 0,27)}{z \cdot h} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1.23)$$

în care :

S_m este modulul de rigiditate măsurat pentru un impuls, în N/mm^2 (MPa);

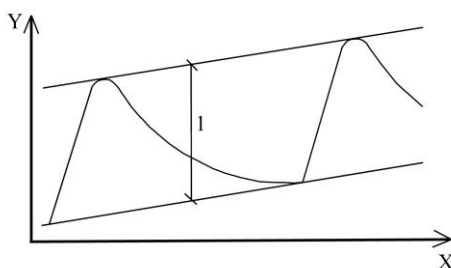
F - valoarea maximă a încărcării verticale aplicate, în N;

z - amplitudinea deformației orizontale obținută în timpul ciclului de încărcare, în mm (conform fig. 1.21);

h - grosimea medie a epruvetei, în mm;

μ - coeficientul lui Poisson.

Dacă coeficientul lui Poisson nu este determinat, se consideră în calcule valoarea de 0,35 pentru toate temperaturile.



X - timp Y - deformație 1 - amplitudinea deformației

Fig. 1.21. Amplitudinea deformației.

Modulul de rigiditate măsurat trebuie să fie corectat pentru un factor de suprafață al încărcării cu 0,60, folosind următoarea relație:

$$S'_m = S_m \cdot [1 - 0,322 \cdot (\log S_m - 1,82) \cdot (0,60 - k)] \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1.24)$$

în care:

S'_m este modulul de rigiditate măsurat, adaptat la un factor de suprafață al încărcării de 0,60, în N/mm^2 (MPa);

k - factorul de suprafață al încărcării măsurat;

S_m - modulul de rigiditate măsurat la un factor de încărcare k, în N/mm^2 .

Pentru aflarea modulului de rigiditate la anumite condiții impuse se încearcă două epruvete. Valoarea medie a modulului de rigiditate pentru prima epruvetă este media celor cinci rezultate obținute. Dacă valoarea medie a modulului de rigiditate pentru a doua epruvetă este de + 10...- 20 % din valoarea medie înregistrată pentru prima încercare, modulul de rigiditate pentru proba respectivă este media aritmetică a rezultatelor pentru cele două determinări. În caz contrar rezultatele trebuie respinse.

Literatura de specialitate precizează următoarele concluzii cu privire la

variația modului de rigiditate în raport cu factorii care îl influențează:

- cu cât temperatura crește, modulul de rigiditate scade;
- unghiul de defazaj crește odată cu temperatura;
- modulul de rigiditate scade cu creșterea volumului de goluri;
- modulul de rigiditate crește dacă viscozitatea bitumului crește;
- modulul de rigiditate scade odată cu creșterea dozajului de bitum;
- modulul de rigiditate scade odată cu micșorarea gradului de compactare.

Apreciind că au fost conturate principalele particularități care stau la baza determinării în laborator a modului de rigiditate pentru mixturi asfaltice, nu se insistă asupra celorlalte metode de încercare menționate anterior.

1.7. Determinarea legilor de oboseală

Straturile rutiere monolit de tipul agregatelor naturale stabilizate cu lianți (hidraulici, puzzolanici, bituminoși, micști etc.) au o comportare în exploatare diferențiată, pe măsură ce suportă un număr mai mare de sollicitări din trafic. În esență se spune că materialele din aceste straturi rutiere „obosesc” ca urmare a ciclurilor repetate pe care le suportă. Adică, prin exploatare rezistențele mecanice ale materialelor din straturile rutiere își pierd treptat o parte din proprietățile inițiale, ajungând să cedeze la sollicitări mai mici decât sollicitarea care ar produce ruperea inițial.

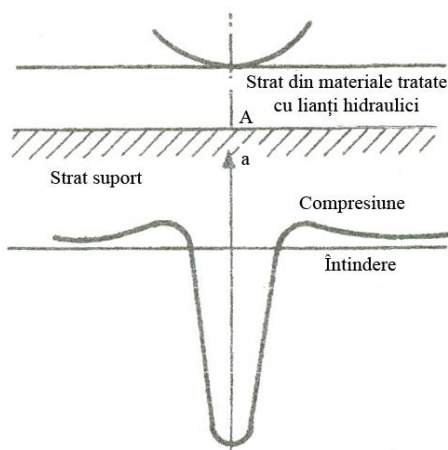


Fig. 1.22. Linia de influență la baza stratului monolit, la trecerea unui autovehicul.

Având în vedere modul de lucru în exploatare al straturilor rutiere monolit se poate considera că linia de influență a tensiunilor care apar într-un anumit punct A, situat la baza stratului rutier, este de forma celei prezentate în fig. 1.22. Rezultă că principalele tensiuni care apar în stratul rutier considerat sunt de întindere (când sarcina din trafic este în apropierea punctului A), încadrate de mici tensiuni de compresiune (pe măsura îndepărtării sarcinii de punctul considerat). Pe de altă parte, trebuie reținut că, în general, rezistența la compresiune a materialelor stabilizate cu lianți hidraulici sau bituminoși este de

circa 10 ori mai mare decât rezistența la întindere, fapt care conduce la ruperea materialului, de regulă, prin întindere.

Pentru a surprinde mai exact aceste particularități de comportare în exploatare au fost concepute metode de încercare în laborator care să permită trasarea așa-numitelor legi de comportare la oboseală a materialelor rutiere (diminuarea valorii anumitor caracteristici ale materialului considerat pe măsura creșterii numărului de solicitări). Există două condiții de încercare recunoscute pe plan internațional care se aplică diferențiat de la un tip de material la altul, funcție de particularitățile de comportare în exploatare ale acestuia, astfel:

- încercări la oboseală cu tensiune constantă, care se aplică în mod special pentru agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Acest tip de lege de oboseală $\sigma = f(N)$ este preferat în cazul agregatelor naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici deoarece fenomenul de rupere este urmărit mai fidel (tensiunea în epruvetă nu se micșorează pe măsură ce se produce propagarea fisurilor);

- încercări la oboseală cu deformație specifică constantă, care se aplică mai ales pentru mixturi asfaltice. Curba de oboseală de tipul $\varepsilon = f(N)$ se obține pe baza unor rezultate mai dispersate decât în cazul precedent, datorită faptului că odată cu apariția și propagarea fisurilor scade și modulul de elasticitate al materialului. În acest fel, pentru păstrarea constantă a deformației specifice a epruvetei este necesar să se micșoreze încărcarea (rezultă că ruperea se determină cu destulă imprecizie).

Cunoașterea legilor de oboseală permite dimensionarea corectă a straturilor rutiere, astfel încât acestea să nu cedeze înainte de atingerea numărului de cicluri de solicitare prognozat.

1.7.1. Cazul agregatelor naturale stabilizate cu ciment

Încercarea la oboseală pentru agregate naturale stabilizate cu ciment se realizează în cele mai frecvente cazuri prin supunerea la încovoiere a unor epruvete de diferite forme și dimensiuni, astfel:

- încercarea rotativă la încovoiere, caz în care un capăt al epruvetei cilindrice este încastrat la extremitatea arborelui unui motor, iar al doilea capăt este încărcat pentru realizarea încovoierii. În acest fel, în timpul rotațiilor, epruveta este supusă unor tensiuni alternative. Totuși o astfel de încercare este puțin utilizată deoarece materialul solicitat nu este supus nici la încovoiere simplă, nici la întindere pură;

- prin încovoiere față de trei puncte;

- prin încovoiere circulară;

- prin încovoierea unei epruvete trapezoidale cu baza mare încastrată, care este cea mai utilizată pentru agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

Epruvetele trapezoidale încastrate la baza mare sunt cel mai des utilizate deoarece în acest mod se realizează cel mai ușor, din punct de vedere mecanic,

încărcarea epruvetei, precum și repartizarea relativ uniformă a tensiunilor în epruvetă (ca urmare a formei acesteia). Dimensiunile epruvetei se determină, de regulă, astfel încât în zona centrală (acolo unde se fac măsurătorile) acestea să aibă dimensiunea cel puțin egală cu de cinci ori dimensiunea maximă a granulei din amestec.

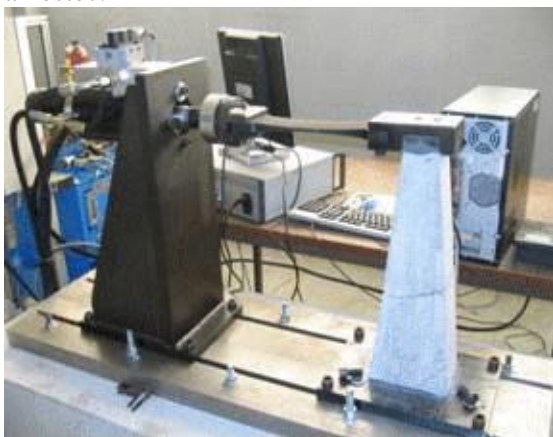


Fig. 1.23. Aparat pentru încercarea la oboseală a epruvetelor prismatice.

S-a stabilit că, pentru condițiile descrise anterior, între tensiunea maximă din epruvetă (σ_{\max} , în N/mm^2) și forța aplicată prin aparat (F , în N) trebuie să existe o relație de forma următoare:

$$\sigma_{\max} = 0,012 \cdot F \quad (1.25)$$

Având în vedere și faptul că rezistența la întindere din încovoiere maximă pentru agregatele naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici este de cca $3,5 \text{ N/mm}^2$ și că aparatul trebuie să solicite

epruveta la o tensiune maximă reprezentând circa 80 % din această valoare, rezultă că forța maximă exercitată de aparat nu va depăși 250...300 N.

Pe de altă parte, rigiditatea ridicată a acestor materiale implică o deplasare mică a capătului liber al epruvetei, de ordinul a 10...500 μm .

Determinarea legilor de oboseală pentru agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se poate efectua și prin alte metode de solicitare, de exemplu prin supunerea la întindere – compresiune a unor epruvete cilindrice. Epruvetele cilindrice au diametrul de 160 mm (îngustat în zona centrală la 140 mm) și înălțimea de 320 mm, fiind fixate în aparat prin dispozitive specifice la cele două capete.

În aceste condiții, ținând seama de faptul că rezistența la întindere directă maximă pentru agregatele naturale stabilizate cu ciment este de cca $4,0 \text{ N/mm}^2$ și acceptând o durabilitate de 0,5, amplitudinea maximă a tensiunii de întindere directă aplicată epruvetei va fi de cca $2,0 \text{ N/mm}^2$ (deci o forță necesară maximă de 3,0 kN, aplicată alternativ întindere – compresiune). Practic ruperea se va produce numai la solicitările de întindere deoarece rezistența la compresiune a materialului este de aproximativ zece ori mai mare decât cea de întindere.

Solicitarea epruvetelor se efectuează cu o încărcare sinusoidală cu valoarea medie nulă, în condiții bine determinate de frecvență, temperatură și umiditate. Schimbarea oricărui parametru de încercare conduce la modificarea legilor de oboseală obținute.

1.7.2. Cazul mixturilor asfaltice

Determinarea rezistenței la oboseală a mixturilor asfaltice se efectuează prin cercetări de laborator alternative și cuprinde încercări la încovoiere (în două puncte pe epruvete trapezoidale, respectiv în două, trei sau patru puncte pe epruvete prismatice) și încercări la întindere directă sau indirectă pe epruvete cilindrice. Încercările se efectuează în condiții bine stabilite, sub încărcări sinusoidale sau alte încărcări controlate, folosind diverse tipuri de epruvete și suporturi. În țara noastră cea mai frecventă metodă utilizată pentru determinarea comportării la oboseală a mixturilor asfaltice este cea care are la bază supunerea la întindere indirectă a unor epruvete cilindrice, metodă care va fi prezentată succint în continuare.

Determinarea comportării la oboseală a mixturilor asfaltice prin întindere indirectă constă în solicitarea diametrală a unor epruvete cilindrice cu un semnal de încărcare repetată de compresiune a funcției Haversine. Această încărcare permite dezvoltarea unei tensiuni de încovoiere relativ uniforme, perpendiculară pe direcția încărcării aplicate și în lungul planului vertical diametral din partea centrală a epruvetei. În aceste condiții, se urmărește măsurarea deformației orizontale a epruvetei, iar pentru calcularea deformației specifice din partea centrală a epruvetei se va utiliza un coeficient al lui Poisson asumat. De asemenea, se determină timpul până la ruperea epruvetei, ca număr total de cicluri de încărcare suportate de epruvetă (se recomandă ca numărul de solicitări să se încadreze în intervalul $10^3 \dots 10^6$).

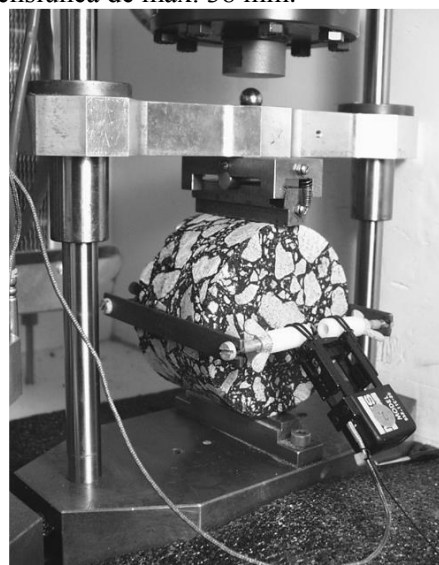
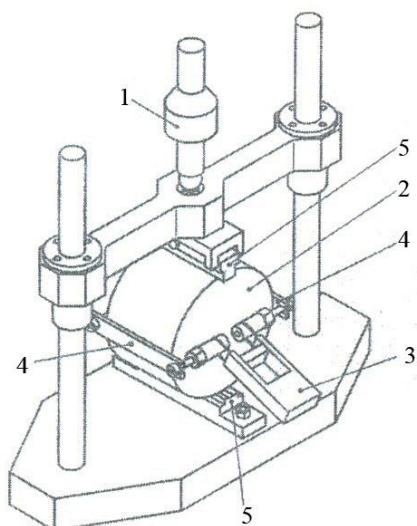
Încercarea se efectuează în condiții controlate de temperatură ($2 \dots 20$ °C, cu o exactitate de $\pm 1,0$ °C) cu un aparat care permite aplicarea încărcării de tip Haversin (se recomandă: timp de încărcare de 0,1 s, urmat de un timp de pauză de 0,4 s) și realizarea unor perioade de repaus după mai multe cicluri de încărcare. Valoarea încărcării pe care o poate dezvolta aparatul este de la 0,5 N la 10,0 kN, cu o exactitate de 0,25 %, iar măsurarea deformațiilor din plan orizontal diametral trebuie să aibă o exactitate de min. 1,0 μm , într-un domeniu de măsurare de până la 3,75 mm (este recomandată folosirea a două extensometre legate în serie, conform fig. 1.24). Se recomandă ca încărcarea să fie astfel aleasă încât să acopere un domeniu al nivelului deformației situat în intervalul 100...400 $\mu\epsilon$.

Cadru metalic prin care se realizează fixarea epruvetei în aparat și se măsoară deformația diametrală orizontală este prezentat în fig. 1.24.

Pentru efectuarea încercărilor trebuie pregătit un număr de 10...18 epruvete cilindrice, rezultate fie prin preparare în laborator (cu presa giratorie sau cu ruloul compactor), fie prin prelevare din straturi bituminoase existente. Dimensiunile epruvetelor care se pot utiliza sunt următoarele:

- diametrul de 100 mm și grosimea de min. 40 mm, pentru mixturi asfaltice care conțin granule de agregat natural cu dimensiunea de max. 25 mm;

- diametrul de 150 mm și grosimea de min. 60 mm, pentru mixturi asfaltice care conțin granule de agregat natural cu dimensiunea de max. 38 mm.



Legendă:

- | | |
|------------------------------------|--------------------------|
| 1 - capsulă dinamometrică; | 4 - benzi de deformație; |
| 2 - epruvetă de mixtură asfaltică; | 5 - benzi de încărcare. |
| 3 - extensometru; | |

Fig. 1.24. Cadru de încărcare.

Cu min. 4 h înainte de efectuarea încercării, epruvetele trebuie păstrate în incinta termostatică a aparatului, la temperatura de încărcare specificată.

Pentru obținerea legii de oboseală se vor impune minimum trei niveluri de tensiuni, cu cel puțin trei epruvete încercate pentru fiecare nivel impus, în cazul probelor preparate în laborator, respectiv cu minimum cinci epruvete încercate, pentru carote prelevate din straturi bituminoase.

Încercarea se începe cu aplicarea unei amplitudini a încărcării de 250 kN, iar dacă după primele 10 cicluri de încărcare deformația este în exteriorul domeniului impus (100...400 $\mu\epsilon$), încercarea trebuie oprită imediat și urmată de reglarea domeniului de încărcare.

Pentru fiecare epruvetă se determină numărul total de cicluri până la ruperea completă, cu monitorizarea continuă și cu înregistrarea la intervale prestabilite a încărcării și deformației orizontale.

Deformația specifică maximă și tensiunea de încovoiere maximă (opțional) în centrul epruvetei se calculează cu relațiile următoare:

$$\sigma_0 = \frac{2P}{\pi \cdot t \cdot \Omega} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1.25)$$

$$\varepsilon_0 = \left(\frac{2 \Delta h}{\Omega} \right) \cdot \left(\frac{1 + 3\mu}{4 + \pi \cdot \mu - \pi} \right) \quad [\text{micro-deformații}] \quad (1.26)$$

Dacă se consideră coeficientul lui Poisson egal cu 0,35, relația anterioară devine:

$$\varepsilon_0 = 2,1 \left(\frac{\Delta h}{\Omega} \right) \quad [\text{micro-deformații}] \quad (1.27)$$

în care:

σ_0 este tensiunea la încovoiere în centrul epruvetei, în N/mm^2 (MPa);

ε_0 – deformația specifică la încovoiere în micro-deformații ($\mu\varepsilon$);

P – încărcarea maximă, în N;

t – grosimea epruvetei, în mm;

Ω – diametrul epruvetei, în mm;

Δh – deformația orizontală a diametrului epruvetei, în mm.

Deformația specifică inițială (pentru care se produce ruperea epruvetei la numărul de cicluri determinat) se va calcula cu relația 1.27 pentru cea de a 100-a aplicare a încărcării.

Legea de oboseală a mixturii asfaltice analizate rezultă pe baza relației de regresie prin metoda celor mai mici pătrate, care se aplică la datele logaritmului deformației specifice inițiale, ca o variabilă independentă, și datele logaritmului duratei până la rupere, ca o variabilă dependentă, astfel:

$$\lg(N_f) = k + \lg(\varepsilon_0) \quad (1.28)$$

$$N_f = k \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_0} \right)^n \quad [\text{micro-deformații}] \quad (1.29)$$

în care:

N_f este numărul de solicitări până la rupere;

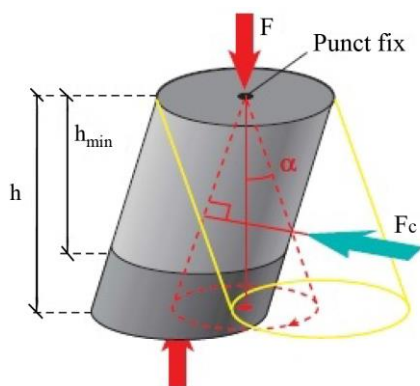
ε_0 – deformația specifică inițială în centrul epruvetei, în micro-deformații;

k și n – constante de material.

Dacă în cadrul metodei celor mai mici pătrate se obține un r^2 (r este reziduul, adică diferența dintre valoarea variabilei dependente și valoarea variabilei independente) mai mare decât 0,9, se procedează la creșterea numărului de epruvete încercate.

1.8. Determinarea volumului de goluri

Presă giratorie este un aparat de laborator care permite compactarea probelor din mixturi asfaltice prin combinarea unei acțiuni de forfecare rotativă (F_c) și a unei forțe rezultante verticale aplicată de un piston mecanic (F), conform fig. 1.25.



Legendă:

- F – forța verticală;
- F_c – forța de forfecare;
- h – înălțimea probei pentru N rotații;
- h_{min} – înălțimea minimă a epruvetei (volum de goluri 0 %);
- α – unghiul de înclinare.

Fig. 1.25. Compactarea epruvetelor cu presa giratorie.

unghiului de înclinare (α), pornind de la caracteristici obținute pe mixturi asfaltice de referință pentru un anumit număr de rotații.

Cu presa giratorie se pot prepara epruvete pentru mixturi asfaltice cu dimensiunea maximă a granulei de 31,5 mm, iar funcție de tipul presei, forțele verticale predeterminate sunt:

- 11 500...13 500 N pentru prese giratorii echipate cu tipare cu diametrul de 160 mm;
- 10 000...12 000 N pentru prese giratorii echipate cu tipare cu diametrul de 150 mm;
- 4 500...4 900 N pentru prese giratorii echipate cu tipare cu diametrul de 100 mm.

Pornind de la valorile forței verticale, unghiul de înclinare se reglează prin încercări preliminare (cu luarea în considerare a rezultatelor ce trebuie obținute pe anumite mixturi asfaltice de referință).

Încercările se efectuează cu menținerea constantă a temperaturii mixturii asfaltice, respectiv a caracteristicilor presei giratorii.

Pentru determinarea variației densității aparente sau a volumului de goluri în proba de mixtură asfaltică introdusă în tiparul presei se procedează la măsurarea automată a înălțimii epruvetei pentru un număr de rotații de: 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 80 și 100 (dacă este necesar și pentru 120; 150; 200; 400 și 500),

Presa giratorie se utilizează pentru:

- determinarea volumului de goluri în epruveta din mixtură asfaltică, la un număr de rotații dat;
- deducerea variației densității aparente în funcție de numărul de rotații;
- prepararea epruvetelor cilindrice cu înălțime și densitate impuse, pentru realizarea diferitelor încercări de laborator.

Din punct de vedere al proiectării și verificării în laborator a dozajelor pentru mixturi asfaltice, prezintă interes primele două posibilități de lucru. Pentru aceste scopuri este obligatoriu ca pentru presa giratorie folosită să se regleze valoarea forței verticale (F) și a

urmată de calcularea fie a densității aparente, fie a volumului de goluri, pentru fiecare număr de girații, cu relațiile următoare:

$$\rho_{ap_i} = \frac{M}{10^{-9} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h_i} = \frac{h_{min}}{h_i} \cdot \rho_s \quad [\text{kg/m}^3] \quad (1.30)$$

$$v_i = 100 \cdot \left(\frac{h_i - h_{min}}{h_i} \right) \quad [\%] \quad (1.31)$$

în care:

ρ_{ap} este densitatea aparentă a probei la numărul de girații i (n_i), în kg/m^3 ;

M – masa mixturii asfaltice introdusă în tipar, în kg;

D – diametrul interior al tiparului, în mm;

h_i – înălțimea epruvetei la un număr de girații i (n_i), în mm;

h_{min} – înălțimea minimă a epruvetei (la volum de goluri zero), în mm;

ρ_s – densitatea scheletului mixturii asfaltice, în kg/m^3 .

Cu rezultatele obținute în acest mod se trasează câte o dreaptă de regresie liniară număr de cicluri – volum de goluri, respectiv număr de cicluri – densitate aparentă, pe baza cărora se poate analiza comportarea în ansamblu a mixturii asfaltice încercate (în raport cu rezultatele cunoscute pe alte mixturi asfaltice utilizate în tehnica rutieră). De exemplu, pentru variația volumului de goluri se poate scrie ecuația:

$$v_i = v_0 + k \cdot \log(n_i) \quad (1.32)$$

în care:

v_0 este volumul de goluri inițial, în %;

v_i – volumul de goluri pentru un număr de girații i (n_i), în %;

k – coeficientul de regresie.

Rezultatul considerat trebuie să fie valoarea medie a cel puțin trei determinări elementare, iar dacă coeficientul de variație a înălțimilor epruvetei este mai mare de 1,5 %, pentru un număr de girații mai mare de 20, încercarea trebuie respinsă.

1.9. Încercarea Duriez

Este o încercare dezvoltată (încă de la începutul anilor 50) și utilizată pe scară largă de către specialiștii francezi pentru proiectarea dozajelor de mixturi asfaltice. Încercarea poate fi aplicată și pentru determinarea rezistenței la compresiune pentru agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolani.

În principiu, încercarea efectuată pe epruvete cilindrice din mixturi asfaltice urmărește determinarea rezistenței la compresiune și a sensibilității la apă (prin reducerea rezistenței la compresiune după păstrarea epruvetelor imersate în

apă timp de șapte zile). Epruvetele cilindrice se obțin prin compactare statică sub o presiune de $12,0 \text{ N/mm}^2$, menținută în ambele capete ale epruvetei, cu o presă hidraulică, timp de cinci minute. Epruvetele trebuie să aibă următoarele caracteristici:

- diametrul și înălțimea de 80 mm (masa epruvetei cca 1 000 g) pentru mixturi asfaltice cu dimensiunea granulelor de max. 14 mm. Se prepară 12 epruvete pentru mixturi asfaltice produse la cald, respectiv 14 epruvete pentru mixturi asfaltice produse la rece;

- diametrul și înălțimea de 120 mm (masa epruvetei cca 3 500 g) pentru mixturi asfaltice cu dimensiunea maximă a granulelor mai mare de 14 mm. Se prepară 10 epruvete pentru mixturi asfaltice produse la cald, respectiv 12 epruvete pentru mixturi asfaltice produse la rece.

Decofrarea epruvetelor se efectuează a doua zi după preparare, iar păstrarea până la încercare se realizează în felul următor:

- epruvetele din mixturi asfaltice preparate la cald se împart în trei grupe, astfel:

- 2 epruvete pe care se determină densitatea aparentă pe baza principiului hidrostatic;

- 5 epruvete pentru mixturi asfaltice cu dimensiunea maximă a granulei de 14 mm (respectiv 4 epruvete pentru mixturi asfaltice cu dimensiunea maximă a granulei mai mare de 14 mm) pe care se va determina rezistența la compresiune după încă șapte zile de păstrare într-o cameră cu temperatura de $18 \text{ }^\circ\text{C}$ și umiditatea de 40...70 %;

- 5 epruvete pentru mixturi asfaltice cu dimensiunea maximă a granulei de 14 mm (respectiv 4 epruvete pentru mixturi asfaltice cu dimensiunea maximă a granulei mai mare de 14 mm) pe care se va determina rezistența la compresiune după încă șapte zile de imersare în apă la temperatura de $18 \text{ }^\circ\text{C}$ și umiditatea de 40...70 %;

- epruvetele din mixturi asfaltice preparate la rece se păstrează în aceleași condiții, cu observația că după decofrare se păstrează timp de șapte zile pentru maturizare (cameră cu temperatura de $18 \text{ }^\circ\text{C}$ și umiditatea de 40...70 %), după care se repetă condițiile de păstrare din cazul epruvetelor preparate la cald (încercările la compresiune se realizează în a 15-a zi după preparare).

Rezistența la compresiune se determină la o temperatură de $18 \text{ }^\circ\text{C}$, cu o viteză a preseii de 1 mm/s, obținându-se valoarea medie notată R în cazul epruvetelor păstrate în aer, respectiv r în cazul epruvetelor imersate în apă. Raportul r/R dă informații asupra tendinței de dezanrobare a granulelor de agregat natural din mixtura asfaltică. Se impune o valoare a raportului de min. 0,75 în cazul betoanelor asfaltice, de min. 0,70 pentru agregate naturale stabilizate cu bitum și de min. 0,55 pentru agregate naturale stabilizate cu emulsie bituminoasă.

În afara rezistențelor la compresiune sus-menționate, prin încercarea Duriez se mai pot determina: densitatea aparentă și volumul de goluri, pentru

mixturi asfaltice preparate la cald, respectiv: conținutul de apă la decofrare, după maturizare și înainte de încercarea la compresiune (pentru cele două moduri de păstrare), pentru mixturi asfaltice preparate la rece.

1.10. Rezistența la formarea fâgașelor (la ornieraj)

Fâgașul (ornierajul) este deformația permanentă longitudinală a structurii rutiere, caracterizată printr-o tasare a acesteia sub efectul solicitărilor repetate din trafic. Acest fenomen poate apărea pe toate tipurile de drumuri, dar este mai evident pe drumuri cu trafic intens și greu, respectiv în apropierea intersecțiilor semaforizate sau de tip girație.



Fig. 1.26. Aparat pentru determinarea rezistenței la ornieraj.

Există diverse cercetări care urmăresc găsirea condițiilor tehnice care să împiedice sau să limiteze dezvoltarea de fâgașe la nivelul îmbrăcăminților rutiere, cu atât mai mult cu cât aceste defecțiuni afectează siguranța circulației, mai ales pe ploaie, când se poate produce acvoplanarea.

Principala determinare de laborator prin care se poate analiza rezistența unei mixturi asfaltice la formarea de deformații plastice, ca urmare a trecerilor repetate ale roților autovehiculelor, este încercarea la ornieraj (la formarea fâgașelor).

Încercarea la ornieraj (dezvoltată în Franța încă din anii 60) se efectuează cu ajutorul unui aparat (fig. 1.26) care permite simularea traficului pe o epruvetă de mixtură asfaltică tip placă (de exemplu: 50 cm lungime și 18 cm lățime, respectiv grosimea de

2...14 cm), epruvetă care poate fi preparată în laborator sau prelevată din straturi bituminoase.

Aparatul permite păstrarea unei temperaturi constante pe durata încercării, temperatură stabilită în conformitate cu condițiile climaterice în care urmează să lucreze mixtura asfaltică testată. Condițiile de încercare sunt următoarele:

- forța de încărcare exercitată pe roata de încercare este de 5 000 N;
- presiunea de umflare a pneului roții cu care se simulează traficul este de 0,6 N/mm² (MPa), iar pneul folosit este neted;
- frecvența de repetare a solicitării (trecere alternativă a roții) este de 1 Hz;
- temperatura de încercare este de 60 °C (±2 °C).

Se măsoară adâncimea făgașului la diferite intervale (1 000; 3 000; 10 000; 30 000 și 100 000 treceri ale roții) și se trasează o dreaptă de regresie pentru evaluarea modului în care evoluează adâncimea făgașului, funcție de numărul de cicluri, de forma următoare:

$$Y = A \cdot \left(\frac{N}{1000} \right)^b \quad (1.33)$$

în care:

- Y este adâncimea făgașului la N cicluri, în mm;
- A – adâncimea făgașului la 1 000 cicluri, în mm;
- b – panta dreptei de regresie.

Nivelul la care ajunge adâncimea făgașului după un anumit număr de cicluri trebuie fixat prin norme tehnice pentru fiecare tip de mixtură asfaltică, respectiv pentru fiecare tip de bitum utilizat. Dacă rezultatele obținute în urma încercării de laborator nu sunt corespunzătoare se pot adopta mai multe soluții de corectare a dozajului: schimbarea naturii fracțiunii de nisip din amestec sau modificarea granulozității scheletului mineral, diminuarea dozajului de liant, modificarea tipului de liant folosit, cu alegerea unui bitum de consistență mai ridicată, modificarea sau aditivarea acestuia.

1.11. Particularități privind caracteristicile straturilor stabilizate cu lianți hidraulici

Trebuie remarcat faptul că pentru orice material stabilizat cu lianți, în general, respectiv stabilizat cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în particular, dozajele care se vor utiliza pe șantier trebuie determinate prin încercări de laborator și nu stabilite arbitrar de către proiectant, administrator sau antreprenor. Principalele etape care trebuie parcurse pentru determinarea în laborator a dozajului optim de liant pentru stabilizarea unui anumit material sunt următoarele:

- analizarea calității materialelor care urmează să fie folosite (agregat natural, liant, eventual activator), cu verificarea dacă valorile obținute se încadrează în prevederile normelor în vigoare pentru realizarea de straturi stabilizate;

- adoptarea mai multor variante de dozaj. Se vor alege mai multe dozaje de liant, astfel încât acestea să se încadreze în recomandările făcute de normele tehnice în vigoare sau să fie în concordanță cu experiența acumulată de realizatorul studiului în domeniul respectiv;

- determinarea caracteristicilor de compactare Proctor modificat pentru fiecare dozaj prevăzut a se testa în laborator;
- prepararea epruvetelor necesare determinărilor de laborator și păstrarea lor în condiții corespunzătoare până la vârstele de încercare (în concordanță cu precizările din subcapitolele anterioare);
- efectuarea încercărilor de laborator pe baza prevederilor normelor naționale sau europene, cu compararea rezultatelor obținute cu valorile limită pentru fiecare vârstă a materialului;
- alegerea dozajului optim de liant. În acest sens, se consideră acceptabil dozajul minim de liant care asigură obținerea caracteristicilor limită prescrise pentru amestecul respectiv, la toate vârstele de încercare.

De exemplu, dozajul minim de ciment recomandat de standardele europene pentru stabilizarea diferitelor tipuri de agregate naturale este funcție de dimensiunea maximă a granulei, astfel:

- 3 % din masa amestecului, pentru agregate naturale cu dimensiunea maximă de 8,0...31,5 mm;
- 4 % din masa amestecului, pentru agregate naturale cu dimensiunea maximă de 2,0...8,0 mm;
- 5 % din masa amestecului, pentru agregate naturale cu dimensiunea maximă sub 2,0 mm.

Normele românești în vigoare recomandă stabilizarea balasturilor cu un procent de ciment de 4,0...6,0 %, a nisipurilor cu 6,0...8,0 % și a pământurilor cu 8,0...10,0 %. Se constată dozaie semnificativ mai mari decât cele minime prevăzute în standardele europene, aspect confirmat și de încercările fizico-mecanice efectuate în Laboratorul de drumuri al Facultății de Construcții din Timișoara pentru stabilirea de dozaie pentru stabilizarea agregatelor naturale cu ciment (de exemplu stabilizarea unui balast se poate realiza, în general, cu un dozaj de ciment de 3,5...4,5 %).

În continuare se prezintă câteva dintre concluziile menționate de literatura de specialitate privind valorile și variația unor caracteristici ale agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

1.11.1. Observații privind valoarea modului de elasticitate

Valoarea modului de elasticitate al unui agregat natural stabilizat cu lianți hidraulici sau puzzolanici variază în limite largi, funcție de tipul materialului încercat și de timpul scurs de la preparare (fig. 1.27 și 1.28). Valorile maxime care se pot obține prin încercările de laborator (literatura de specialitate precizează valori de 2 000...40 000 N/mm²) pot fi comparabile cu valorile modurilor de elasticitate ai betoanelor de ciment.

Alura mai liniară a curbelor tensiune – deformație specifică pentru agregatele natural stabilizate cu ciment atestă o comportare mai apropiată de stadiul elastic al acestor materiale, în raport cu cele ale unor agregate naturale

stabilizate cu lianți puzzolanici (de exemplu, pentru agregate naturale stabilizate cu zgură granulată, forma curbelor tensiune – deformație specifică este redată în fig. 1.29). De asemenea, se constată că alura curbelor obținute pentru modulii de elasticitate este asemănătoare cu cea a curbelor obținute pentru rezistența la întindere a acelorași materiale, funcție de vârstă, (fig. 1.30).

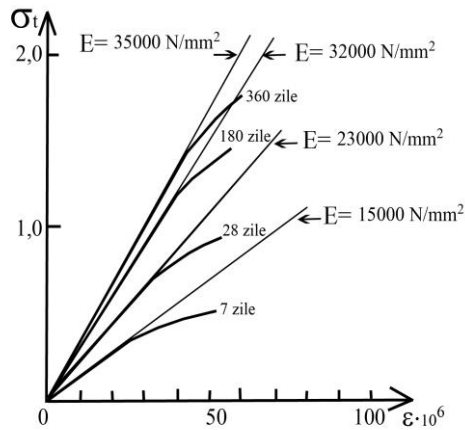


Fig. 1.27. Evoluția curbei tensiune – deformație specifică pentru agregate naturale stabilizate cu ciment.

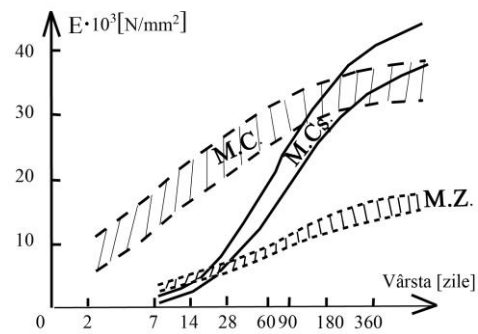


Fig. 1.28. Evoluția modulului de elasticitate pentru materiale stabilizate cu ciment (M.C.), zgura (M.Z.) și cenușă (M.Cș.), funcție de vârstă.

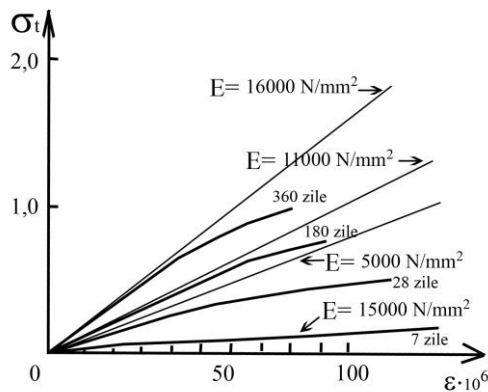


Fig. 1.29. Evoluția curbei tensiune – deformație specifică pentru agregate naturale stabilizate cu zgură granulată, funcție de vârstă.

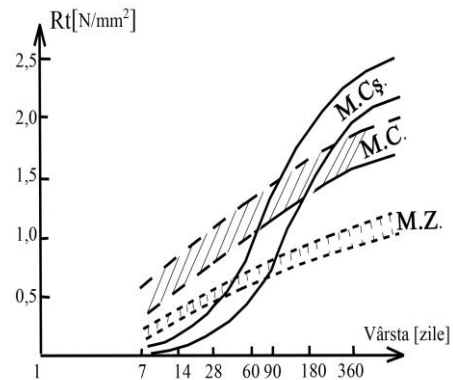


Fig. 1.30. Evoluția rezistenței la întindere pentru materiale stabilizate cu ciment (M.C.), zgura (M.Z.) și cenușă (M.Cș.), funcție de vârstă.

Normele europene în vigoare prevăd posibilitatea preparării diferitelor tipuri de materiale stabilizate cu ciment sau lianți puzzolanici. De exemplu, pentru agregate naturale stabilizate cu ciment sunt menționate cinci categorii de materiale (T₁...T₅), funcție de rezistența la întindere și modulul de elasticitate obținute prin încercări de laborator la 28 zile.

Valorile care caracterizează variația rezistenței la întindere funcție de modulul de elasticitate și care separă cele cinci categorii de materiale sunt prezentate în tabelul 1.4.

Trebuie luată în considerare metoda prin care au fost determinate modulul de elasticitate și rezistența la întindere (prin întindere directă: E și R_t, întindere indirectă: E_i și R_{it} sau compresiune: E_c și R_{ct}), astfel:

$$E = E_c = E_i \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1.34)$$

$$R_t = R_{ct} = 0,8R_{it} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1.35)$$

Tabelul 1.4.

Caracteristica	Modul de elasticitate la 28 zile, în N/mm ² :					
	1 600	2 000	5 000	10 000	20 000	40 000
	Rezistența la întindere la 28 zile, în N/mm ² :					
T5	0,64	0,70	1,00	1,23	1,46	1,59
T4	0,45	0,49	0,64	0,83	0,97	1,09
T3	0,33	0,36	0,48	0,58	0,68	0,75
T2	0,21	0,23	0,32	0,38	0,44	0,49
T1	0,12	0,13	0,18	0,22	0,26	0,29

Principalele efecte al rigidității ridicate a straturilor rutiere din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici sunt următoarele:

- raportul dintre modulul de elasticitate al stratului stabilizat și cel al stratului suport din agregate naturale nestabilizate cu lianți este foarte mare, ceea ce poate conduce la apariția unor tensiuni de întindere din încovoiere importante la baza primului strat. În schimb, dacă stratul stabilizat este corect dimensionat, tensiunile verticale în stratul inferior sau în terenul de fundare devin foarte mici;

- variațiile de temperatură (zilnice sau anuale), față de temperatura de punere în operă, antrenează apariția unor tensiuni din contracție însemnate în straturile stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Rezultatul acestor tensiuni este fisurarea transversală a stratului respectiv, de regulă în prima iarnă de după execuție. De asemenea, tensiunile rezultate pot conduce la încovoierea „dalei” (concavă sau convexă, funcție de gradientul termic), fenomen care rămâne oarecum sub nivelul încovoierilor manifestate la beton;

- modulii de elasticitate ai acestor materiale sunt superiori celor ai mixturilor asfaltice din straturile superioare. În concluzie, un strat rutier bituminos nu reduce semnificativ tensiunile de întindere din încovoiere din stratul stabilizat

cu lianți hidraulici sau puzzolanici, decât în situația unor grosimi mari ale straturilor bituminoase. Straturile superioare bituminoase sunt în schimb deosebit de importante pentru preluarea tensiunilor tangențiale;

- întărirea rapidă și rigiditatea ridicată la vârste mici a straturilor rutiere din agregate naturale stabilizate cu ciment nu permit preluarea unor mici tasări ale stratului suport. Se ajunge la fisurarea sau chiar distrugerea materialului compozit din stratul stabilizat. În cazul utilizării lianților puzzolanici acest fenomen nu conduce la aceleași efecte, ca urmare a întăririi mai lente a materialului din stratul rutier stabilizat.

Raportul de analiză privind determinarea modulului de elasticitate și a rezistenței la compresiune trebuie să precizeze metoda prin care au fost compactate epruvetele (prin presare, cu ciocanul Proctor, prin vibropresare sau cu masa vibrantă), respectiv metoda de încercare folosită (întindere directă, întindere indirectă sau compresiune), pentru a se putea efectua corecțiile sus-menționate.

1.11.2. Indicele de calitate elastic

Comportarea în timpul exploatării a straturilor rutiere din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici este asemănătoare, chiar dacă, funcție de calitatea materialului încorporat, există o anumită diferențiere a capacității lor de preluare a solicitărilor din trafic și condiții climaterice.

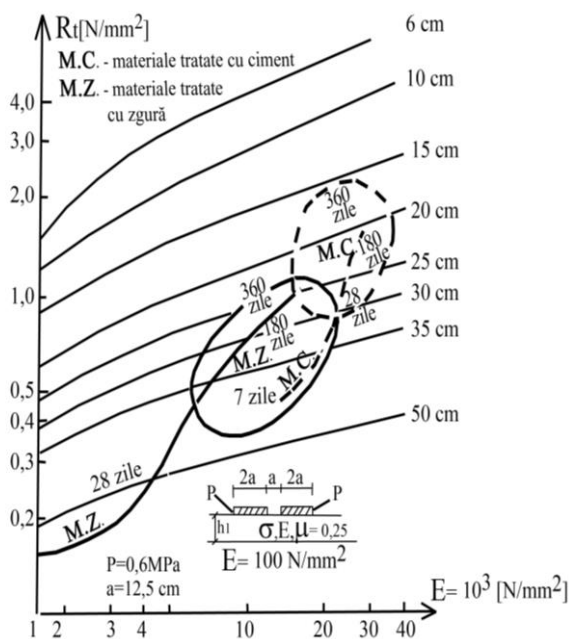


Fig. 1.31. Diagramă pentru determinarea indicelui de calitate elastic.

Compararea din punct de vedere calitativ a straturilor stabilizate din materiale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se poate efectua prin așa-numitul indice de calitate elastic propus de literatura de specialitate internațională.

Indicele de calitate elastic (I.C.E.) al unui material este exprimat prin grosimea stratului rutier realizat din acel material care, executat pe un strat tipizat (modul de elasticitate de 100 N/mm^2), permite trecerea a 10^6 osii de 130 kN (fig. 1.31). Indicele de calitate elastic permite

caracterizarea globală a comportării elastice a straturilor rutiere stabilizate, funcție de cele două caracteristici care o definesc (modul de elasticitate și rezistența la întindere). În schimb, I.C.E. nu face o legătură directă între calitatea materialelor și grosimea necesară a straturilor pentru diferite structuri rutiere.

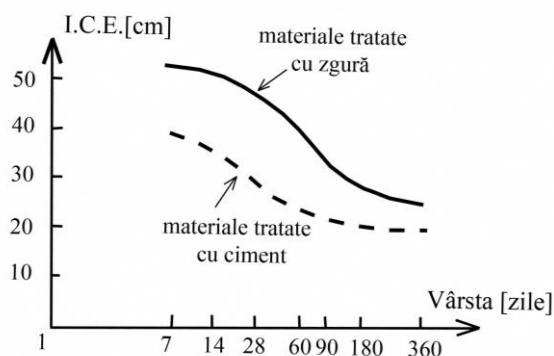


Fig. 1.31. Variația indicelui de calitate elastic, funcție de vârsta materialului.

Calculul efectuat în condițiile sus-menționate, în ipoteza sistemului bistrat, conduce la obținerea diagramei din fig. 1.31. Trebuie menționat faptul că pentru compararea calității a două materiale diferite trebuie să se considere obligatoriu și vârsta. Astfel, pentru agregate naturale stabilizate cu ciment sau zgură granulată sunt prezentate diagramele din fig. 1.32, remarcându-se o micșorare a indicelui de calitate elastic odată cu vârsta.

Pe baza indicelui de calitate elastic se pot efectua următoarele observații:

- materialele care se obțin prin stabilizarea agregatelor naturale cu lianți hidraulici sau puzzolanici sunt cu atât mai performante cu cât indicele de calitate elastic este mai mic. Se remarcă superioritatea performanțelor obținute atunci când se utilizează cimentul ca liant, în raport cu zgura granulată (fig. 1.31 și 1.33). În schimb, în raport cu cenușile de termocentrală sulfocalcice și calcice, performanțele cimentului sunt semnificativ mai bune doar la vârste reduse. Totuși, se poate reține că toate aceste materiale au valori comparabile pentru indicele de calitate elastic;

- pentru două materiale care au aceeași rezistență la întindere, cel mai performant este acela care are un modul de elasticitate mai mic ;

- pentru două materiale care au același modul de elasticitate, cel mai performant este acela care are o rezistență la întindere mai mare.

În concluzie, pentru a realiza o capacitate portantă ridicată pentru straturile rutiere din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, este interesantă soluția obținerii unor materiale cu moduli de elasticitate reduși și cu rezistențe la întindere ridicate, ceea ce este dificil prin utilizarea lianților clasici. Valoarea indicelui de calitate elastic, a modului de elasticitate și a rezistenței la întindere pentru diferite agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, utilizate în tehnica rutieră franceză, sunt prezentate în tabelul 1.5.

Tabelul 1.5.

Material	I.C.E. la 360 zile, în cm	R _t la 360 zile, în N/mm ²	E la 360 zile, în N/mm ²
Agregate naturale stabilizate cu zgură granulată	23...34	≥ 0,65	20 000
Agregate naturale stabilizate cu zgură granulată măcinată	23...32	≥ 0,80	25 000
Agregate naturale stabilizate cu ciment	20...26	≥ 1,10	40 000
Agregate naturale stabilizate cu cenuși de termocentrală sulfocalcice	18...23	≥ 1,40	45 000

Caracteristicile sus-menționate trebuie să se poată obține prin tehnologiile de șantier aplicate, urmând să fie luate în considerare în calculele de dimensionare a structurilor rutiere.

1.11.3. Observații privind legile de oboseală

Legile de oboseală ale agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici pot fi trasate prin una din următoarele tipuri de ecuații (fig. 1.33 și 1.34):

$$\sigma = f(N) \quad \text{sau} \quad \frac{\sigma}{\sigma_0} = f'(N) \quad (1.36)$$

Printr-o curbă de tipul celei prezentate în fig. 1.33 se redă direct tensiunea care produce ruperea materialului la un anumit număr de cicluri de solicitare, în timp ce printr-o curbă de tipul celei prezentate în fig. 1.34 se permite estimarea influenței creșterii numărului de solicitări asupra propagării fisurilor în material.

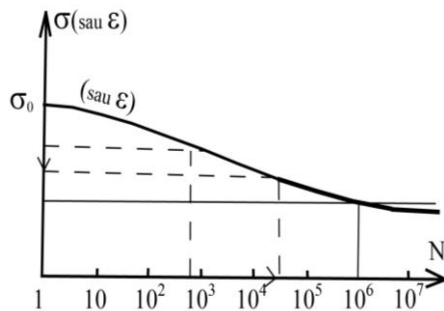


Fig. 1.33. Curbă de oboseală tip $\sigma = f(N)$.

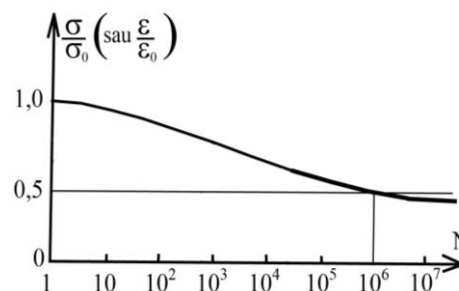


Fig. 1.34. Curbă de oboseală $\sigma/\sigma_0 = f(N)$.

Curbele de oboseală a agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se caracterizează printr-o formă aproape liniară (excepție fac nisipurile sau pământurile stabilizate pentru care forma curbei de oboseală este de S sau hiperbolă, mai rar liniară), respectiv printr-o pantă redusă cu orizontala. Aceste caracteristici ale agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici au repercusiuni importante asupra comportării straturilor respective în exploatare, astfel:

- pentru o mică supradimensionare a stratului stabilizat, manifestată printr-o ușoară scădere a tensiunii de întindere față de cea calculată, se obține o prelungire semnificativă a duratei de exploatare, manifestată prin numărul de cicluri care poate fi suportat de stratul stabilizat (fig. 1.33);

- în sens invers, o mică subdimensionare a stratului stabilizat va conduce la distrugerea acestuia la un număr de solicitări semnificativ mai redus decât cel la care a fost proiectat.

Această constatare poate fi extrapolată pentru recomandarea condițiilor în care este oportună utilizarea straturilor stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Astfel, utilizarea unor structuri rutiere mixte pe drumuri cu trafic redus și ușor poate conduce la distrugerea rapidă a stratului stabilizat ca urmare a nedimensionării sale corecte la solicitarea de către vehicule izolate cu masa pe osie mai mare decât cea considerată în calcule, care pot apărea izolat pe astfel de drumuri.

În exploatare s-a constatat că frecvența de încărcare este de cca 12,5 hz (pentru o viteză de circulație de 100 km/h). Practic, în ceea ce privește legile de oboseală a agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, nu se sesizează diferențe semnificative pentru frecvențe de 10...100 Hz, motiv pentru care încercările curente se realizează la o frecvență de 50 Hz (o încercare ajunge la 10^6 cicluri după 5...6 h, deci aproximativ o zi de lucru pentru ruperea unei probe).

Trasarea curbelor de oboseală se efectuează pe baza unui număr important de încercări (fig. 1.35).

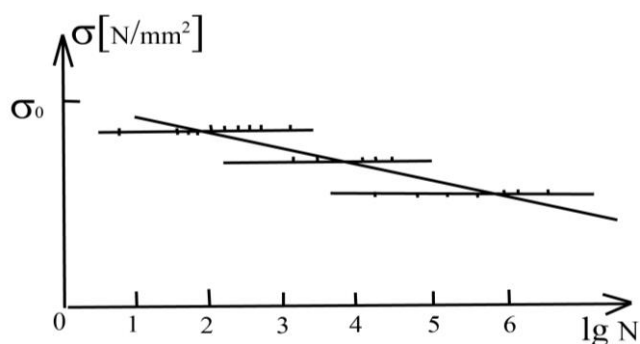


Fig. 1.35. Exemplu de trasare a curbei de oboseală prin trei puncte.

Astfel, pentru obținerea numărului de cicluri de solicitare care produce ruperea materialului pentru o anumită tensiune impusă, în condițiile unei probabilități acceptabile, sunt necesare cel puțin 40 determinări. Rezultă că trasarea unei curbe de oboseală prin trei puncte necesită minimum 120 epruvete încercate, iar prin cinci puncte minimum 200 determinări. În plus nu trebuie uitat faptul că pentru fiecare material în parte și pentru fiecare vârstă se obțin alte curbe de oboseală.

În acest context, se recurge, de regulă, la trasarea unei părți a curbei de oboseală, și anume a părții în care se presupune că se situează numărul de solicitări pentru durata de exploatare prognozată. Astfel, pentru un trafic de 1 000 vehicule grele pe zi și o durată de exploatare de 10 ani se ajunge la un număr de solicitări de $3,6 \cdot 10^6$ cicluri, deci interesează în mod deosebit zona din curba de oboseală corespunzătoare intervalului $5,0 \cdot 10^5 \dots 5,0 \cdot 10^6$ cicluri. Pentru un astfel de raționament rezultă că sunt necesare două puncte pentru cunoașterea evoluției caracteristicilor la oboseală ale materialului.

Referitor la forma curbelor de oboseală, se pot reține următoarele relații:

$$\log \sigma = a - b \cdot \log N \quad (1.37)$$

$$\sigma = \frac{a - b \cdot \log N}{c - d \cdot \log N} \quad (1.38)$$

$$\sigma = a - b \cdot \log N \quad (1.39)$$

Prima ecuație este utilizată în special pentru trasarea curbelor de oboseală ale metalelor și amestecurilor asfaltice, exprimând faptul că logaritmul tensiunii este direct proporțional cu logaritmul numărului de cicluri. Acest tip de ecuație nu se pretează pentru beton de ciment și agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

A doua ecuație exprimă proporționalitatea dintre tensiune și logaritmul numărului de cicluri, fiind o funcție hiperbolică.

A treia ecuație exprimă proporționalitatea dintre tensiune și logaritmul numărului de cicluri printr-o funcție liniară, dar ea nu poate fi aplicabilă decât într-un interval limitat al numărului de cicluri, deoarece nu este verificată pentru $\sigma = 0$ și $N = \infty$. Ecuația dă o bună reprezentare a comportării la oboseală a betonului de ciment și balasturilor stabilizate cu lianți hidraulici în intervalul $1 \dots 10^7$ cicluri.

În altă ordine de idei, este interesant să se cunoască valoarea tensiunii de rupere la un număr de 10^6 cicluri de încărcare (σ_6), caracteristică prin care se poate analiza comportarea la oboseală a unui anumit material. Se poate proceda în felul următor:

- în cazul balasturilor stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, pentru care se acceptă liniaritatea curbei de oboseală, un punct al curbei se poate afla foarte simplu pentru $N = 1$ și $\sigma = \sigma_0 = R_t$. Un al doilea punct se determină pentru o

tensiune impusă σ_6' (tensiune aproximată în jurul valorii care produce ruperea materialului după 10^6 cicluri). Păstrând constantă tensiunea σ_6' se efectuează minimum 40 determinări în urma cărora, prin corelație statistică, se determină un nou punct al curbei de oboseală liniară (fig. 1.36);

- pentru nisipuri stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici forma curbei de oboseală, nefiind liniară, se va stabili prin două puncte (σ_5' ; N_5') și (σ_6' ; N_6'), care încadrează punctul cercetat (σ_6 ; N_6).

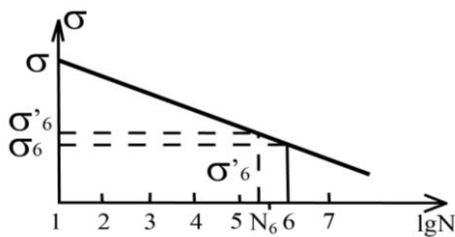


Fig. 1.36. Curbă de oboseală pentru balasturi stabilizate cu ciment.

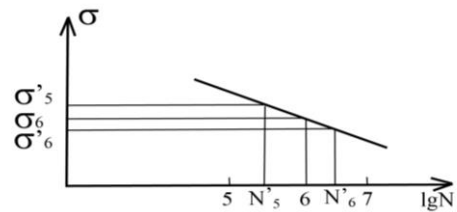


Fig. 1.37. Curbă de oboseală pentru nisipuri stabilizate cu ciment.

În condițiile descrise anterior, ecartul de variație a curbelor de oboseală, determinate prin raportul σ_6/σ_0 , pentru balasturi stabilizate cu diferiți lianți hidraulici sau puzzolanici, este prezentat în fig. 1.38.

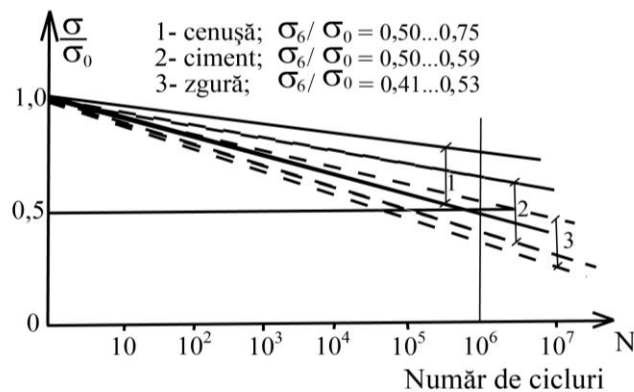


Fig. 1.38. Curbele de oboseală ale balasturilor stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

Din cele descrise anterior, rezultă importanța cunoașterii comportării la oboseală a straturilor rutiere stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici pentru calculul corect de dimensionare a structurilor de rezistență.

1.11.4. Influența factorilor de compoziție asupra calității

Principalii factori de compoziție care influențează caracteristicile fizico-mecanice și de deformabilitate ale agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici sunt următorii:

- dozajul de liant, care odată cu creșterea sa conduce la îmbunătățirea, aproape în raport de proporționalitate, a rezistențelor mecanice. Fenomenul se manifestă mai bine în cazul cimentului, deoarece în cazul lianților puzzolanici depășirea unor anumite limite conduce la scăderea pronunțată a rezistențelor mecanice datorită umflării (încă o dată se demonstrează importanța determinării dozajelor optime de liant prin încercări preliminare de laborator);

- dozajul de apă, care are o influență foarte mare asupra rezistențelor mecanice ale agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Astfel, pentru stabilizările cu ciment (fig. 1.39), dozajul de apă recomandat pentru obținerea rezistențelor mecanice maxime se situează cu cca 1,00 % sub valoarea umidității optime de compactare Proctor modificat. După depășirea acestei valori, rezistențele mecanice scad pronunțat (de exemplu, pentru o umiditate cu 1,00 % mai mare decât umiditatea optimă de compactare Proctor modificat, rezistența la întindere este cu 55...60 % mai mică decât rezistența maximă);

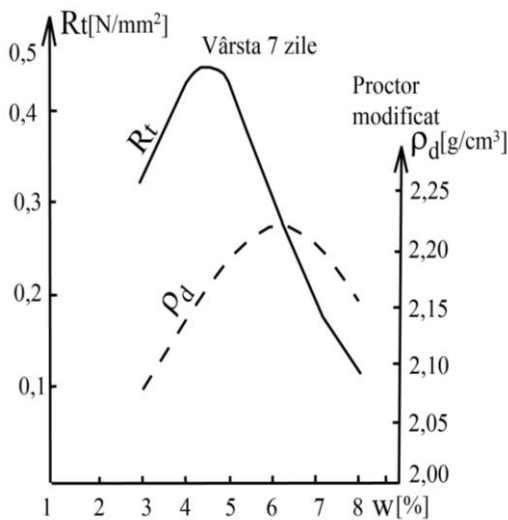


Fig. 1.39. Influența umidității de compactare asupra rezistențelor mecanice.

- gradul de compactare are o influență importantă asupra rezistențelor mecanice. Astfel, pentru agregate naturale stabilizate cu ciment, micșorarea gradului de compactare de la 100 %, la 95 %, conduce la scăderea rezistenței la întindere din încovoiere cu 25 %;

- în ceea ce privește granulozitatea, rezistențele mecanice maxime se obțin pentru curbe de granulozitate care se înscriu în cadrul unor ecarturi prescrise (zone de granulozitate), cu condiția unei compactări corespunzătoare. Cu cât granulozitatea materialului se îndepărtează de zona de granulozitate prescrisă, cu atât rezistențele mecanice obținute sunt

mai reduse, mai ales în cazul agregatelor naturale bogate în nisip.

Aceste rezultate demonstrează influența factorilor de compoziție ai agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici asupra

rezistențelor mecanice și, implicit, asupra calității stratului rutier obținut, evaluată prin durata de exploatare a acestuia.

Evidențierea relațiilor de compoziție pentru un anumit material se poate efectua global prin indicii de calitate elastic, care arată că durata de exploatare este cu atât mai mare cu cât rezistența la întindere este mai mare și cu cât, pentru o rezistență la întindere constantă, modulul de elasticitate este mai redus. Caracteristica cea mai importantă dintre cele două rămâne întotdeauna rezistența la întindere.

Astfel, unele experimentări realizate pe plan internațional au demonstrat faptul că influența factorilor de compoziție asupra grosimii unui strat rutier stabilizat cu ciment care trebuie să suporte cele 10^6 cicluri din cazul indicelui de calitate elastic este cea prezentată în tabelul 1.6 (grosimea necesară în cazul unui dozaj optim teoretic este de 30 cm).

Tabelul 1.6.

Parametru	Natura variației	Creșterea grosimii necesare, în cm
Granulozitatea	De la limita inferioară la cea superioară a zonei de granulozitate	3,0
Dozajul de ciment	De la 3,5 la 5,0 %	3,0
Gradul de compactare	De la 100 la 95 %	4,5
Dozajul de apă	De la 1 % sub w_{opt} Proctor modificat la 5 % peste această valoare	10,0

Aceasta demonstrează că dacă se dorește obținerea unei calități corespunzătoare a straturilor stabilizate cu ciment trebuie acordată o atenție specială stăpânirii dozajului de apă și realizării gradului de compactare, deoarece mici variații ale dozajului de ciment și ale granulozității nu afectează semnificativ durata de exploatare. În realitate, diferiții parametri de compoziție nu variază izolat, ci pot varia concomitent, motiv pentru care ar trebui adoptată o grosime cu cca 15 cm mai mare a stratului stabilizat pentru compensarea tuturor erorilor (deci cu cca 50 % mai mare decât grosimea inițială). Acesta este motivul pentru care se recomandă, la dimensionarea structurilor rutiere mixte, adoptarea unor caracteristici minime ale materialelor stabilizate și nu medii.