

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ TIMIȘOARA**  
**FACULTATEA DE CONSTRUCȚII**

**ING. FLORIN IONICĂ BELC**

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL ȘI REALIZAREA UNOR**  
**STRUCTURI RUTIERE MIXTE**

**TEZĂ DE DOCTORAT**

**CONDUCATOR ȘTIINȚIFIC**

**PROF. DR. ING. LAURENȚIU NICOARĂ**

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

**TIMIȘOARA 1993**

INSTRUMENT	ORA
315	
C.	
Volumele nr. 579, 036	
Dulap 363 F	

## CUPRINS

pagina

I. CONSIDERAȚII PRIVIND STRUCTURILE RUTIERE ȘI LIANȚII PUZZOLANICI	1
1.1. Structuri rutiere	1
1.1.1. Preocupări pentru clasificarea structurilor rutiere	1
1.1.2. Preocupări privind definirea și clasificarea structurilor rutiere la noi în țară	4
1.2. Lianți puzzolanici	8
1.2.1. Lianți puzzolanici artificiali	9
1.2.2. Lianți puzzolanici naturali	10
1.3. Asupra executării structurilor rutiere mixte	12
1.3.1. Materiale care se pretează pentru tratarea cu lianți hidraulici sau puzzolanici	13
1.3.2. Lianții și activatorii utilizați	13
1.3.2.1. Cimentul	14
1.3.2.2. Lianții puzzolanici și activatorii lor	14
1.3.3. Principii privind stabilirea dozajelor optime	17
1.3.3.1. Studiul calității lianților puzzolanici	18
1.3.3.2. Stabilirea dozajelor optime în laborator	22
1.3.4. Prepararea amestecurilor realizate din materiale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici	25
1.3.4.1. Prepararea amestecului la fața locului	25
1.3.4.2. Prepararea amestecului în instalații fixe	26
1.3.4.3. Stabilizarea in situ a materialelor din unele straturi rutiere aflate în exploatare	28
1.3.5. Compactarea straturilor rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici	29
1.3.5.1. Compactarea straturilor din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici cu compactoare vibratoare	30
1.3.5.2. Compactarea straturilor din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici cu compactoare cu pneuri	37
1.3.5.3. Compactarea straturilor din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici cu ateliere formate din compactoare vibratoare și cu pneuri	40

1.3.6. Tratarea ulterioară a straturilor rutiere din materiale tratate cu lianți hidrauli lici sau puzzolanici _____	40
1.4. Concluzii și propuneri _____	41
II. INVESTIGAREA SURSELOR DE AGREGATE NATURALE UTILE DE PE VALEA CRISULUI ALB SI VALEA MURESULUI (JUD. ARAD SI HUNEDOARA) SI STUDIUL POSIBILITATILOR DE UTILIZARE IN TEHNICA RUTIERA A UNOR LIANTI PUZZOLANICI NATURALI _____	
2.1. Generalități _____	44
2.2. Geologia regiunii în care se situează județele Arad și Hunedoara _____	47
2.3. Roci utile pentru construcția și întreținerea drumurilor _____	49
2.3.1. Roci utile în jud. Arad _____	49
2.3.1.1. Andezite _____	49
2.3.1.2. Diabaze _____	54
2.3.1.3. Diatomite _____	54
2.3.1.4. Diorite _____	55
2.3.1.5. Granite _____	55
2.3.1.6. Granodiorite _____	57
2.3.2. Roci utile în jud. Hunedoara _____	57
2.3.2.1. Andezite _____	57
2.3.2.2. Bazalte _____	59
2.3.2.3. Diabaze _____	60
2.3.3. Roci piroclastice _____	60
2.4. Stabilirea principalelor caracteristici ale unor roci, ca posibili lianți puzzolanici _____	61
2.4.1. Determinarea proprietăților fizice _____	61
2.4.2. Determinarea proprietăților mecanice _____	69
2.4.3. Determinarea proprietăților chimice _____	75
2.4.4. Determinarea proprietăților mineralogice _____	80
2.5. Determinarea activității puzzolanice _____	83
2.5.1. Metoda indicelui de activitate puzzolanică _____	84
2.5.2. Metoda ASTM _____	85
2.5.3. Metoda Centrului de Cercetări Rutiere din Bruxelles _____	86
2.6. Mecanismul de întărire a lianților puzzolanici naturali proveniți din curgerile de lave andezitice _____	90
2.6.1. Aspectul mecanic al mecanismului de întărire _____	92
2.6.2. Aspectul chimic al mecanismului de întărire _____	93
2.6.3. Aspectul mineralogic al mecanismului de întărire a lianților puzzolanici naturali _____	95
2.7. Determinarea rezistențelor mecanice în laborator _____	96
2.7.1. Utilizarea lianților puzzolanici studiați pentru tratarea unor agregate naturale _____	97
2.7.1.1. Cazul curgerilor de lave andezitice _____	98
2.7.1.2. Cazul curgerilor de lave bazaltice _____	100
2.7.1.3. Cazul poncelor _____	100
2.7.2. Cercetări vizînd tratarea cu lianți a deșeurilor de carieră andezitice _____	101
2.8. Experimentări pe teren _____	102
2.9. Concluzii și propuneri _____	105

III. COMPORTAREA IN EXOLOATARE A STRUCTURILOR RUTIERE MIXTE	108
3.1. Caracteristicile agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici	108
3.1.1. Determinarea caracteristicilor elastice ale materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici	108
3.1.2. Comportarea la oboseală a materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici	119
3.1.3. Influența factorilor de compoziție asupra calității materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici	127
3.2. Fisurarea din contracție a straturilor rutiere din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici	129
3.2.1. Factorii care influențează fisurarea din contracție	129
3.2.2. Modelarea transmiterii fisurilor prin straturile bituminoase	132
3.3. Transmiterea fisurilor din contracție prin straturile rutiere bituminoase superioare	139
3.3.1. Observații pe sectoare experimentale privind transmiterea fisurilor din contracție	139
3.3.2. Modelarea transmiterii fisurilor prin straturile bituminoase	141
3.4. Comportarea în exploatare a unor structuri rutiere mixte realizate în sud-vestul României	152
3.5. Concluzii și propuneri	159
IV. TEHNOLOGII SPECIFICE PENTRU INCETINIREA TRANSMITERII FISURILOR DIN CONTRACȚIE PRIN STRATURILE BITUMINOASE ALE STRUCTURILOR RUTIERE MIXTE	162
4.1. Generalități	162
4.2. Tehnologii pentru împiedicarea transmiterii fisurilor prin straturile bituminoase	163
4.2.1. Tehnologii pentru provocarea și localizarea fisurilor	164
4.2.2. Tehnologii de suprafață pentru stoparea transmiterii fisurilor din contracție prin straturile bituminoase	168
4.2.3. Tehnologii de interpunere pentru stoparea transmiterii fisurilor din contracție prin straturile bituminoase	176
4.2.4. Tehnologii de interpunere locală pentru stoparea transmiterii fisurilor din contracție prin straturile bituminoase	184
4.3. Tehnologii pentru împiedicarea formării fisurilor din contracție în straturile rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici	186
4.4. Concluzii și propuneri	193
V. CONCLUZII FINALE	195
BIBLIOGRAFIE	203
ANEXE	217

## PREFATA

Preocuparea de bază, îndelungată, a sectorului rutier este executarea unor lucrări cu materiale din apropierea șantiierelor, ceea ce crează posibilități de realizare a acestora în condiții de calitate și cu prețuri avantajoase. În țara noastră au fost inventariate sursele de agregate naturale și subproduse utile sectorului rutier, găsindu-se tehnologii adecvate de valorificare a acestora.

În zona de sud-vest a țării există cariere care livrează agregate naturale sectorului rutier cu activitatea simțitor îngreunată de prezența, în aceleași zăcăminte, a rocilor piroclastice. Acestea se întâlnesc în partea superioară a depozitelor sau în straturi succesive cu roca de bază, au caracteristici fizico-mecanice necorespunzătoare pentru a fi utilizate ca agregate naturale și exploatarea lor este obligatorie pentru a se ajunge la rocile utile. În aceste condiții, sînt necesare studii și cercetări aprofundate pentru găsirea unor soluții care să permită valorificarea rocilor piroclastice.

Pornind de la ipoteza că sectorul rutier reprezintă un potențial utilizator al rocilor piroclastice, autorul a desfășurat studii și cercetări asupra materialelor pietroase exploatare în județele Arad și Hunedoara. În urma încercărilor de laborator și a cercetărilor efectuate, autorul a constatat că rocile piroclastice andezitice și bazaltice au o compoziție chimică și mineralogică apropiată de a unor lianți puzzolanici artificiali (cenuși de termocentrală silico-aluminoase). În aceste condiții, au fost efectuate studii și cercetări pentru găsirea posibilităților de utilizare a rocilor piroclastice ca lianți puzzolanici naturali, a dozajelor și activatorilor optimi pentru tratarea diferitelor agregate naturale, precum și pentru determinarea caracteristicilor fizico-mecanice și elastice ale noilor materiale rezultate. Cercetările efectuate de autor în acest domeniu au fost finalizate prin experimentări pe teren, care au demonstrat justetea rezultatelor obținute în laborator.

În altă ordine de idei, în decursul timpului în structurile rutiere au apărut straturi noi care au determinat reconsiderarea metodelor de dimensionare și mai ales aplicarea unor tehnologii speciale. În acest context, clasificarea structurilor rutiere în suple și rigide apare învechită. Astfel, introducerea în decursul anilor '60... '70 a straturilor rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau aplicarea unor îmbrăcămînți bituminoase pe îmbrăcămînți din beton de ciment au condus la apariția unor noi structuri rutiere cu particularități proprii la dimensionare și privind comportarea în exploatare.

Autorul a urmărit stabilirea particularităților acestor structuri rutiere, numit mixte. Teza de doctorat sintetizează studiile și cercetările legate de tehnologiile specifice de realizare a straturilor din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, precum și cele privind comportarea în exploatare a structurilor rutiere mixte. De asemenea, un loc aparte în preocupările autorului în vederea

elaborării lucrării l-au ocupat cercetările și experimentările vizînd găsirea unor tehnologii eficiente pentru împiedicarea apariției fisurilor din contracție din straturile rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici la nivelul suprafeței de rulare a structurilor rutiere mixte.

În aceste condiții, teza de doctorat prezintă sinteza studiilor bazate pe o vastă bibliografie și a cercetărilor proprii în domeniul structurilor rutiere mixte și al utilizării lianților puzzolanici naturali în tehnica rutieră. Lucrarea cuprinde 5 capitole, și anume:

I. Considerații privind structurile rutiere și lianții puzzolanici.

II. Investigarea surselor de agregate naturale utile de pe valea Crișului Alb și valea Mureșului (județele Arad și Hunedoara) și studiul posibilităților de utilizare în tehnica rutieră a unor lianți puzzolanici naturali.

III. Comportarea în exploatare a structurilor rutiere mixte.

IV. Tehnologii specifice pentru încetinirea transmiterii fisurilor din contracție prin straturile bituminoase ale structurilor rutiere mixte.

V. Concluzii finale.

\*

\*

\*

Autorul își exprimă profunda sa recunoștință conducătorului științific, prof.dr.ing. Laurențiu Nicoară pentru competența și exigența cu care i-a călăuzit întreaga activitate de studii și cercetări efectuate în vederea elaborării tezei de doctorat, pentru dragostea și pasiunea pe care i le-a insuflat pentru drumuri, pentru formarea profesională și științifică.

Doamnei dr.ing. Georgeta Fodor autorul îi mulțumește în mod deosebit, cu profundă recunoștință, pentru problematica pe care i-a sugerat-o și care a devenit obiectul tezei de doctorat, pentru bibliografia pusă la dispoziție, pentru recomandările și colaborarea fructuasă de pe întreg parcursul desfășurării elaborării lucrării.

Autorul mulțumește pentru sprijinul acordat la susținerea examenelor, a referatelor, la analiza lucrării, colegilor din Facultatea de Construcții din Timișoara și din Catedra de Drumuri și fundații, precum și conducerii și colegilor din cadrul Direcției Regionale de Drumuri și Poduri din Timișoara. În mod deosebit mulțumește dlui prof.dr.ing. Iuliu Dimoiu pentru ajutorul acordat la calculul automat al structurilor rutiere mixte fisurate și dlui ing. Iuliu Boboș pentru întreaga colaborare din timpul elaborării tezei de doctorat.

De asemenea, autorul mulțumește pentru susținerea materială a experimentărilor și generalizărilor de soluții și tehnologii noi Secției de Drumuri Naționale Caransebeș, Secției de Drumuri Naționale Deva și Direcției Județene de Drumuri și Poduri Arad.

Autorul exprimă calde mulțumiri conducerilor Institutului de Cercetări și Proiectări pentru Substanțe Minerale Nemetaliifere Cluj-Napoca și Prospekțiuni-SA București pentru colaborarea pe care i-au facilitat-o în vederea efectuării unor analize și încercări de laborator necesare finalizării cercetărilor.

## I. CONSIDERAȚII PRIVIND STRUCTURILE RUTIERE ȘI LIANȚII PUZZOLANICI

Activitatea practică de construcție, modernizare și întreținere a drumurilor preconizează utilizarea unor materiale de calitate, care să fie procurate pe cât posibil, din zona de amplasament a drumului, astfel încît cheltuielile de transport să fie minime. Luînd ca determinant pentru găsirea soluției optime de execuție costul minim al lucrărilor, se poate ajunge, în cele mai frecvente cazuri, la utilizarea unor materiale cu caracteristici fizico-mecanice inferioare celor admise, dar care prin tehnologii adecvate se pot aduce în stadiul de utilizare curentă.

În acest context se impune cunoașterea și valorificarea diversificată a resurselor de materiale rutiere utile, precum și cercetarea comportării în exploatare a diferitelor straturi și structuri rutiere care apar ca urmare a mării varietăți de materiale utilizabile.

### 1.1. Structuri rutiere

Implicațiile imediate ale diversității de materiale și tehnologii utilizabile în sectorul rutier sînt reflectate în apariția unei mari varietăți de straturi și structuri rutiere. Structurile rutiere obținute prin lucrări diverse de construcție, modernizare sau ranforsare, cu materiale și tehnologii multiple, trebuie definite și grupate în tipuri specifice, astfel încît terminologia și, mai ales, metodele de dimensionare utilizate, să fie unitare și corecte. Pentru acesta este necesar să se cunoască în totalitate materialele utilizabile în straturile rutiere prin caracteristicile lor care intervin în metodele de dimensionare adoptate, precum și modul de comportare al acestora în exploatare, care poate conduce, prin studii atente și, din păcate, de durată, la concluzii interesante, menite de multe ori să influențeze etapele de calcul de dimensionare, tehnologiile de execuție, implementarea unor noi soluții etc.

#### 1.1.1. Preocupări privind clasificarea structurilor rutiere

În concordanță cu diversificarea tipurilor de structuri rutiere se remarcă preocupările specialiștilor din domeniu pentru elaborarea criteriilor de clasificare a acestora, precum și pentru perfecționarea metodelor de dimensionare. Astfel la al XVIII-lea Congres Mondial de Drumuri, Bruxelles, 1987 au fost prezentate materiale [81], [186] prin care se propunea următoarea clasificare

a structurilor rutiere:

-structuri rutiere suple, formate din staturi obținute din agregate naturale netratate, acoperite cu straturi din agregate naturale stabilizate cu lianți hidrocarbonați și îmbrăcăminte bituminoasă;

-structuri rutiere rigide, alcătuite din straturi de fundație din agregate naturale, tratate în cazul traficului greu sau netratate cu lianți și îmbrăcăminte din beton de ciment;

-structuri rutiere mixte, realizate din straturi de fundație stabilizate cu lianți hidraulici (puzolanici), acoperite cu straturi executate cu lianți hidrocarbonați (bază+îmbrăcăminte);

-structuri rutiere semirigide, în alcătuirea cărora intră agregate naturale netratate, strat de bază din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici, acoperite cu straturi din agregate naturale tratate cu ciment sau alți lianți hidraulici (puzolanici);

În concepția românească, publicată chiar din anul 1986 [119], se apreciază că alcătuirea sistemelor rutiere semirigide nu este suficient de bine stabilită, întrucât stratul superior stabilizat cu lianți hidraulici este permeabil și nu poate suporta direct încărcările din trafic, de aceea el se acoperă cu un strat (straturi) bituminos, ceea ce corespunde alcătuirii structurilor rutiere mixte.

Într-o abordare recentă specialiștii francezi fac o analiză critică [150] clasificării structurilor rutiere, luând în considerare toate tipurile menționate de literatura de specialitate (fig.1.1.).

În concluziile studiului respectiv se remarcă următoarele:

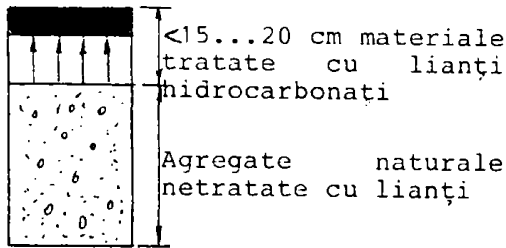
-structurile rutiere semirigide au o comportare în exploatare defectuoasă, mai ales pentru trafic intens și greu (autostrăzi), punând numeroase probleme de întreținere (colmatarea fisurilor transversale, legătura interfețelor etc.). Luând în considerare grosimea necesară a straturilor superioare, necesitatea realizării unor soluții de împiedicare a transmiterii fisurilor și costurile de întreținere, s-a ajuns la concluzia că așa-numitele structuri rutiere semirigide sînt necompetitive din punct de vedere financiar și utilizarea acestora a fost abandonată;

-structurile rutiere inverse și structurile rutiere suple în definirea lor sus-menționată se consideră că nu sînt satisfăcătoare pentru traficurile care se desfășoară pe autostrăzi. În aceste condiții, sînt necesare grosimi mari ale straturilor bituminoase, care încadrează structurile rutiere rezultate în categoria așa-numitelor structuri rutiere bituminoase.

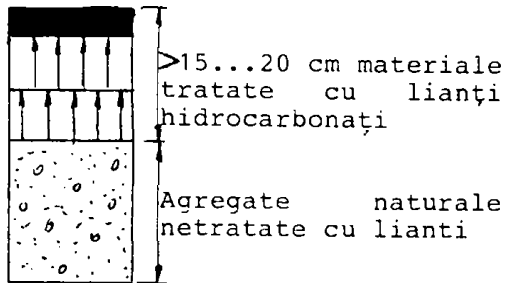
Autorii articolului [150] rețin în final în discuție doar trei tipuri de structuri rutiere (în special pentru autostrăzi), dintre cele enumerate anterior, și anume structurile rutiere bituminoase, mixte și rigide.

Critica generală adusă însă astfel de abordări ale definirii și clasificării structurilor rutiere este legată de lipsa unor criterii generalizate și precise de rezolvare a problemei. În acest sens, se menționează nejustificata aplicare a "criteriilor de grosime" pentru încadrarea unei anumite structuri într-un tip sau altul. Astfel, fără a se preciza efectul (în dimensionare sau exploatare) sporirii sau micșorării grosimii unui strat (fie și numai cu 1 cm) față de pragurile arbitrar stabilite, se procedează la separarea unor structuri de altele pe baza acestor limite (ex. structurile rutiere mixte și structurile rutiere semirigide din fig.1.1). Rezolvarea problemei este și mai ambiguă atunci cînd limitele stabilite devin

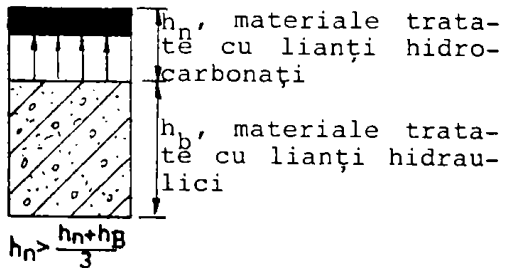




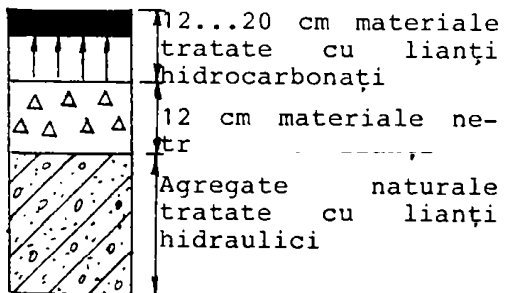
a) STRUCTURĂ RUTIERĂ SUPLĂ  
 Structura rutieră suplă comportă straturi din materiale netratate cu lianți acoperite cu max. 15...20 cm straturi din materiale stabilizate cu lianți hidrocarbonați.



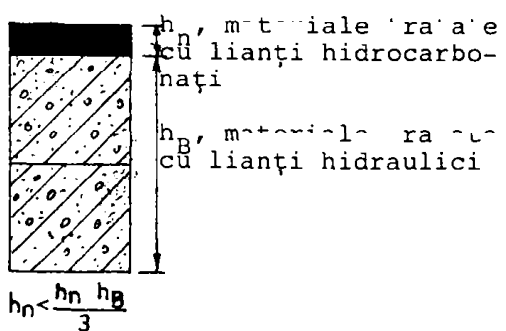
b) STRUCTURĂ RUTIERĂ BITUMINOASĂ  
 Structura rutieră are în componență mai mult de 15...20 cm materiale stabilizate cu lianți hidrocarbonați și nu are în alcatuirea sa nici un strat din materiale tratate cu lianți hidraulici.



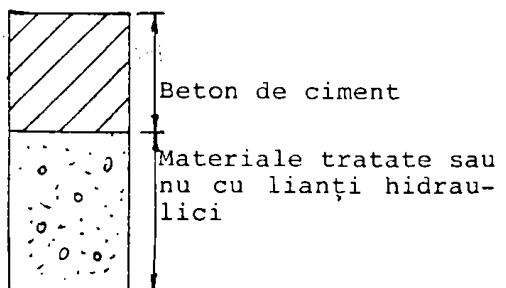
c) STRUCTURĂ RUTIERĂ MIXTĂ  
 Structura rutieră mixtă conține un strat de fundație din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici acoperit cu straturi bituminoase, cu condiția ca grosimea acestora să fie egală cu cel puțin o treime din grosimea totală a structurii rutiere.



d) STRUCTURĂ RUTIERĂ INVERSĂ  
 Structura rutieră comportă, între o fundație din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici și straturile bituminoase, un strat din agregate naturale (piatră spartă) compactate.



e) STRUCTURĂ RUTIERĂ SEMIRIGIDĂ  
 Structura rutieră semirigidă are un strat de bază din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici și un strat de fundație din materiale tratate cu lianți hidraulici (pentru trafic intens și greu) sau materiale netratate cu lianți (pentru trafic ușor). Grosimea straturilor bituminoase fiind mai mică decât o treime din grosimea structurii rutiere.



f) STRUCTURĂ RUTIERĂ RIGIDĂ  
 Structura rutieră rigidă prezintă o îmbrăcăminte din beton de ciment, stratul de fundație putând fi din beton de ciment sau din agregate naturale tratate sau netratate cu lianți hidraulici.

Fig. 1.1. Diferite tipuri de structuri rutiere (Franța).

intervale (fig.1.1), caz în care, în interiorul intervalelor impuse se poate vorbi de două tipuri de structuri rutiere, fiecare din ele încadrată inițial în altă categorie (a se vedea intervalul din fig.1.1: 15...20 cm în interiorul căruia se poate vorbi în același timp și despre structură rutieră suplă și despre structură rutieră bituminoasă).

De asemenea, segmentarea foarte mult a clasificării structurilor rutiere are repercusiuni însemnate asupra terminologiei utilizate, dar mai ales asupra metodelor de dimensionare aplicate, care, în mod practic, trebuie să fie adaptate fiecărei categorii de structuri considerate.

În acest domeniu, preocupările specialiștilor români [11], [119], [107], urmăresc stabilirea unor principii clare, care să conducă la o definiție și clasificare obiectivă și concisă a structurilor rutiere, pe baza studierii comportării în exploatare a acestora.

#### 1.1.2. Preocupări privind definiția și clasificarea structurilor rutiere la noi în țară

În momentul abordării cercetării posibilităților de îmbunătățire a clasificării și definirii sistemelor rutiere, în țara noastră exista următoarea concepție (STAS 4032/1-82):

- sistemul rutier este ansamblul de straturi așezat pe patul drumului care constituie structura de rezistență a acestuia.

Sistemele rutiere, după modul de alcătuire, pot fi:

. sisteme rutiere nerigide - sînt cele în alcătuirea cărora nu intră nici un strat rutier din beton de ciment sau macadam cimentat;

. sisteme rutiere rigide - sînt cele care conțin cel puțin un strat din beton de ciment sau macadam cimentat;

- complexul rutier este ansamblul de straturi format din sistemul rutier și zona activă a terasamentelor din cadrul infrastructurii drumului.

În același timp, ca urmare a multiplelor lucrări de îmbunătățire a stării de viabilitate a drumurilor, a lucrărilor de modernizare sau ranforsare, precum și a apariției și aplicării de noi materiale și tehnologii, s-a ajuns la o diversitate foarte mare de sisteme rutiere, care nu mai puteau fi încadrate doar în cele două categorii menționate anterior.

Cercetările desfășurate de colectivul de specialiști din care făcea parte și autorul, au condus la necesitatea punerii în discuție a următoarelor propuneri vizînd definiția și clasificarea sistemelor rutiere [11], [120]:

- o nouă definiție a sistemelor rutiere și a complexelor rutiere;

- o nouă clasificare a sistemelor rutiere;

- luarea în considerare, în toate cazurile, la dimensionare, ranforsare, pentru stabilirea strategiei de întreținere etc., a complexelor rutiere și nu numai a sistemelor rutiere.

Pentru atingerea acestor obiective s-a făcut apel la concepția generală de alcătuire și proiectare a construcțiilor, care se referă la dimensionarea unei structuri de rezistență, plasată pe o fundație adusă la anumiți parametri tehnici bine stabiliți, la solicitările sigure sau posibile de-a lungul duratei de exploatare

prognozată.

În baza acestei concepții s-a ajuns la concluzia înlocuirii termenului de sistem rutier cu structură rutieră, care de altfel se constituie în elementul de rezistență al drumului (STAS 4032/1-90).

Dezbaterile purtate pe plan național, au condus la acceptarea noii concepții vizînd definirea și clasificarea structurilor rutiere, care va fi prezentată în continuare.

Definirea și clasificarea structurilor rutiere și a complexelor rutiere a fost concretizată astfel:

STRUCTURA RUTIERA este elementul de rezistență al drumului, prevăzută și realizată pe partea carosabilă, alcătuită dintr-un ansamblu de straturi executate, în funcție de rolul lor, de regulă din materiale pietroase tratate sau nu cu lianți (hidrocarbonați, hidraulici sau puzzolanici), după tehnologii adecvate, și dimensionate conform anumitor norme, avînd în ansamblu o capacitate portantă stabilită în principal funcție de intensitatea traficului greu.

Structura rutieră în baza concepției sus-menționate se construiește pe o fundație formată din :

- terasamente, în care se include după caz stratul de formă, zona activă a terasamentelor și eventual pămînturile compactate ;

- terenul natural;

Ținînd seama de modul de alcătuire și de comportare în exploatare, s-a ajuns la următoarea clasificare a structurilor rutiere:

- structura rutieră suplă, este alcătuită, în principiu, dintr-un ansamblu de straturi realizate din materiale necoezive, de regulă stabilizate mecanic sau/și din materiale tratate cu lianți hidrocarbonați, îmbrăcămîntea și stratul de bază fiind realizate, în general, din materiale bituminoase, sau în mod excepțional din macadam (pietruire);

- structura rutieră rigidă este alcătuită de regulă dintr-un ansamblu de straturi tratate sau nu cu lianți peste care se realizează o îmbrăcămîntă din beton de ciment;

- structura rutieră mixtă este constituită din straturi din materiale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în care apar în timp fisuri din contracție, iar îmbrăcămîntea și stratul de bază fiind straturi bituminoase.

Straturile care alcătuiesc structurile rutiere ar putea fi următoarele:

- îmbrăcămîntea (strat de uzură și strat de legătură);
- stratul de bază;
- stratul (sau straturile) de rezistență;
- stratul (sau straturile) portante;
- stratul (sau straturile) de protecție, cu mențiunea că din alcătuirea structurilor rutiere poate să lipsească unul sau mai

multe straturi, iar unele dintre straturi pot să îndeplinească unul sau mai multe roluri.

În aceste condiții, COMPLEXUL RUTIER poate fi definit ca o construcție alcătuită din fundație (terasament și teren natural) și structură rutieră, cu scopul de a servi în bune condiții și în siguranță, circulația rutieră.

Se desprinde deci, necesitatea proiectării în viitor a întregului complex rutier, acordându-se o importanță majoră alcătuirii fiecărui strat, precum și conlucrării dintre terasamente, teren natural și structura rutieră.

Se impune acordarea unei atenții deosebite stratului de formă, definit ca: "stratul superior al terasamentelor amenajat pentru uniformizarea și sporirea capacității portante la nivelul patului drumului", care trebuie astfel proiectat și executat încît pe toată durata de exploatare a construcțiilor rutiere să nu își modifice capacitatea portantă, în special o dată cu variațiile de umiditate. De asemenea, stratul de formă trebuie să asigure după o scurtă perioadă de la execuție circulația de șantier desfășurată în scopul aprovizionării cu materiale și realizării celorlalte straturi rutiere, în mod special a primului strat de fundație. Acesta poate fi compactat eficient doar în condițiile unui strat de formă cu o capacitate portantă suficientă și uniformă.

Avînd în vedere modul de alcătuire, materialele și tehnologiile folosite, metodele de dimensionare și comportarea în exploatare a structurilor rutiere realizate în România s-a obținut clasificarea acestora în forma prezentată în fig.1.2.

În cadrul acestei concepții, împărțirea structurilor rutiere cu îmbrăcămînți bituminoase, în suple și mixte, este dictată de existența sau nu în alcătuirea structurii rutiere, cel puțin a unui strat realizat din materiale tratate cu lianți hidraulici sau suzzolanici. Straturile de acest tip au o rigiditate ridicată, care sporește pînă la o anumită vîrstă, iar în timp fisurează datorită contracției.

Contractia se compune din două tipuri elementare:

- contractiile primare, care cuprind contractia dinaintea întăririi și contractia hidraulică. Acestea sînt responsabile de primele contracții lente ale materialului după punerea sa în operă și se produc chiar dacă materialul este puțin rezistent;

- contractia termică, asociată fie variațiilor de temperatură zilnice, fie celor anuale. Primele pot fi de ordinul a 20...30 °C, în timp ce celelalte pot atinge 50...60 °C.

De regulă contractia materialelor stabilizate crește în timp, iar capacitatea lor de alungire scade o dată cu vîrsta și numărul de solicitări suportate.

Straturile din materiale stabilizate cu lianți hidraulici sau suzzolanici pot funcționa în exploatare ca straturi monolit, caz în care dimensionarea la oboseală este necesară și fisurarea datorită contracției inevitabilă, sau microfisurate, caz în care stratul obținut are o comportare intermediară între straturile monolit și cele obținute din materiale stabilizate mecanic. În cadrul structurilor rutiere mixte se presupune că straturile

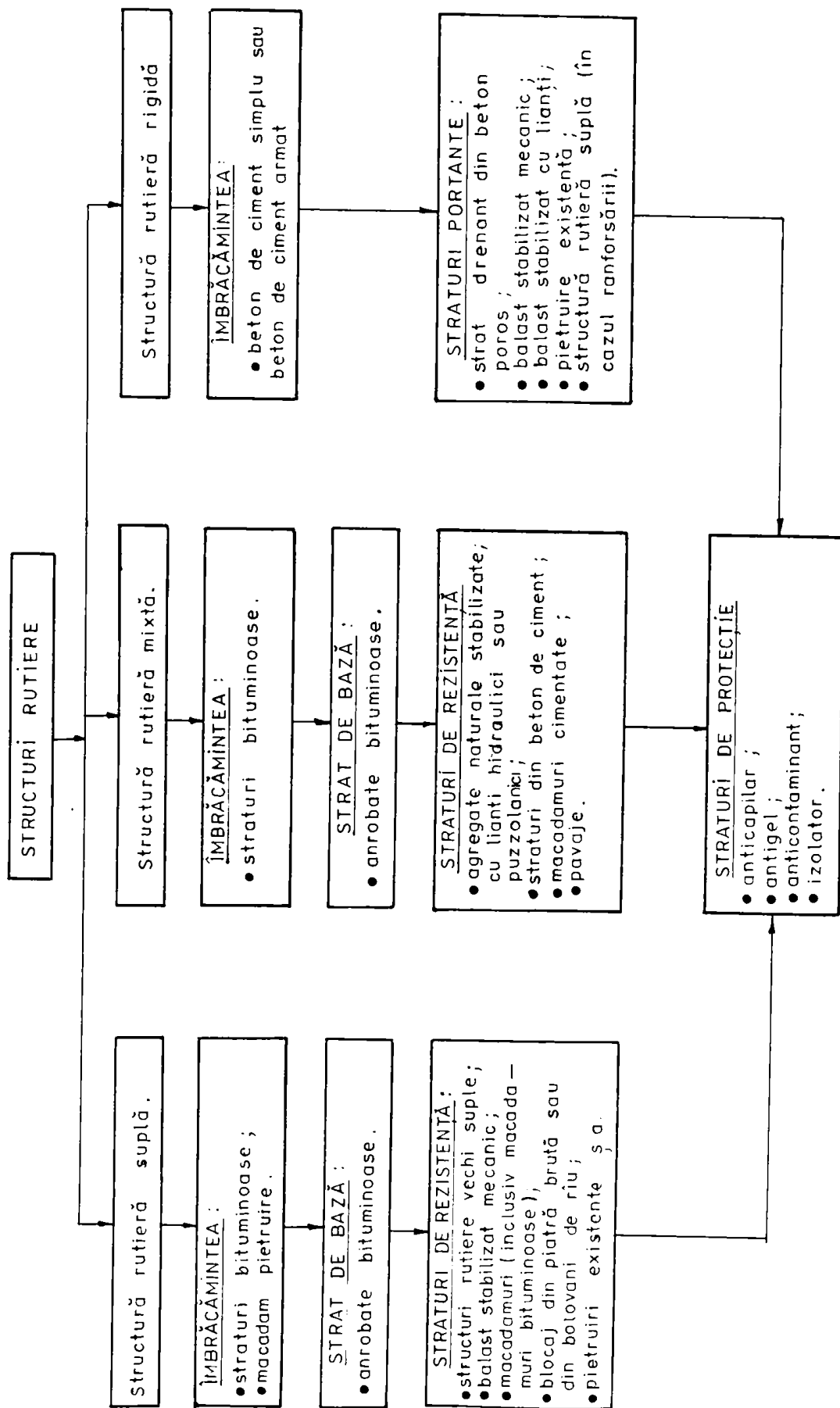


Fig.1.2. CLASIFICAREA STRUCTURILOR -RUTIERE

rutiere din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici lucrează ca straturi monolit, fapt care implică dimensionarea lor la oboseală.

În altă ordine de idei, apariția structurilor rutiere mixte trebuie privită ca o consecință a următoarelor necesități:

- costurile scăzute ale materialelor locale, subproduselor de carieră sau industriale, care se pot găsi în cantități suficiente în zona de amplasament a drumului, dar a căror calitate nu le permite utilizarea, prin tehnologii tradiționale, în tehnica rutieră;

- aspectul ecologic pe care îl ridică depozitele nevalorificate de astfel de materiale;

- realizarea unor importante economii de materiale prin construcția unor straturi mai subțiri dar cu o capacitate portantă ridicată;

- economisirea lianților tradiționali, scumpi și greu de procurat, prin înlocuirea lor, totală sau parțială, cu lianți puzzolanici.

În concluzie, trebuie remarcat faptul că rezultatele specialiștilor români, publicate încă din 1986, [119] se încadrează în preocupările generale ale constructorilor de drumuri din lume pentru găsirea unei definiții și clasificări unitare pentru structurile rutiere. Faptul este cu atât mai îmbucurător cu cât soluția obținută pentru condițiile concrete ale României [11], [119], [120], este susținută în ultimele abordări și de către alți specialiști [150].

Strâns legată de noțiunea de structură rutieră mixtă trebuie privită și problematica lianților puzzolanici, a căror rol și importanță sporesc în perimetrul tehnologiilor rutiere moderne. În acest context, este prezentată în continuare sinteza studiilor efectuate de autor în vederea definirii și clasificării lianților puzzolanici.

## 1.2. Lianți puzzolanici

Lianții puzzolanici sînt materiale silicioase sau silico-aluminoase, care conțin compuși ce se combină cu varul sau cimentul în prezență apei la temperatura obișnuită, dînd naștere la noi compuși, greu solubili în apă, care manifestă proprietăți liante.

Lianții puzzolanici au apărut în tehnica rutieră ca o necesitate a înlocuirii parțiale a lianților hidraulici utilizați pentru construcția straturilor rutiere, cu efecte directe asupra micșorării costului lucrărilor.

Clasificarea lianților puzzolanici utilizați sau cu posibilități de utilizare la tratarea agregatelor naturale în straturile rutiere este prezentată în figura 1.3.

În funcție de compoziția lor chimică și mineralogică, precum și de finețea de măcinare, lianții puzzolanici pot prezenta proprietăți liante mai mult sau mai puțin pronunțate. Se consideră că [47], [53], [185] unii dintre aceștia (în special

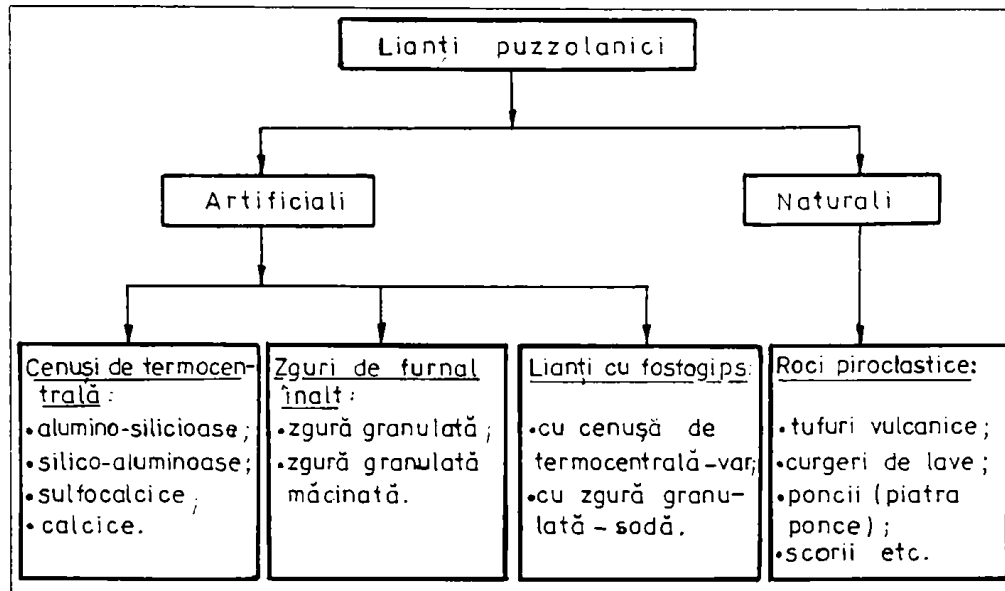


Fig.1.3. Clasificarea lianților puzzolanici.

cenușile de termocentrală calcice și sulfocalcice, eventual zgura granulată măcinată) pot prezenta proprietăți liante în prezența apei, chiar și în absența activatorului.

#### 1.2.1. Lianții puzzolanici artificiali

Lianții puzzolanici artificiali sînt subproduse industriale rezultate în urma unor procese tehnologice de bază.

În cadrul acestei grupe se încadrează cenușile de termocentrală, zgurile granulate de furnal înalt și lianții cu fosfogips.

Cenușile de termocentrală sînt puzzolane artificiale care rezultă ca subproduse în procesul de ardere în suspensie de aer a cărbunilor fin măcinați. Funcție de compoziția chimică, se deosebesc următoarele tipuri de cenuși de termocentrală:

- alumino-silicioase:  $\% \text{SiO}_2 / \% \text{Al}_2\text{O}_3 < 2$  și  $\text{CaO} < 15 \%$ ;
- silico-aluminoase:  $\% \text{SiO}_2 / \% \text{Al}_2\text{O}_3 > 2$  și  $\text{CaO} < 15 \%$ ;
- sulfocalcice:  $\text{CaO} > 15 \%$  și  $\text{SO}_3 < 3 \%$ .
- calcice:  $\text{CaO} > 15 \%$  și  $\text{SO}_3 < 3 \%$ .

În țara noastră [121], [138], [173], se găsesc cenuși alumino-silicioase (Mintia și Paroșeni, obținute prin arderea cărbunilor bruni și a huilei) și silico-aluminoase (Ișalnița, Rovinari, Oradea, obținute prin arderea lignitului). Cenușile de lignit din România prezintă, față de cele rezultate din arderea huilei și cărbunilor bruni, capacitate sporită de fixare a varului, dar necesită o cantitate sensibil mai mare pentru prepararea pastei de consistență normală.

Zgura granulată de furnal înalt rezultă ca subprodus în procesul de fabricare a fontei din minereurile feroase, prin răcirea bruscă a zgurii fluide ajunsă la temperatura de  $1450^\circ\text{C}$ .

Granularea zgurii se poate realiza prin diferite procedee, cele utilizate în țara noastră fiind următoarele:

- granularea cu jet de apă. Zgura topită este descărcată din oale printr-un jet puternic de apă, care realizează atât granularea, cât și transportul zgurii în depozit;
- granularea în bazin prin descărcarea zgurii topite într-un bazin în care se ridică nivelul apei pentru realizarea granulării;
- granularea în jet circular de apă, care constă în trecerea zgurii topite printr-un canal vertical prevăzut cu orificii, prin care se introduce apă sub presiune. Apa preia șuvoiul de zgură și realizează granularea acesteia.

Prin granulare se obține o granulozitate a zgurii care se înscrie în ecartul 0...5 mm, cu treceri prin sita de 0,09 de 4...14 %. Pentru creșterea suprafeței specifice și implicit a activității puzzolanice se procedează uneori la măcinarea zgurii granulate chiar și în lipsa activatorului.

Fosfogipsul este un subprodus industrial cu proprietăți hidraulice ce rezultă la combinatele chimice, în urma producerii îngrășămintelor chimice. Din punct de vedere chimic [25] fosfogipsul conține circa 95 % sulfat de calciu deshidratat ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ), iar restul de 5 % este constituit din impurități, dintre care se evidențiază acidul fosforic și acidul sulfuric. Posibilitățile de utilizare ca liant a fosfogipsului sînt obținute prin amestecarea sa, în anumite proporții, cu cenușă de termocentrală - var sau zgură granulată - sodă caustică.

#### 1.2.2. Lianții puzzolanici naturali

Lianții puzzolanici naturali rezultă prin măcinarea fină a unor roci vulcanice sau vulcano-sedimentare cu compoziție chimică și mineralogică corespunzătoare dezideratului urmărit. În această categorie se încadrează rocile piroclastice.

Familia rocilor piroclastice definește o colectivitate largă de roci rezultate sub efectul activității vulcanice, constituite din claste (elemente componente ale rocilor) de natură vulcanică (piroclaste), uniforme sau eterogene granulometric și compozițional, reprezentînd sticlă vulcanică (vitroclaste) și vulcanocristaloclaste, lapili, bombe și blocuri vulcanice. Aceștia li se pot adăuga particule (claste) nevulcanice, conducînd la formarea piroclastitelor epiclastice.

În compoziția rocilor piroclastice pot intra produse ale vulcanismului bazic (bazalte), ale vulcanismului meditic (andezite) și ale vulcanismului acid (riolite, dacite).

Definirea rocilor piroclastice are în vedere mai multe criterii, după cum urmează:

- natura procesului de fragmentare cu referințe la geneza vulcanoclastelor și vulcanoclastitelor;
- mecanismul exploziv și modul de depozitare;
- criteriul de granulozitate;
- proporția amestecului de material vulcanic și terigen ce participă la alcătuirea rocilor;
- compoziția petrografică a rocii.



Clasificarea rocilor piroclastice funcție de granulozitate și procentul de material piroclastic este prezentată în tabelul 1.1 [70], [86], [109].

Tabelul 1.1.

Epiclastice:

0 %-----10 %-----40 %-----60 %-----90 %-----100 %

Piroclastite	Piroclastite epiclastice	Tufite	Epiclastite piroclastice	Epiclastite
--------------	--------------------------	--------	--------------------------	-------------

Piroclastite

100 %-----90 %-----60 %-----40 %-----10 %-----0 %

Brecii piroclastice	Brecii piroepiclastice		Brecii și conglomerate piroclastice (tufacee)	Brecii și conglomerate
Microbrecii piroclastice	Lapilite Conglomerate			
Lapilite		Tufite	Brecii	
Tufuri: -grosiere;	Tufuri gresoase	Tufite	Gresii (nisipuri) tufacee	Gresii
-mediu granulare;			Silite tufacee	Silite
-fine.	Tufuri silitice			

Cazul comun îl prezintă rocile de tranziție, care se situează între piroclastite și epiclastite, materialul de origine piroclastică putând proveni dintr-un depozit, direct din activitatea vulcanică sau indirect (material remaniat).

Interes deosebit ca posibili lianți puzzolanici naturali prezintă însă rocile în care se întâlnește cea mai mare cantitate de material vulcanic, deci piroclastitele.

În categoria piroclastitelor pot să apară următoarele fracțiuni de granulozitate:

- cenușa, reprezentată de microclaste de sticlă vulcanică (vitroclaste) și vulcanocristaloclaste, foarte rar întâlnite numai una din două, cu granulozitate diferită: fină (cu diametrul sub 0,063 mm), medie (cu diametrul de 0,063...0,500 mm) și grosieră (cu diametrul de 0,5...2,0 mm). În particular, tufurile vulcanice apar ca o acumulare a cenușilor vulcanice. Din punct de vedere chimic, compoziția tufurilor curate este aceeași cu a lavelor din care provin. Tufurile vulcanice pot fi friabile, consolidate (cimentate sau sudate), poroase sau compacte, iar din punct de vedere structural se deosebesc tufuri vitroclastice, cristaloclastice, litoclastice, inclusiv cu varietățile lor de tranziție. În sectorul rutier se utilizează cu precădere clasificarea tufurilor vulcanice după compoziția lor petrografică: tufuri dacitice, riolitice, andezitice, bazaltice etc.;

- lapili (diametrul de 2...64 mm) sînt fracțiuni de lavă ejectată de regulă simultan cu cenușa dintr-o topitură comună, ulterior consolidată. Clastele de roci vulcanice, magmatice în ansamblu, dar și nemagmatice, desprinse din infrastructura vulcanică în

procesul de erupție, constituie o categorie aparte de vulcanoclaste. În aceeași zonă de granulozitate apar:

. ponciile care se prezintă sub formă de fragment solidificate ale magmei, umflate și poroase. Ele provin din exploziile violente și se caracterizează în principal prin prezența a nenumărat alveole mici de formă regulată, separate între ele de pelicule fine de lavă solidificată. Formarea de alveole foarte mici se datorează viscozității mari a lavei de origine care a împiedicat eliminarea gazelor expulzate în același timp cu aceasta, în momentul răcirii bruște în contact cu factorii exteriori;

. scoriile sînt constituite din bucăți de lavă de 1...3 cm dar a căror mărime poate ajunge și la cîtiva zeci de cm. Ele se disting de poncii prin forma și mărimea alveolelor, aici foarte variabilă separate prin pereți de rocă mult mai groși. Din acest motiv, ele sînt mult mai dense, provenind dintr-o magmă mai fluidă, deci care a permis eliberarea mai ușoară a gazelor;

- bombele vulcanice sînt fragmente de roci (cu diametrul mai mare de 64 mm), respectiv fracțiuni de lavă aruncată de explozia vulcanică și consolidată în decursul traiectoriei aeriene, purtînd diferite caracteristici morfologice, funcție de compoziția și de viscozitatea topiturii;

- blocurile vulcanice sînt fracțiuni de lavă ejectată și solidificată, avînd aceleași dimensiuni ca și bombele, dar cu forme mai colturoase.

Principalele mecanisme explozive consemnate în natură conduc la următoarele tipuri de depozite piroclastice:

- depozite de cădere piroclastică;
- depozite de curgere piroclastică;
- depozite de val piroclastic.

Avînd în vedere faptul că materialul piroclastic se găsește în aceleași depozite cu rocă de bază și că din punct de vedere al compoziției chimice și mineralogice nu se sesizează deosebiri semnificative, se poate considera că și unele roci magmatice (bazalt andezit etc.) pot fi încadrate în categoria lianților puzzolanici naturali [75], [110]. Pentru aceasta este absolut necesar ca în amestec să existe suficiente părți fine pentru declanșarea reacției puzzolanice sub influența unui activator.

Constatarea sus-menționată poate fi de un real folos în cazul stabilizării unor subproduse de carieră (roca de bază bazaltică sau andezitică), cînd liantul puzzolanic se poate găsi chiar în fracțiunea fină a materialului respectiv. Însă, de regulă, rezultatele corespunzătoare nu se vor obține [110] decît în varianta introducerii în amestec a unei fracțiuni fine obținută prin măcinare, eventual chiar din același material, în proporție de 20...30 %, care să confere amestecului particule fine (sub 0,08 mm) de min. 8...10 %.

### 1.3. Condiții privind realizarea straturilor rutiere din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici

După cum s-a văzut în fig.1.2. caracteristica principală a structurilor rutiere mixte este existența în alcătuirea acestora, sub o îmbrăcăminte, și eventual strat de bază bituminoasă, a cel puțin unui strat realizat din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, beton de ciment sau macadam cimentat.

Structurile rutiere mixte astfel definite pot să apară în cazul construcției sau modernizării drumurilor, dar și în urma ranforsării structurilor rutiere existente cu capacitate portantă insuficientă. Trebuie menționat faptul că în mod curent sînt construite structuri rutiere mixte cu straturi de rezistență din materiale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, acestea fiind cele care se vor trata cu precădere în continuare.

Pentru realizarea unor straturi cu caracteristici corespunzătoare din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se analizează materialele care se pretează la astfel de lucrări, tipurile de lianți disponibili și dozajele optime, posibilitățile de activare a lianților puzzolanici și proporțiile de activator necesare, problemele legate de prepararea, punerea în operă și tratarea ulterioară a straturilor rutiere astfel executate.

#### 1.3.1. Materiale care se pretează pentru tratarea cu lianți hidraulici sau puzzolanici în vederea executării de straturi rutiere

Avînd în vedere tendința generală de economisire pe cît posibil a materialelor scumpe și mai greu de procurat, obiectivul urmărit prin realizarea straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici (puzzolanici) este de a folosi materialele locale care corespund unor caracteristici de calitate inițial impuse. Astfel, se sesizează utilizarea cu precădere a balasturilor și nisipurilor [2], [27], [42], [47], [54], [85], care au o granulozitate continuă, ce se va înscrie, de regulă, într-o zonă de granulozitate prescrisă [188]. De asemenea, se poate opta pentru tratarea unor agregate naturale de carieră (în majoritatea cazurilor subproduse de carieră), precum și a pietrișurilor, cu condiția ca granulozitatea lor să fie studiată și eventual corectată. Corectarea granulozității se poate efectua fie cu alte materiale locale, fie prin însăși liantul puzzolanic, care aduce, de regulă, o proporție importantă de părți fine. Dimensiunea maximă a granulei materialelor ce urmează să fie tratate cu lianți depinde de rolul stratului în structura rutieră și nu va depăși 31,5 mm, iar coeficientul de neuniformitate va fi min. 8 %.

Este indicată inclusiv stabilizarea unor materiale coezive cu lianți hidraulici (puzzolanici) în scopul executării straturilor de formă. Pămînturile coezive vor fi analizate din punct de vedere al indicelui de plasticitate și conținutului de substanțe organice și humus, și, dacă se consideră necesar, se corectează aceste caracteristici prin adaos de var nehidratat măcinat sau var hidratat în pulbere (pentru aducerea indicelui de plasticitate la max. 10 %) și adaos de clorură de calciu (pentru un conținut de substanțe organice și humus mai mare de 4 %).

#### 1.3.2. Lianți și activatori utilizați

Lianții frecvent utilizați pînă în prezent pentru tratarea unor materiale pentru executarea de straturi rutiere sînt: cimentul, zgura granulată eventual măcinată, cenușile de termocentrală și unii lianți puzzolanici naturali (tufurile vulcanice). Activarea lianților puzzolanici în vederea declanșării reacției de hidratare se poate efectua, în funcție de tipul liantului, cu var, ciment, ghips etc.

### 1.3.2.1. Cimentul

Cimentul este utilizat frecvent în cadrul acestor tehnologii datorită calității sale și a caracteristicilor pe care le determină pentru materialul rezultat în urma stabilizării. De asemenea, tehnologia este mai sigură și mai ușor de stăpinit și controlat. Pe de altă parte însă, executarea tehnologiei nu se poate realiza sub trafic ca urmare a efectului distructiv al acestuia asupra legăturilor care se formează în perioada de priză și întărire a cimentului.

În țara noastră, se recomandă [213] pentru lucrări de tratare a agregatelor naturale în straturi rutiere cimenturi Portland (P40), cimenturi cu adaosuri (Pa35) sau cimentul pentru drumuri (CD40).

Dozajele de ciment utilizate în mod curent (STAS 10473/1-87) depind de granulozitatea materialului de stabilizat, mai mare pentru nisipuri (6...10 %). Dozajul de ciment este influențat hotărâtor și de rolul stratului în structura rutieră și deci de caracteristicile finale ce se urmăresc a fi atinse.

### 1.3.2.2. Lianții puzzolanici și activatorii lor

Lianții puzzolanici au nevoie de un activator pentru declanșarea și susținerea reacției de hidratare, puțini fiind aceia care nu îl necesită și doar pentru drumuri cu trafic redus și ușor. Priza lianților puzzolanici poate fi obținută prin diferite tipuri de activare, cele mai frecvente fiind obținute prin utilizarea varului sau cimentului.

Compușii care pot să apară în urma reacțiilor puzzolanice sînt următorii [66]:

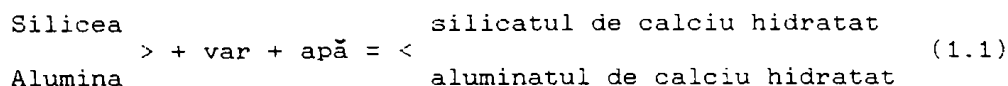
- silicatul de calciu hidratat (CSH) care se prezintă sub forma unui gel cu slabă cristalizare;

- aluminatul tetracalcic hidratat ( $C_4AH_{13}$ ), hexagonal, și în anumite condiții este posibil de a se găsi:

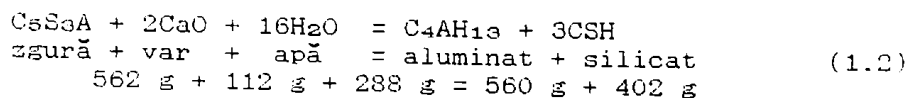
- gehlenitul hidratat ( $C_2ASH_6$ );

- ettringitul ( $3CaO, Al_2O_3, 3SO_4Ca, 32H_2O$ ) și monosulfoaluminatul ( $3CaO, Al_2O_3, CaSO_4, 12H_2O$ ).

În cazul utilizării varului ca activant, reacțiile care au loc pot fi schematizate astfel:

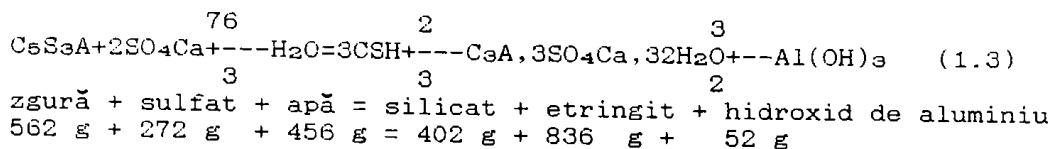


Într-adevăr apariția gehlenitului hidratat nu este posibilă [69], [183], toată alumina intrată în reacție regăsindu-se în aluminatul tetracalcic, în timp ce silicea se găsește integral în faza hidratată sub formă de silicat de calciu hidratat. Pentru zgura granulatată, această reacție poate fi scrisă astfel:



Activarea unui liant puzzolanic cu sodă (NaOH) permite evidențierea a trei faze de hidratare: silicatul de calciu hidratat, aluminatul tetracalcic hidratat și gehlenitul hidratat, care nu apare decât în amestecurile cu sodă. Aceasta datorită faptului că varul îl descompune în aluminatul tetracalcic hidratat și silicat de calciu hidratat.

Utilizarea pentru activare a unui sulfat de calciu conduce, în urma reacțiilor care au loc cu elementele solubile în apă ale puzzolanei, la obținerea trisulfoaluminatului de calciu cu 32 molecule de apă sau ettringitul. Astfel, pentru zgură reacția este următoarea:



Ettringitul nu apare decât prin activarea sulfatică și se remarcă [69] că fie datorită modului său de formare în spic, fie datorită conținutului mare de apă de constituție (32 molecule), acesta este responsabil de un fenomen de expansiune, care poate influența umflarea. Atunci când acest fenomen este stăpinit, se pot obține materiale interesante ca și în cazul cimenturilor cu contracție compensată.

Activarea sulfatică prezintă dezavantajul de a fi mai lentă decât activarea calcică, în timp ce o activare cu sodă (NaOH) s-a constatat că are o acțiune mai rapidă decât a varului, de unde ideea interesantă a utilizării unor activatori micști de tipul sodă-sulfat de calciu, cu toate problemele tehnologice care apar în acest caz. De altfel, există soluții [69] de combinare prealabilă a celor două materiale: deshidratarea ușoară a ghipsului și apoi pulverizarea unei soluții concentrate de sodă a cărei apă este integral consumată prin reacția de reformare a ghipsului. Se obține prin acest procedeu un produs omogen, uscat și pulverulent, care se prezintă sub aspectul varului.

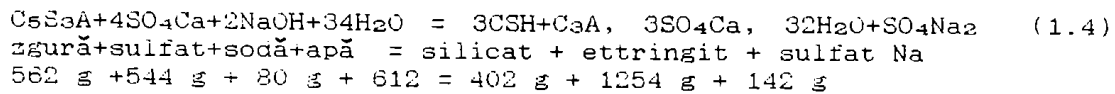
Sulfatul de calciu stă la dispoziția constructorilor de drumuri prin intermediul fosfogipsului, care s-a văzut este un subprodus al industriei chimice.

Cercetările efectuate în România [53], [54] au permis realizarea unor lianți cu fosfogips utilizați la execuția de straturi rutiere prin stabilizarea unor agregate naturale locale. Sînt definitive două dozaže:

- cenușa de termocentrală (67...73 %) + var(16,5...13,0 %) + fosfogips (9,0...16,5) %;

- zgură granulată + sodă caustică + fosfogips.

În cazul utilizării activării sodă-sulfat de calciu pentru activarea zgurii granulate, reacția este următoarea:

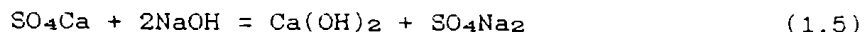


Prin activarea mixtă sodă-sulfat de calciu, se consumă de două ori mai mult sulfat de calciu, în timp ce cantitatea de ettringit format este mai mică cu circa 50 % . Se observă de asemenea că sulfatul de sodiu format este de ordinul a 10 % față de suma hidrataților. Activarea calcică, pentru aceeași masă de zgură, consumă de circa cinci ori mai puțin activant decât activarea sodă-sulfat de calciu, iar pe de altă parte, cantitatea totală de hidratați formați este cu de circa două ori mai mică.

În concluzie, sînt necesare 80 g sodă pentru 544 g sulfat de calciu, care la rîndul său corespunde la 688 g fosfogips ( $\text{SO}_4\text{Ca}, 2\text{H}_2\text{O}$ ), deci circa 10,4 % din amestecul sodă-sulfat.

Dar, de exemplu, într-un balast stabilizat cu zgură granulată, intră circa 20 % zgură, care aduce circa 4 % părți fine. Admițînd că aceste părți fine intră în reacția de hidratare în proporție de 100 %, sînt necesare 0,8 % var nestins, sau 5,5 % ghips sodat, din care 0,6 % sodă. Însă practic, partea activă a părților fine din zgură este de circa 25 %, fapt care necesită o cantitate de activant de 0,2 % var sau 1,4 % ghips sodat, din care 0,15 % sodă. Deci, în primul caz, dozajul de activator utilizat în mod curent la astfel de amestecuri de 1 % este foarte mare pentru var, dar nu este defavorabil ținînd seama de necesitatea executării corecte a dispersiei sale în masa materialului. În al doilea caz, un dozaj de 1 % activant, reprezintă o cantitate aproape corectă, dar pentru siguranță procentul de 1 % trebuie mărit, fapt care este defavorabil acestei soluții.

Pentru puzzolanele naturale și cenușile de termocentrală [30], reacția puzzolanică, mai exact procesul reacțional care include mai multe reacții, are la bază elementele acide active din material (reacția 1.1). Elementele acide active din puzzolanele naturale și cenușile de termocentrală silico-aluminoase și alumino-silicioase sînt silicea ( $\text{SiO}_2$ ) și alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), care apar în partea vitroasă a materialului, în timp ce cantitatea de var adusă în reacție de aceste materiale este nesemnificativă. Este deci nevoie de var pentru declanșarea reacției puzzolanice și se pune întrebarea dacă cel rezultat prin reacția 1.5, pentru activatori micșit sodă-sulfat de calciu, este suficient:



Pentru a răspunde la această întrebare trebuie calculat că 80 g sodă produce 56 g var, deci pentru a se obține în amestec cantitatea de var care s-ar introduce inițial prin procedeul clasic, ar fi nevoie de o cantitate de ghips sodat (cu 10 % sodă), de circa zece ori mai mare.

Concluzia este că, deși în cazul zgurilor granulate activatorii micști sodă-sulfat de calciu constituie o soluție interesantă, cu condiția utilizării unor doze apropiate de cele ale activatorilor clasici și creării unor produși cu cantitate suficientă de sodă, în cazul puzzolanelor naturale și a unor cenuși de termocentrală, ea este inacceptabilă din punct de vedere economic (necesită doze de activator mult prea mari).

De altfel, fiecare administrație de drumuri, pentru materialele disponibile și pe baza cercetărilor proprii stabilește limitele dozajelor recomandabile pentru lianții puzzolanici și activatorii lor. Astfel, în România, prin indicativul CD127-83. [138] sunt recomandate următoarele doze funcție de tipul liantului și de granulozitatea materialului de stabilizat (raportat la masa totală a amestecului):

- dozajul de liant puzzolanic va fi de 15...30 % pentru zgura granulată, 10...30 % pentru cenușa de termocentrală și de 6...10 % pentru tuful vulcanic;

- activatorul folosit este varul hidratat în pulbere și varul nehidratat măcinat pentru zgura granulată, iar pentru cenușa de termocentrală și tuful vulcanic se poate utiliza și cimentul Pa 35;

- dozajul de activator este de 2 % în cazul utilizării unei tehnologii de preparare în stații fixe și de 3 % în cazul preparării amestecului in situ.

Pentru îmbunătățirea viabilității drumurilor din pământ sau pentru execuția stratului de formă se poate apela la o stabilizare cu var-ciment a materialelor coezive [90], [122].

Soluția are avantajul de a permite aducerea materialului în zona umidității optime de compactare prin adaos de var stins sau nestins, urmată de îmbunătățirea simțitoare a rezistențelor mecanice ale materialului prin adaos de ciment.

### 1.3.3. Principii privind stabilirea dozajelor optime

Având în vedere diversitatea de materiale ce se pot stabiliza cu lianți hidraulici (puzzolanici), ecartul mare al calității acestora, precum și al lianților puzzolanici, poziția și rolul stratului rutier rezultat în cadrul structurii etc., stabilirea dozajelor optime este dificilă prin metode exacte. Pentru ciment, liant rezultat în urma unui proces tehnologic bine stăpinit și cu o aplicabilitate largă pentru stabilizarea materialelor, a fost posibilă elaborarea unor abace (fig.1.4), precum și a unor relații de calcul pentru stabilirea dozajului aproximativ [123]. Aceste relații rezultă prin corelație statistică, pe baza rezultatelor obținute în practică și sînt de forma următoare:

$$C = 730 \frac{R_{07}}{M_0} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (1.6)$$

în care:

C este dozajul de ciment, în kg/m<sup>3</sup> de material stabilizat;

R<sub>07</sub> - rezistența la compresiune pe probe păstrate 7 zile în atmosferă umedă, în daN/cm<sup>2</sup>;

M<sub>0</sub> - marca cimentului folosit, în daN/cm<sup>2</sup>.

Pentru lianții puzzolanici obținerea unor astfel de nomograme sau relații de calcul este și mai dificilă, având în vedere modul lor de proveniență și multitudinea caracteristicilor lor aleatcare, care influențează hotărîtor activitatea hidraulică. În aceste condiții este obligatorie investigarea proprietăților hidraulice ale liantului puzzolanic, urmată de stabilirea dozajului pe baza unor studii și

5-1-1-1  
3-1-1

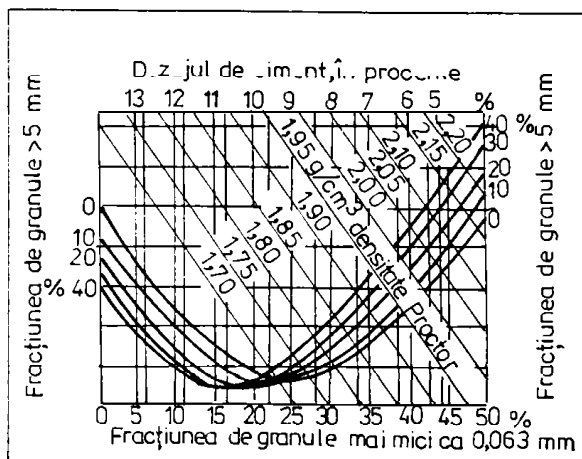


Fig.1.4. Abacă pentru stabilirea dozajului de ciment.

încercări de laborator.

### 1.3.3.1. Studiul calității lianților puzzolanici

Pentru obținerea unor reacții de hidratare corespunzătoare în prezența unui activator, lianților puzzolanici le este necesară o anumită compoziție chimică și mineralogică, precum și unele proprietăți fizice specifice.

#### a) Compoziția chimică a lianților puzzolanici

Compoziția chimică a lianților puzzolanici se poate determina prin analiză chimică completă sau/și prin analiză diferențială a principalilor componenți oxidici, care în cazul lianților puzzolanici sînt: bioxidul de siliciu ( $\text{SiO}_2$ ), trioxidul de aluminiu ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), oxidul de calciu ( $\text{CaO}$ ) și oxizii de fier ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;  $\text{FeO}$ ;  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). În afara principalilor compuși oxidici sus-menționați, lianții puzzolanici mai conțin: oxid de magneziu ( $\text{MgO}$ ), protoxid de potasiu ( $\text{K}_2\text{O}$ ), protoxid de sodiu ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), anhidridă sulfurică ( $\text{SO}_3$ ) etc.

În aceste condiții, analizarea lianților puzzolanici din punct de vedere chimic se face cu ajutorul sistemului  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ , în care intră principalii compuși oxidici care influențează reacția puzzolanică (fig.1.5).

Principalul compus oxidic care influențează activitatea puzzolanică este oxidul de calciu ( $\text{CaO}$ ), calitatea liantului crescînd o dată cu cantitatea de  $\text{CaO}$  încorporată (mai mare la cenușile calcice și sulfocalcice și la zgurile granulate și mai mică la ceilalți lianți puzzolanici).

Nu se va uita însă că lianții puzzolanici sînt rezultatul unor procese termice prin care o parte a oxidului de calciu a devenit inactiv prin supraardere și doar  $\text{CaO}$  liber este cel care intră în noi reacții, cum ar fi cele de hidratare. Pe de altă parte nu trebuie neglijat aportul pe care îl aduce în reacția puzzolanică suma  $\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3$ , compuși care contribuie la formarea silicaților și aluminatilor de calciu.

Astfel, pentru cenușile de termocentrală se constată [182] evoluția din fig.1.6 a rezistențelor mecanice ale amestecurilor, funcție de conținutul de silice și alumină.



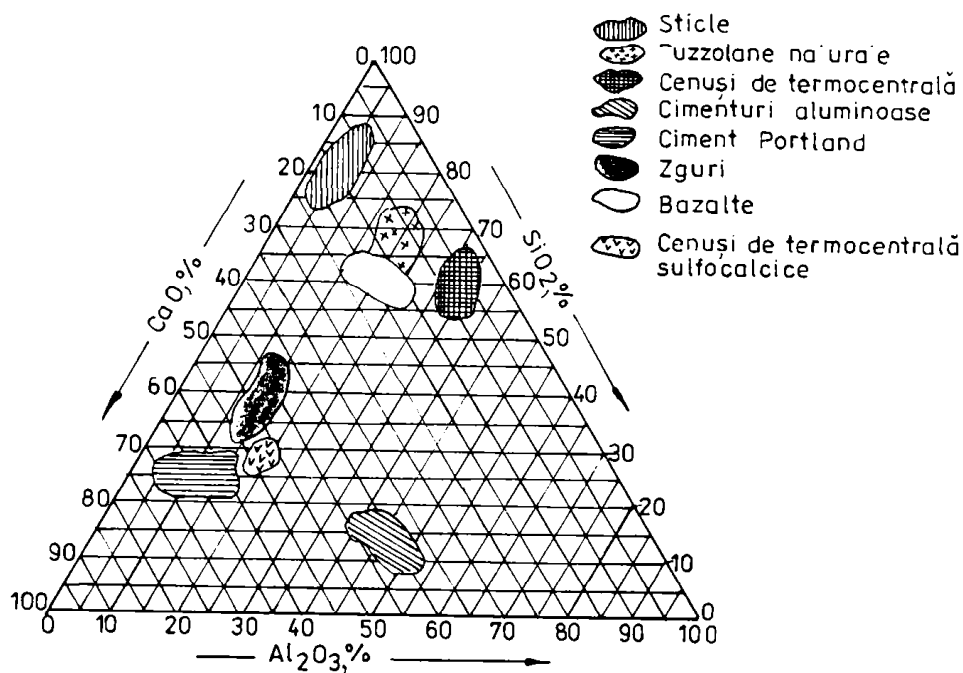


Fig.1.5. Locul lianților puzzolani în sistemul  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ .

b) Compoziția mineralogică a materialelor cu proprietăți puzzolante se determină prin difracție cu raze X sau prin analizare cu microscopul polarizant. Importantă pentru calitatea reacției puzzolante este faza amorfă, care trebuie să fie preponderentă (55...88 %). Preponderența fazei vitroase este determinată de regulă de conținutul topiturii parțiale, care prin răcire rapidă se solidifică fără cristalizare, rămânând în stadiul de "germeni" micro și criptocristalini.

Influența fazei vitroase asupra reacției de hidratare este pusă în evidență pentru două cenuși de termocentrală (una cu 60 % și alta cu 85 % fază vitroasă), activate cu același conținut de  $\text{Ca(OH)}_2$ , pentru care se determină rezistențele mecanice la diferite vârste (fig.1.7).

Se constată că pentru un conținut de substanță activantă constant (15 %), rezistențele mecanice ale mortarelor cenușă-var-apă variază în mod diferit funcție de conținutul de fază vitroasă, fiind cu 30 % mai mari, la 28 zile, pentru mortarul cu cenușă cu 85 % fază vitroasă.

### c) Caracteristici fizice

Principalele caracteristici fizice care influențează reacția de hidratare sînt granulozitatea, suprafața specifică și densitatea. Cercetările efectuate în acest scop [121], [138], [172], [182], au scos în evidență faptul că dacă granulozitatea este fină, densitatea și suprafața specifică mari, liantul puzzolanic are

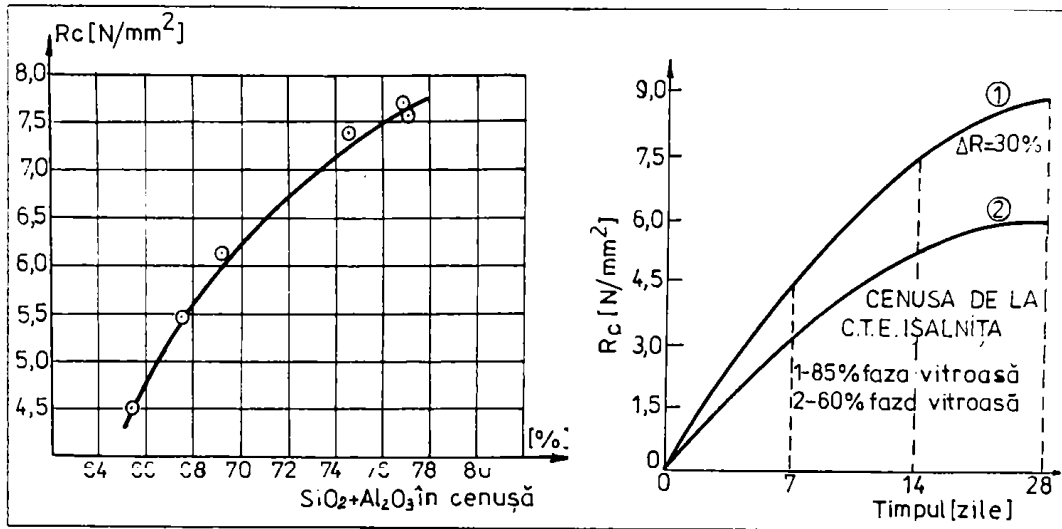


Fig.1.6. Influența sumei % SiO<sub>2</sub> + % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> asupra activității hidraulice a cenușilor de termocentrală.

Fig.1.7. Influența compoziției mineralogice asupra activității hidraulice a unei cenuși.

toate șansele să desfășoare reacții de hidratare puternice. Influența granulozității (prin dimensiunea medie a particulelor) și a suprafeței specifice a cenușilor de termocentrală asupra creșterii rezistențelor mecanice este prezentată în fig.1.8 și 1.9.

De regulă, este de dorit ca părțile fine din liantul puzzolanic să fie de minimum 15 %, astfel încât în amestecul total să existe suficiente particule active pentru declanșarea reacțiilor puzzolanice. O dată cu creșterea părților fine din liantul puzzolanic se ajunge și la o creștere a suprafeței specifice, care conduce implicit la creșterea suprafeței potențial activă pentru susținerea reacțiilor de hidratare. Astfel, pentru unii lianți puzzolanici naturali creșterea suprafeței specifice este direct proporțională cu mărirea suprafeței de pe care pot fi demobilizați tetraedrii de Si<sup>4+</sup>(O<sup>2-</sup>) sau Al<sup>3+</sup>(O<sup>2-</sup>)<sub>4</sub>, (vezi pct.2.6.3), cu efecte pozitive asupra formării compușilor hidratați (silicatul de calciu hidratat și aluminatul de calciu hidratat hexagonal).

Având în vedere constatările sus-menționate, se poate proceda la mărunțirea prealabilă a unor lianți puzzolanici în scopul sporirii activității lor hidraulice (ex. zgura granulată, lianții puzzolanici naturali) [91], [96], [110], [178].

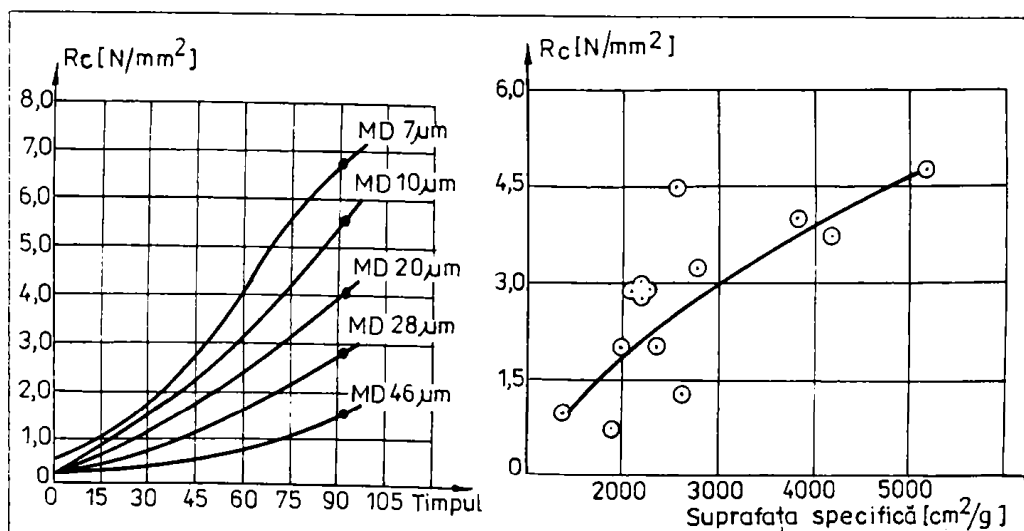


Fig.1.8. Variația activității hidraulice a cenușilor funcție de dimensiunea medie a granulelor.

Fig. 1.9. Influența suprafeței specifice asupra activității hidraulice.

Energia consumată pentru aceasta este variabilă de la liant la liant și depinde de finețea care se dorește a se obține. Astfel măcinarea unei zguri granulate 20-40, cu ajutorul unui concasor cu bile, la uscat sau în mediul umed conduce la rezultatele din fig.1.10. Se observă că pentru obținerea fineții obișnuite a zgurii (aproximativ 10 % părți fine), umiditatea nu are o mare importanță asupra timpului de măcinare, în timp ce pentru obținerea unei mărunțiri accentuate (peste 40 % părți fine) între zgura uscată și zgura umedă se realizează diferențe de timp de peste 30%.

Creșterea conținutului de părți fine are ca efect îmbunătățirea caracterului puzzolanice al liantului, în acest caz al zgurii, care pentru dozaaje identice de liant (20 sau 25 % zgură activată cu 1 % var), permite obținerea unor rezistențe mecanice mult diferențiate la aceeași vîrstă (fig.1.11). De altfel zgura granulată este analizată din punct de vedere al activității puzzolanice, prin coeficientul de activitate  $\phi$ , care ia în considerare granulozitatea ei:

$$\phi = S \times p \times 10^{-3} \quad [-] \quad (1.7)$$

în care: S este suprafața specifică Blaine a părților fine din zgură (sub 0,08 mm), în cm<sup>2</sup>/g;

p - procentul de părți fine după măcinarea în mori cu bile, în % .

Se consideră că activitatea puzzolanică este cu atât mai mare cu cît coeficientul de activitate este mai mare (pentru diferite clase de reactivitate de cel puțin 20). În aceste condiții, cînd influența unei singure caracteristici a liantului puzzolanice are repercusiuni substanțiale asupra calității liantului și, bineînțeles, asupra calității materialului rezultat prin stabilizare, stabilirea dozajelor de lucru nu se poate efectua decît prin studii și încercări specifice în laborator, efectuate pe amestecuri preparate cu aceleași materiale care urmează să fie folosite practic.

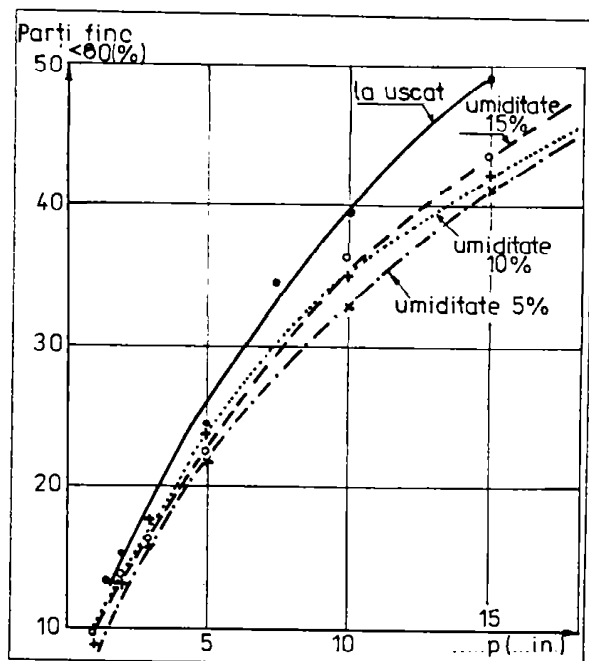


Fig.1.10. Măcinarea unei zguri granulate 20-40 cu mori cu bile.

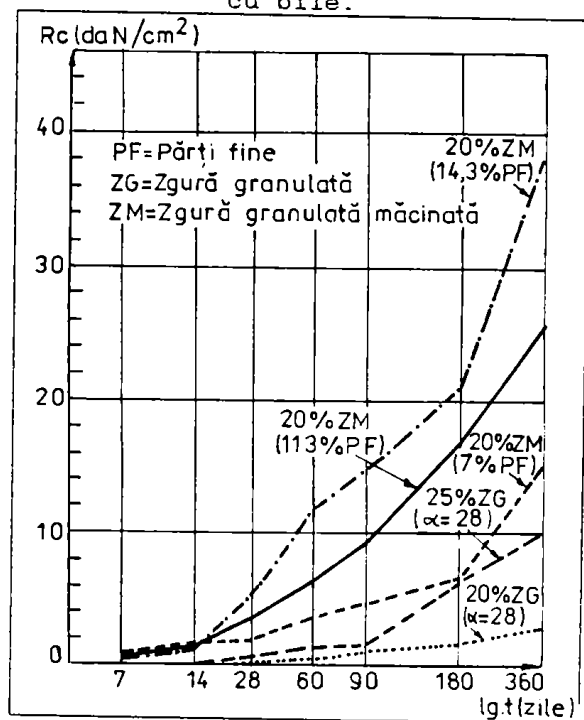


Fig.1.11. Influența finetei de măcinare asupra activității puzzolanice, în cazul unui nisip stabilizat cu zgură.

### 1.3.3.2. Stabilirea dozajelor optime în laborator

Stabilirea calității materialelor utilizate în amestecuri și a dozajelor optime se efectuează în laboratoare autorizate pentru efectuarea unor astfel de lucrări, pe baza unor încercări bine stabilite. Etapele concrete de lucru în laborator, în conformitate cu STAS 10473/2-86, urmărite de autor pentru definitivarea dozajelor optime în cazul materialelor stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici sînt următoarele:

- determinarea granulozității agregatelor naturale și lianților puzzolanici, inclusiv a granulozității amestecurilor ce se preconizează a se prepara în laborator.

În cazul în care curba de granulozitate a amestecului nu se înscrie în zona de granulozitate prescrisă se vor determina posibilitățile de corectare a granulozității;

- analizarea amestecurilor considerate (dozațe diferite de liant) din punct de vedere al umidității și determinarea pe fiecare din acestea a caracteristicilor de compactare Proctor modificat ( $\rho_{\text{max}}$  și  $w_{\text{opt}}$ );
- stabilirea dimensiunilor epruvetelor funcție de dimensiunea maximă a granulei;

- prepararea epruvetelor prin

presare cu presa hidraulica pentru fiecare amestec preparat, la umiditatea optima de compactare. Cantitatea de material introdusă într-o epruvetă se calculează astfel încît densitatea obținută să fie de minimum  $0,95 \rho_{dmax}$ :

$$m_{am} = 0,95 \rho_{dmax} \left( 1 + \frac{w_{opt}}{100} \right) V \quad [g] \quad (1.8)$$

în care:

$m_{am}$  este masa amestecului pentru o epruvetă, în g;  
 $\rho_{dmax}$  și  $w_{opt}$  - caracteristicile de compactare, în g/cm<sup>3</sup>,  
 respectiv în %;

Presiunea de încărcare se stabilește prin cîteva încercări preliminare, astfel încît cu masa  $m_{am}$  să se obțină înălțimea  $h$  dorită pentru epruvetă. De regulă s-au obținut presiuni de 350...400 daN/cm<sup>2</sup>;

- fiecare epruvetă după decofrare s-a măsurat și cîntărit pentru calcularea gradului de compactare. Epruvetele cu un grad de compactare mai mic de 95 % nu sînt păstrate pentru efectuarea încercărilor;

- după preparare, epruvetele se învelesc în folii de polietilenă legate la ambele capete în vederea împiedicării evaporării apei pînă la încercare;

- la vîrste bine stabilite, epruvetele din fiecare amestec sînt supuse încercărilor de laborator pentru stabilirea dozajului optim. Se consideră ca dozaj optim cantitatea minimă de liant care conduce la obținerea unor caracteristici fizico-mecanice, pe epruvete preparate în laborator, cel puțin egale cu cele prescrise (STAS 10473/1-87 și [176]).

Încercările de laborator efectuate pentru stabilirea dozajului optim de liant sînt următoarele:

- determinarea rezistențelor mecanice presupune încercarea epruvetelor cilindrice la compresiune pe direcția generatoarei sau perpendicular pe această direcție și determinarea forței de rupere. Rezistența la compresiune ( $R_c$ ) sau rezistența la întindere ( $R_t$ ) se determină cu relațiile:

$$R_c = \frac{F}{S} \quad [N/mm^2] \quad (1.9)$$

$$R_t = \frac{2F}{\pi dh} \quad [N/mm^2] \quad (1.10)$$

în care:

$F$  este forța de rupere obținută prin încercarea epruvetei pe direcția generatoarei, respectiv perpendicular pe această direcție, în N;  
 $S$  - suprafața de încărcare circulară a epruvetei, în mm<sup>2</sup>;  
 $d$  și  $h$  - diametrul și înălțimea epruvetei, în mm;

- stabilitatea la apă se stabilește prin determinarea scăderii rezistenței la compresiune ( $\Delta R_c$ ), a umflării volumice ( $U$ ) și a absorbției de apă ( $A$ ) pe epruvete imersate timp de 7 zile, după păstrarea în atmosfera umedă 7 zile pentru stabilizările cu ciment și 21 zile pentru stabilizările cu lianți puzzolanici. Se utilizează următoarele relații de calcul:

$$\Delta R_c = \frac{R_{c14(28)} - R_{c7(21)+7im}}{R_{c14(28)}} \times 100 \quad [\%] \quad (1.11)$$

$$U = \frac{V_{7(21)+7im} - V_{7(21)}}{V_{7(21)}} \times 100 \quad [\%] \quad (1.12)$$

$$A = \frac{m_{7(21)+7im} - m_{7(21)}}{m_{7(21)}} \times 100 \quad [\%] \quad (1.13)$$

în care:

$R_{c14(28)}$  este rezistența la compresiune a epruvetelor păstrate în atmosferă umedă la vârsta de 14(28) zile, în  $N/mm^2$ ;

$R_{c7(21)} + 7im$  - rezistența la compresiune a epruvetelor după păstrarea în atmosferă umedă 7 (21) zile și imersate în apă 7 zile, în  $N/mm^2$ ;

$V_{7(21)+7im}$  și  $m_{7(21)+7im}$  - volumul, respectiv masa epruvetelor după păstrarea 7 (21) zile în atmosferă umedă și 7 zile imersate în apă, în  $cm^3$ , respectiv, în g;

- determinarea pierderii de masă se stabilește în urma ciclurilor de saturare-uscarea ( $P_{su}$ ) și îngheț-dezghet ( $P_{id}$ ), cu următoarele relații:

$$P_{su} = \frac{m_7 - m_{14osu}}{m_7} \times 100 \quad [\%] \quad (1.14)$$

$$P_{id} = \frac{m_{13+1im} - m_{14oid}}{m_{13} + 1im} \times 100 \quad [\%] \quad (1.15)$$

în care:

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

$m_{14osu}$  - masa epruvetelor după 14 cicluri de saturare-uscarea, în g;

$m_{13+1im}$  - masa epruvetelor la vârsta de 13 zile și după o zi imersare în apă, în g;

$m_{14oid}$  - masa epruvetelor după 14 cicluri de îngheț-dezghet, în g;

Un ciclu de saturare-uscarea presupune:

. menținerea timp de 18 ore a epruvetelor în etuvă, la temperatura de 69...73 °C, după care se lasă să se răcească la temperatura camerei o jumătate de oră;

. imersarea în apă timp de 5 ore, la temperatura de 23...27 °C, după care se lasă să se scurgă apa în exces o jumătate de oră, iar un ciclu de îngheț-dezghet se realizează prin:

. menținerea timp de 16 ore a epruvetelor la temperatura de -4...-6 °C, în frigider;

. imersarea în apă timp de 8 ore a epruvetelor la temperatura de 23...27 °C.

După stabilirea dozajului de liant în laboratoare specializate, acesta este transmis șantierelor care au obligativitatea să-i respecte și să-l verifice periodic.

#### 1.3.4. Prepararea amestecurilor realizate din materiale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici

Procesul de preparare a amestecurilor realizate din materialele tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici poate fi realizat prin următoarele tehnologii:

- amestecare la fața locului;
- preparare în instalații fixe;
- stabilizarea materialelor din unele straturi rutiere, in situ, cu utilaje complexe.

##### 1.3.4.1. Prepararea amestecului la fața locului

Metoda amestecării materialelor in situ este utilizată în special în cazul terasamentelor și a stratului de formă, având avantajul reducerii cheltuielilor de transport.

În cazul straturilor rutiere propriu-zise, acest procedeu este mai rar utilizat deoarece el conduce la obținerea unei slabe omogenizări. Se acceptă utilizarea lui pentru straturi rutiere nedimensionate la oboseală sau pentru structuri rutiere pentru trafic redus.

Omogenizarea la fața locului a materialelor presupune că toate operațiile din procesul tehnologic sînt executate de unul sau mai multe utilaje prin treceri succesive.

Tehnologia amestecării la fața locului a fost aplicată de autor pe DJ 792, Sebiș-Berindia, jud. Arad, în cadrul experimentărilor pe care le-a efectuat pentru evidențierea proprietăților puzzolanice ale curgerilor de lave andezitice.

Agregatele naturale s-au transportat cu autobasculanta și s-au așezat în grămezi, astfel încît după repartizarea lor să se obțină pe fiecare unitate de suprafață o cantitate de agregate naturale ( $M_{ag}$ ) calculată cu relația:

$$M_{ag} = \rho_{dmax} \times h \times \frac{P_{ag}}{100} \times \left(1 + \frac{w_{ag}}{100}\right) \quad [kg/m^2] \quad (1.16)$$

în care:

- $\rho_{dmax}$  este densitatea în stare uscată maximă, în  $kg/m^3$ ;
- $h$  - grosimea preconizată a stratului, după compactare, în m;
- $P_{ag}$  - proporția de agregate naturale în amestecul uscat, în %;
- $w_{ag}$  - umiditatea naturală a agregatelor naturale, în %.

Liantul hydraulic sau puzzolanic transportat cu autobasculanta se așază în grămezi pe suprafața stratului de agregate naturale, astfel încît prin răspîndirea acestuia să se asigure cantitatea

necesară pe unitatea de suprafață (Mp), calculată cu relația:

$$M_p = \rho_{dmax} \times h \times \frac{P_p}{100} \times \left(1 + \frac{w_p}{100}\right) \quad [kg/m^2] \quad (1.17)$$

în care:

$P_p$  este proporția de liant hidraulic sau puzzolanic în amestec, în %;

$w_p$  - umiditatea liantului puzzolanic, în % .

În cazul utilizării lianților puzzolanici, activatorul este de asemenea transportat cu autobasculanta și depozitat în grămezi, astfel încît să se obțină o cantitate ( $M_{act}$ ) pe unitatea de suprafață, determinată cu relația:

$$M_{act} = \rho_{dmax} \times h \times \frac{P_{act}}{100} \quad [kg/m^2] \quad (1.18)$$

în care:

$P_{act}$  este procentul de activator în materialul stabilizat, în % .

Pentru obținerea unei omogenități mai bune, împrăștierea liantului și eventual a activatorului se poate efectua cu ajutorul unor utilaje special concepute pentru aceasta sau prin adaptarea unor răspînditoare de fondanți, de îngrășăminte etc. Amestecarea agregatelor naturale cu liantul și eventual activatorul se realizează cu utilaje cu lamă (autogredere), prin adunarea în cordon continuu a materialelor așternute și reașternerea lor, operație care se repetă pînă la omogenizarea completă.

Cantitatea de apă de adaos se stabilește funcție de  $w_{opt}$  și de umiditatea materialelor din amestec, luînd în seamă și pierderile prin evaporare de circa 1 % . Apa se stropește cu autostropitorul de apă, în reprize, continuîndu-se amestecarea pînă la omogenizare.

#### 1.3.4.2. Prepararea amestecului în instalații fixe

Pentru cantități mici de materiale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, omogenizarea se poate efectua în instalații cu flux discontinuu (betoniere, instalații pentru prepararea nisipului stabilizat etc.), în timp ce pentru cantități mari de materiale se utilizează instalații în flux continuu, de mare productivitate [36], [57].

La noi în țară, prepararea amestecurilor din materiale stabilizate cu lianți hidraulici (puzzolanici) se face, fie în instalații pentru stabilizarea nisipului (I.N.S.), fie în baterii formate din două sau mai multe betoniere cu dozare volumetrică a componentelor. În cazul utilizării I.N.S.-urilor, primele trei componente ale predozatorului sînt destinate agregatelor naturale, iar ultimul, dotat cu dispozitiv de vibrare, este destinat liantului puzzolanic. Activatorul lianților puzzolanici sau cimentul cînd nu se folosesc lianți puzzolanici se dozează cu un dispozitiv special



conceput în cadrul instalației.

Apa se dozează astfel încât să se obțină umiditatea optimă de compactare. eventual se admite un exces de 2...3 % pentru compensarea pierderilor în timpul transportului și prin evaporare.

În fig.1.12 este prezentată schema de principiu a unei instalații în flux continuu de mare productivitate.

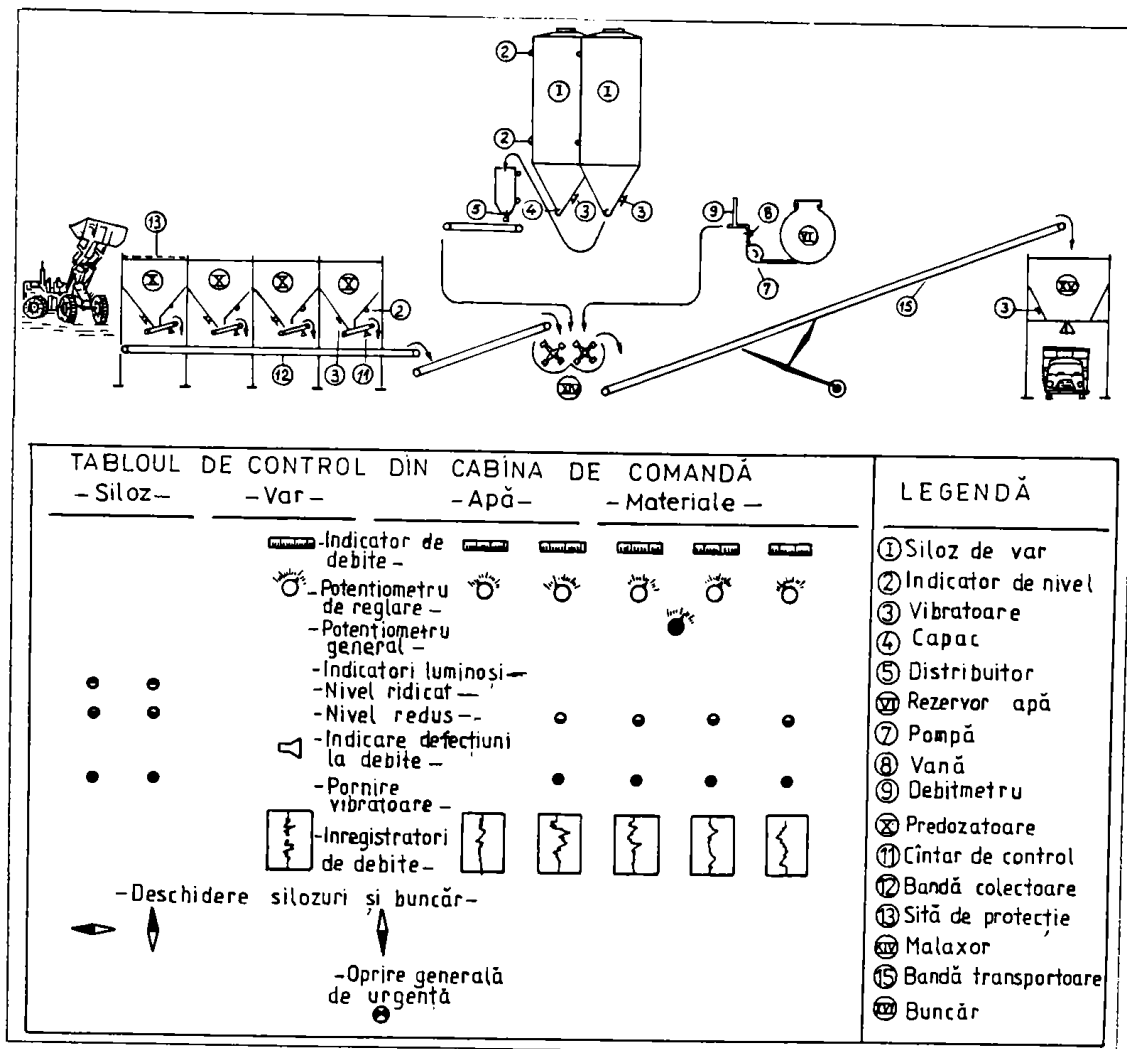


Fig.1.12. Instalație în flux continuu pentru stabilizarea materialelor cu lianți hidraulici sau puzzolanici

Există în prezent [57], trei categorii de instalații fixe în flux continuu, după gradul de perfecționare tehnică atins pentru dozare constituenților:

- instalații cu sisteme de dozare prin dispozitive simple permit măsurarea debitelor. Aceste debite nu sînt înregistrate, dozarea fiind volumetrică cu verificări prin cîntărire;

- sisteme de dozare care permit controlul ponderat permanent al debitului fiecărui constituent, prin înregistrare (fig.1.12). Înregistrare

debitului de apă nu este necesară, în schimb problema de maximă importanță este reglarea cantității de apă de adaos funcție de umiditatea efectivă materialelor care intră în amestec;

- sisteme comportând în plus reglarea automată a dozajului în funcție de controlul efectuat asupra debitelor. Există instalații [71], la care întreg fluxul tehnologic este urmărit, verificat și corectat în caz de necesitate cu ajutorul unui calculator. Calculatorul permite stocarea în memorie a mai multor dozaaje de lucru (circa 40), fapt care permite trecerea cu ușurință de la un dozaj la altul pe parcursul aceleiași zile de lucru. Este cazul instalațiilor de mare productivitate care lucrează cu mai multe șantiere în același timp, fiecare dintre acestea utilizând un alt dozaj.

Malaxoarele cele mai frecvente sînt cele orizontale cu dublu ax cu palete. Cantitatea amestecului depinde de timpul de malaxare, de numărul, poziția și starea paletelor, precum și de viteza de rotație. Capacitatea instalației dă, de regulă, și productivitatea instalației, fapt pentru care se apreciază că este oportună intercalarea în fluxul tehnologic a unui siloz tampon de mare capacitate, care să suplinească eventualele opriri ale fluxului tehnologic datorate unor defecțiuni apărute înainte de nivelul malaxorului.

#### 1.3.4.3. Stabilizarea in situ a materialelor din unele straturi rutiere aflate în exploatare

Tehnologia de stabilizare pe loc a materialelor din straturile rutiere aflate în exploatare se bazează pe frezarea materialelor pe o grosime de 30...35 cm, omogenizarea acestora, eventual cu adaos de agregate naturale noi și stabilizarea amestecului rezultat cu ciment prin intermediul unui utilaj complex. Reașternerea materialului tratat și excelent omogenizat, se face o dată cu trecerea utilajului (tehnologie introdusă în Franța în anul 1985) [104], [155].

Compactarea se va realiza cu utilaje adaptate pentru obținerea unui grad de compactare corespunzător pentru straturi de 30...35 cm grosime. De regulă, se utilizează ateliere de compactare formate din compactoare vibratoare grele (20...25 treceri), urmate de compactoare cu pneuri (10...15 treceri).

Studiile tehnico-economice efectuate comparativ între noua tehnologie și refacerea totală a structurii rutiere scot în evidență economii ale costului de 20...40 % în favoarea primei soluții.

Aplicarea tehnologiei de stabilizare la fața locului a materialelor din straturile rutiere, a scos în evidență următoarele avantaje:

- de ordin tehnic:
  - . se permite corectarea elementelor geometrice ale drumului în profil transversal și profil longitudinal;
  - . se poate spori capacitatea portantă a unei structuri rutiere subdimensionată și corectarea granulozității materialelor din unele straturi rutiere;
  - . utilizarea cimentului, zgurii granulate sau a cenușii de termocentrală ca lianți, permite stabilizarea unor materiale poluante care nu se pretează la stabilizarea cu lianți hidrocarbonați;
  - . efectuarea lucrărilor sub circulație;
  - . posibilitatea stabilizării pe toată lățimea părții carosabile sau numai a marginilor acesteia, (circa 2 m lățime), care

sînt zonele cele mai solicitate de trafic;

- de ordin economic:

. tehnologia conduce la costuri mai mici decît tehnologiile clasice;

. permite realizarea de economii de agregate naturale noi.

Toate aceste avantaje trebuie coroborate cu o corectă dimensionare a structurii rutiere, deoarece, în caz contrar, ele nu mai sînt evidente.

Legat de această tehnologie trebuie remarcat faptul că în anul 1992 a fost introdus în tehnica rutieră din țara noastră utilajul Wirtgen, care asigură frezarea straturilor rutiere existente pe o grosime de max. 30 cm și o lățime de 3,00 m.

Autorul a participat la executarea lucrărilor de ranforsare a complexului rutier, pe DN7, Deva - Arad, km 473+100...473+900, la proiectarea cărora a colaborat. În cadrul acestor lucrări, utilajul Wirtgen a asigurat frezarea straturilor rutiere existente (din mixturi asfaltice și agregate naturale netratate cu lianți) pe o grosime de 15...18 cm. După frezare, materialul este preluat de utilaj, mărunțit și tratat cu ciment, după care este reaşternut în cordon în spatele acestuia. Repartizarea materialului tratat s-a efectuat cu utilaje cu lamă (autogreder), compactarea fiind asigurată prin compactoare cu rulouri netede și vibratoare, realizîndu-se în final un strat cu o grosime de 15 cm. După menținerea timp de 10 zile în stare umedă și interzis circulației, stratul astfel obținut a fost acoperit cu celelalte straturi din mixturi asfaltice, care totalizează 21 cm.

De asemenea, utilajul Wirtgen poate să frezeze materialul din unele straturi rutiere, să-l recupereze și să-l încarce în autobasculante, care să-l transporte pe alte șantiere sau în locuri de depozitare. În locul materialului frezat se execută noi straturi rutiere, dimensionate corespunzător, cu materiale noi în totalitate.

#### 1.3.5. Compactarea straturilor rutiere din agregate maturate tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici

Unul dintre factorii esențiali care contribuie hotărîtor la realizarea condițiilor de calitate și implicit la mărirea duratei de exploatare a produsului finit este compactarea.

În cazul compactării straturilor din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se consideră [2], [3], în general, că influența utilajelor de compactare și a modului lor de utilizare, asupra calității este determinantă. Pe baza acestui considerent se impune alegerea și dimensionarea corespunzătoare a atelierului de compactare funcție de cît mai mulți din factorii care influențează operația de compactare (frecvența vibratorului, natura materialului și grosimea stratului, rigiditatea suportului, viteza de trecere, presiunea din pneu, masa compactorului etc.). Este deci necesar să fie cunoscută și stăpînită practic influența fiecărui factor asupra modului de lucru al compactorului ales.

Se reține totuși ideea [2] că pe lîngă toate informațiile de care se dispune la un moment dat privind comportarea la compactare a unui anumit material față de un anumit utilaj, este indicat ca la începutul șantierului să se procedeze la experimentări la fața

locului. Cu acest prilej se va determina randamentul atelierului de compactare de care se dispune și se vor stabili numărul de treceri necesare pentru obținerea calității dorite.

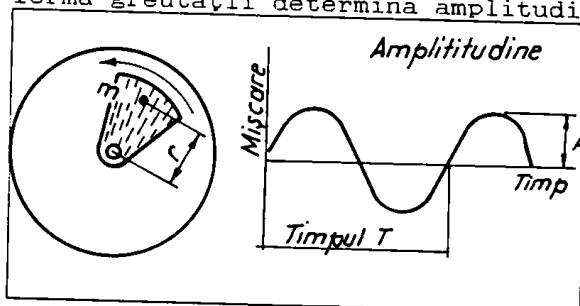
Pentru obținerea unei compactări corespunzătoare a straturilor din materiale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, care sînt caracterizate prin grosimi mari (minimum 15 cm) și, de regulă, printr-o lucrabilitate redusă, se recomandă [2], [3], [42], [95] utilizarea unor ateliere de compactare, formate din:

- compactoare vibratoare;
- compactoare cu pneuri;
- compactoare vibratoare + compactoare cu pneuri.

#### 1.3.5.1. Compactarea straturilor din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici cu compactoare vibratoare

Caracteristica cea mai importantă a compactoarelor vibratoare este eficacitatea lor în adîncime, fapt care le recomandă pentru compactarea straturilor rutiere din materiale dificile, puse în operă în grosimi mari.

Compactoarele vibratoare au un șasiu izolat de rulou (rulouri) prin intermediul unor elemente de cauciuc. Masa unui rulou se compune din masa șasiului și a ruloului (rulourilor). Vibrațiile sînt produse prin intermediul unui arbore cu greutate rotativă, al cărui regim determină în mod direct frecvența (fig.1.13), în timp ce masa și forma greutății determină amplitudinea cilindrului.



În general, analizarea eficienței unui compactor vibrator în raport cu un anumit material se face prin luarea în considerare a fișei tehnice a utilajului, care trebuie să cuprindă:

- parametrii de construcție:
  - . masa totală a compactorului (M), în kg;
  - . lățimea compactată (L), în cm;
  - . diametrul cilindrului ( $\phi$ ), în cm;
  - . puterea motorului (P), în CP;

Fig.1.13. Vibrațiile generate de o greutate excentrică rotativă.

- parametrii repartizării maselor:
  - . masa cilindrului (cilindrilor) vibrant ( $M_0$ ), în kg;
  - . masa totală pe generatoarea vibrantă ( $M_1$ ), în kg;
  - . masa pe unitatea de lungime a generatoarei vibrante ( $M_1/L'$ ), în kg/cm (la compactoarele tandem  $L' = 2L$ );
  - . raportul dintre masa suspendată și masa cilindrului vibrant ( $M_1 - M_0$ )/ $M_0$ ;

- parametrii de vibrare (fig.1.13):
  - . frecvența ( $1/T = f$ ), în Hz;
  - . momentul excentricității (m.e), în kgm;
  - . forța centrifugă ( $F_c = m.e.4.N^2.f^2$ ), în N;
  - . amplitudinea ( $A_0 = m.e/M_0$ ), în mm.

În aceste condiții, din punct de vedere practic, prezintă

interes stabilirea influenței pe care o au aceste caracteristici asupra eficienței compactării. Desigur, este dificil de studiat independent diferitele caracteristici pentru a le stabili cu exactitate influența asupra compactității, dar unele corelații sînt posibile și urmează să fie prezentate în continuare.

#### a) Influența frecvenței arborelui vibrator

În condiții de rigiditate ale suportului, grosime și compactitate ale stratului, moment de excentricitate, mase ale compactorului etc. egale, amplitudinea verticală ( $A$ ) a cilindrului variază o dată cu viteza de rotație a arborelui, deci cu frecvența ( $f$ ). Se reține faptul că frecvența vibratorului este cu 1...2 Hz mai mare atunci cînd acesta staționează decît atunci cînd înaintează. Frecvența care conduce la amplitudinea maximă se numește frecvență de rezonanță.

În concluzie, eficiența compactorului este mai mult sau mai puțin condiționată de parametrul " $Af^2$ ", care la rîndul său poate fi influențat astfel:

- considerarea frecvenței de rezonanță (deci luarea valorii maxime a amplitudinii);
- utilizarea unei frecvențe maxime.

Pentru straturile rutiere din agregate naturale netratate sau tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, eficiența maximă o are compactarea la amplitudine maximă (frecvență de rezonanță), în timp ce pentru straturile din materiale bituminoase interes prezintă compactarea la frecvență maximă.

Oricum frecvența de rezonanță variază în toate cazurile datorită compactității stratului. Se pare că intervalul de variație a acesteia este, de regulă, de 20...30 Hz, frecvența crescînd o dată cu rigiditatea suportului. Este deci interesant să se înceapă compactarea la frecvență mică și să se crească aceasta pe parcurs pînă la o valoare de circa 25 Hz [3], [111].

De asemenea, păstrarea frecvenței de rezonanță conduce la cea mai bună conlucrare utilaj-strat compactat, mai ales în cazul compactorilor cu raportul  $(M_1 - M_0)/M_0$  mic, la care se sesizează desprinderi ale ruloului de pe strat după realizarea unui anumit număr de treceri la frecvența maximă (fenomenul nu se mai observă la compactarea cu frecvența de rezonanță).

#### b. Influența naturii materialului compactat

Cu toate că este dificil de separat factorul "natura materialului" de factorul "grosimea stratului compactat", experimentările efectuate [2] au permis clasificarea materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici în patru clase ( $M_0...M_3$ ) funcție de comportarea lor la compactare. Pentru aceasta s-a apelat la două criterii calitative: lucrabilitatea,  $\rho_d = A \cdot \lg n + B$  ( $n$  este numărul de treceri ale compactorului, iar  $A$  și  $B$  coeficienți obținuți prin corelație statistică) asupra căreia dă informații ordonata de la începutul curbei și compactibilitatea estimată prin panta acestei drepte (fig.1.16).

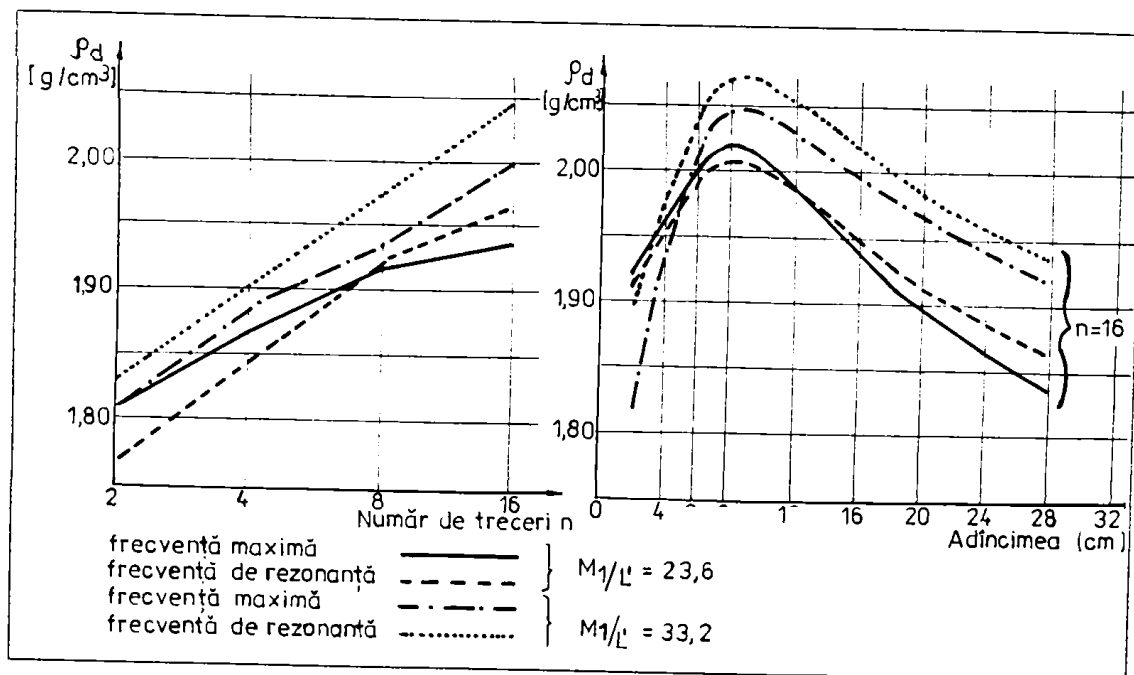


Fig.1.14. Variația densității funcție de numărul de treceri.

Fig.1.15. Variația densității cu adâncimea.

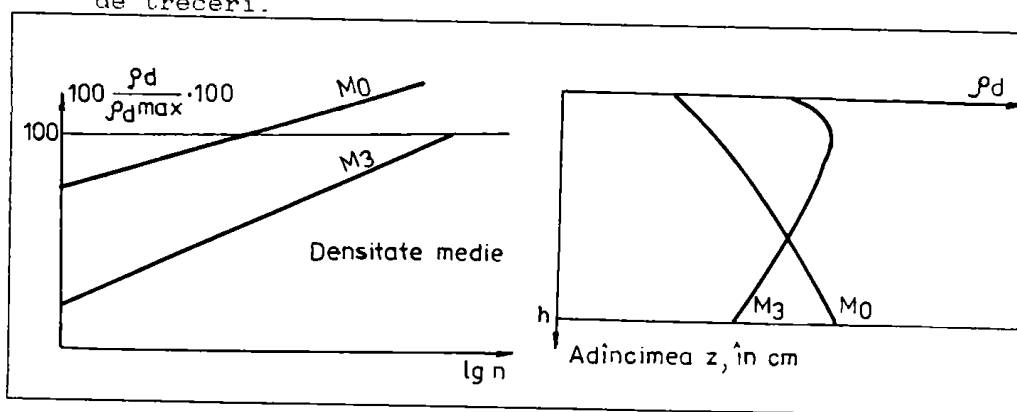


Fig.1.16. Curbele compactității medii pentru compactoare vibratoare.

Fig.1.17. Variația densității cu adâncimea pentru compactoare vibratoare.

Materialele din clasa  $M_0$  presupun puțină energie pentru atingerea unui grad de compactare ridicat (fig.1.16), dar există și pericolul obținerii unui volum ridicat de goluri din cauza granulozității. Aceste materiale pot fi foarte lucrabile și în același timp foarte puțin compactabile.

Densitatea acestor materiale crește cu adâncimea (fig.1.17), excepție făcând straturile relativ groase compactate cu utilaje ușoare.

Din contră, materialele din clasa  $M_3$  necesită o energie importantă pentru compactare, iar gradul de compactare rămâne relativ mic pentru utilaje de greutate medie (fig.1.16). Aceste materiale pot fi definite ca foarte puțin lucrabile (unghi de frecare interioară mare), dar destul de compactabile.

Totuși aceste materiale se caracterizează, în majoritatea cazurilor (grosime, natură etc.), prin scăderea densității cu adâncimea (fig.1.17). Împotriva slabei lucrabilități, pentru granulozități corespunzătoare, cu compactoare puternice, se poate obține un volum de goluri redus.

În această categorie se înscriu de regulă agregatele naturale obținute prin sfărîmarea artificială stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

Materialele din clasele M<sub>1</sub> și M<sub>2</sub> au caracteristici la compactare intermediare vizavi de clasele discutate anterior. Ele pot fi privite ca materiale foarte compactabile cu o lucrabilitate intermediară între materialele M<sub>0</sub> și M<sub>3</sub>.

În concluzie se poate reține faptul că, deși gradul de compactare depinde de grosimea stratului, el este fundamental influențat și de natura materialului compactat. Astfel, oricare ar fi compactorul, eficiența sa este cu atît mai mare cu cît materialul are o colțurozitate mai mică.

Lucrabilitatea materialelor stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici sau netratate cu lianți poate fi apreciată prin [2], [3]:

- indicele de concasare care reprezintă procentul din masa granulelor sortului 0-D sau d-D provenite prin concasarea elementelor superioare dimensiunii D a materialului de origine. În cazul unui material compus din mai multe sorturi indicele de concasare se obține ca medie ponderată a indicilor de concasare corespunzători fiecărui sort. Pentru un material obținut prin concasare din roci masive, indicele de concasare se consideră 100 %. Cu cît indicele de concasare este mai redus, cu atît lucrabilitatea este mai mare;

- determinarea colțurozității agregatelor naturale cu ajutorul unui aparat special, pe baza măsurării timpului de scurgere a unei anumite cantități de material, printr-un orificiu dat, sub efectul vibrațiilor produse de un vibrator.

Autorul a participat într-un colectiv de specialiști la proiectarea, realizarea și experimentarea unui astfel de aparat (fig.1.18), recunoscut ca noutate pe plan național (certificat de inovator nr.1071/1989, emis de MEI).

Aparatul, denumit prescurtat COSAG (aparat pentru determinarea coeficientului de scurgere a agregatelor naturale) este alcătuit din:

- masa vibrantă care generează o vibrație circulară cu o frecvență de circa 50 Hz. Planul de vibrare se confundă cu planul de simetrie vertical al aparatului, iar sensul de rotație al vibratorului are tendința de a proiecta materialul spre orificiul de curgere. Amplitudinea vibrațiilor este constantă și fixată la 0,5 mm;

- ansamblul de curgere care este fixat pe un suport este amplasat pe masa vibrantă. El se compune din:

- . un tub cu diametrul 125 mm pentru stocarea agregatelor naturale, care comunică în exterior prin cularul de curgere cu lățimea de 90 mm și o înclinare de 10 grade față de orizontală;

- . orificiul de curgere a agregatelor naturale este reglat

prin intermediul unei trape, funcție de dimensiunea maximă a granulelor ( deschiderea maximă: 60 mm). În timpul reglării trapei și pînă la începerea determinării, orificiul este închis printr-un obturator;

- cu ajutorul unui cîntar se asigură determinarea masei de agregate naturale care au curs într-un anumit timp.

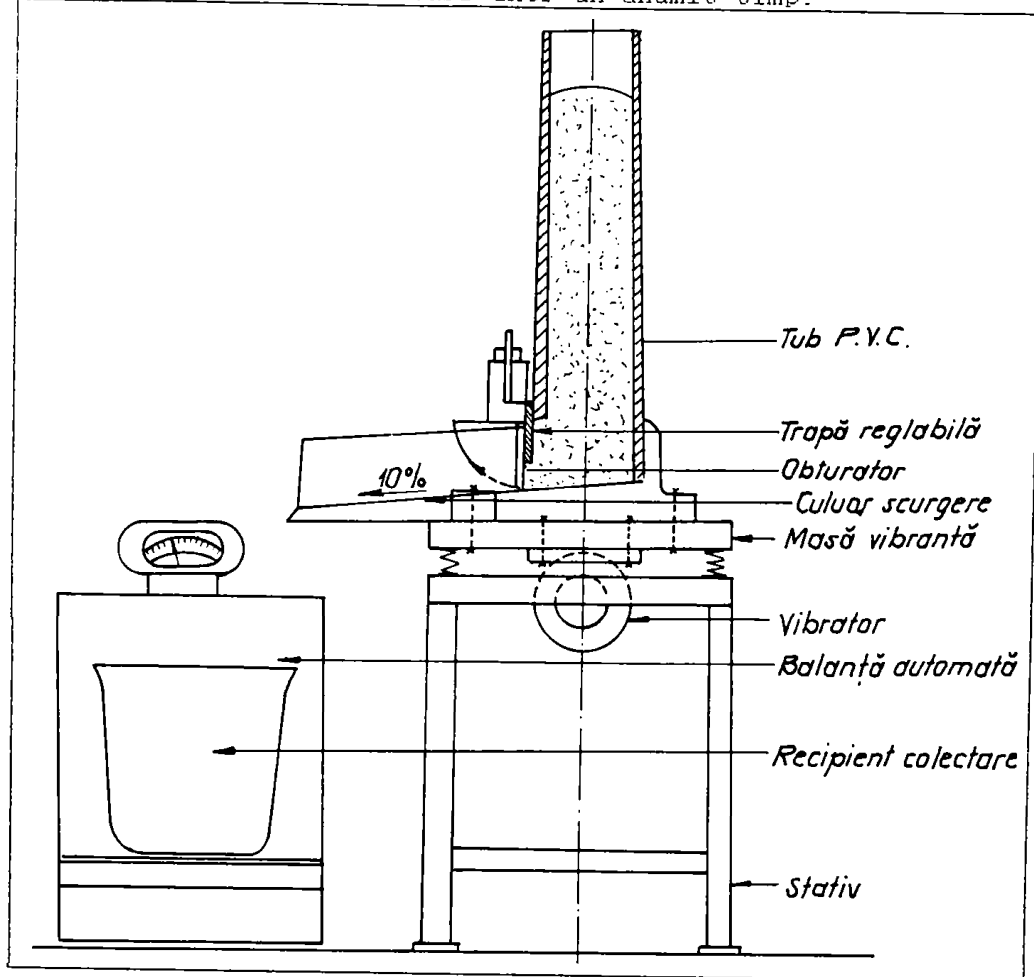


Fig.1.18. Aparat pentru determinarea coeficientului de scurgere a agregatelor naturale

Deschiderea trapei în timpul încercării, pentru orice sort de agregat  $d/D$ , este 3D, care s-a constatat că asigură curgerea uniformă a materialului.

Determinarea se efectuează pe 10 kg de agregat natural, spălat și uscat, care se introduce în tubul de stocare. După reglarea trapei la dimensiunea prevăzută, se pornește vibratorul se deschide obturatorul și se determină timpul de curgere pentru 1 kg și 8 kg (se consideră că după curgerea unui kg se obține un regim uniform). Timpul de curgere a celor 7 kg de agregate naturale în regim uniform se consideră că reprezintă coeficientul de curgere a materialului



respectiv.

Sinteza rezultatelor obținute de autor în laborator, pentru diferite agregate naturale sint menționate în tabelul 1.2.

Se constată că în condițiile unei curgeri uniforme, timpul necesar unui anumit agregat natural crește o dată cu colțurozitatea sa. Timpul de curgere necesar pentru un agregat natural obținut prin concasare este superior celui necesar pentru curgerea agregatelor naturale de balastieră. Rezultă că timpul de curgere a unui anumit material este strâns legat de unghiul de frecare interioară și, pe baza celor menționate anterior, de lucrabilitate.

Tabelul 1.2.

Material	Caracteristica :			
	b/a	c/a	coef.de granule necoresp., în %	timp de curgere, în s
Criblură 8-16	0,69	0,37	6	88
Criblură 16-25	0,68	0,37	7	91
Criblură 8-16	0,62	0,30	23	82
Criblură 16-25	0,63	0,31	20	80
Deșeu de carieră 8-16	0,57	0,28	34	71
Pietriș 7-16	-	-	-	55
Pietriș 16-31	-	-	-	59

În aceste condiții, se poate aprecia că lucrabilitatea unui anumit material compozit este cu atât mai mare cu cât timpul de curgere a materialului respectiv, determinat cu aparatul COSAG, este mai mic.

### c) Influența grosimii stratului

Eficiența unui anumit compactor vibrator este strict legată de grosimea stratului rutier pe care îl compactează. Astfel, pentru două straturi (unul de 20 cm și celălalt de 30 cm grosime) experimentările efectuate au condus la următoarele observații (fig.1.19 și 1.20):

- pentru un strat de 20 cm grosime eficiența maximă în special la suprafața, este dată de un compactor tandem duplex, față de compactoarele vibratoare simple;

- pentru un strat de 30 cm grosime, realizat dintr-un material cu lucrabilitate redusă, compactorul tandem duplex are randamentul cel mai scăzut, eficiența maximă fiind obținută de un compactor vibrator tandem greu ( $M_1/L' = 41,5$ );

- se constată că pentru compactarea straturilor groase din materiale cu lucrabilitate redusă, eficiența operației crește o dată cu greutatea utilajului vibrator;

- pentru un număr de treceri dat, gradul de compactare obținut este mai mare în cazul utilizării compactoarelor vibratoare tandem, față de cele simple de greutateți aproximativ egale. Această diferență scade cu cât numărul de treceri crește.

Observațiile menționate arată că este posibilă compactarea unui strat din materiale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolatici, cu grosimea de 30 cm, fără a se face abateri de la calitate, cu compactoare vibratoare grele, cu frecvență redusă și amplitudinea ridicată.

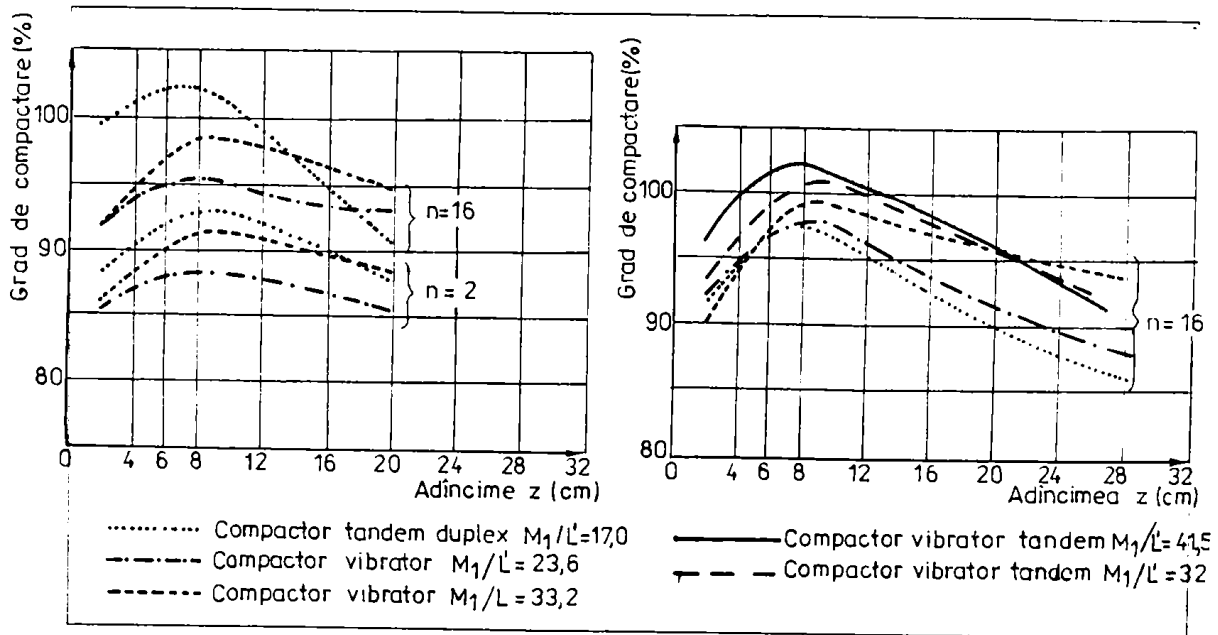


Fig.1.19. Comportarea la compactare a unui strat de 20 cm grosime.

Fig.1.20. Comportarea la compactare a unui strat de 30 cm grosime.

d) Influența rigidității stratului suport

În condiții de compactare identice (material, compactor, grosime strat etc.), gradul de compactare obținut pentru același număr de treceri este cu atât mai mare cu cât rigiditatea stratului suport este mai mare, dar acest fenomen nu este independent de grosimea stratului. Astfel, pentru grosimi de maximum 20 cm, fenomenul este mai pronunțat, în timp ce pentru grosimi mari (ex. 30 cm) diferențele de compactare sînt puțin sesizabile.

e) Influența vitezei de trecere a compactorului

Întotdeauna, pentru un număr de treceri dat, creșterea densității medii obținute este funcție de descreșterea vitezei compactorului vibrator. Ținînd cont de influența vitezei de înaintare asupra valorii capacității compactorului este interesant să se traseze capacitatea de compactare a utilajului Q, funcție de densitatea în stare uscată medie a materialului compactat, pentru diferite viteze (fig.1.21) [111].

Se constată că la începutul compactării (pentru o densitate mică) capacitatea crește o dată cu viteza de înaintare. Din contră, în condițiile în care se dorește obținerea unui grad de compactare de peste 95 % Proctor modificat se va ține seama că productivitatea compactorului crește cu scăderea vitezei.

Se poate trage concluzia că pentru primele treceri se poate adopta o viteză mai ridicată, dar dacă se vizează obținerea unui grad de compactare ridicat (peste 95 %) este obligatoriu ca terminarea compactării să se facă cu viteză redusă. De asemenea, densitățile cele mai mari la baza stratului se obțin pentru viteze de înaintare ale compactorului vibrator mici.

Capacitatea ( $Q$ ) unui compactor vibrator reprezintă cantitatea de material compactat pînă la obținerea unei densități în stare uscată dată ( $\rho_d$ ) într-o oră de lucru. Pentru straturile rutiere, capacitatea de compactare ( $Q$ ) se exprimă astfel:

$$Q = \eta \frac{L \cdot V \cdot e \cdot \rho_d}{n} \quad [\text{t/h}] \quad (1.19)$$

în care:

- $\eta$  este randamentul compactorului ( $\eta < 1$  și ține seama de opriri, de schimbarea sensului de mers, de lățimea compactată față de lățimea ruloului etc.);
- $L$  - lățimea compactată, în m;
- $V$  - viteza de înaintare, în km/h;
- $e$  - grosimea stratului cu densitatea medie  $\rho_d$  (produsul  $e \cdot \rho_d$  este o constantă în timpul compactării), în m;
- $n$  - numărul de treceri;
- $\rho_d$  - densitatea în stare uscată urmărită să se obțină, în  $\text{kg/m}^3$ .

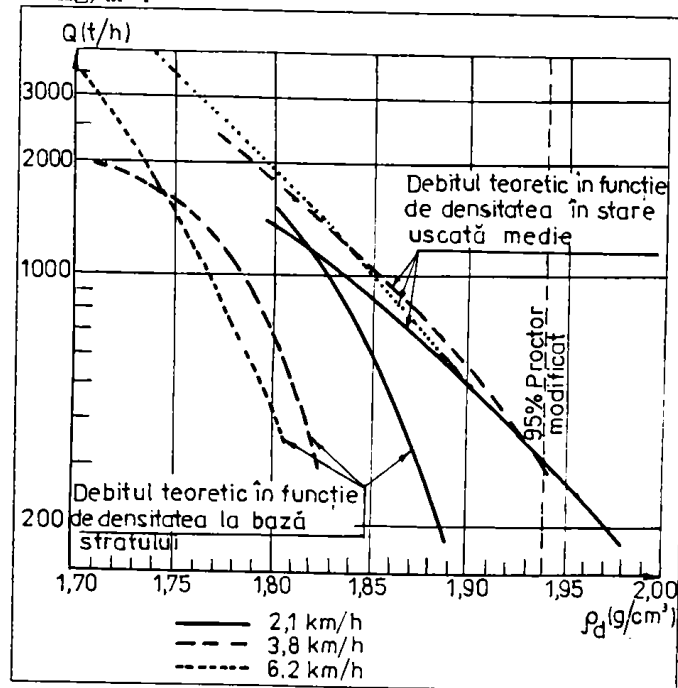


Fig.1.21. Variația randamentului compactorului funcție de densitatea în stare uscată.

La stabilirea practică a capacității compactoarelor vibratoare trebuie avut în vedere și faptul că aceasta este direct influențată de viteza de înaintare, frecvență, amplitudine, momentul excentric etc.

#### 1.3.5.2. Compactarea straturilor din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolani cu compactoare cu pneuri

Eficiența compactoarelor cu pneuri este influențată, de regulă, de: viteza de înaintare, sarcina pe roată, presiunea de umflare și natura materialului compactat.

a) Influență vitezei de înaintare

Pentru un anumit compactor (sarcina pe roată 50 kN și presiunea de umflare a pneului 8 daN/cm<sup>2</sup>), care compactează un strat gros (30 cm) din agregate naturale tratate cu ciment cu lucrabilitate redusă (clasa materialului M2), s-au sistematizat următoarele observații [95]:

- densitatea în stare uscată medie pentru un număr dat de treceri depinde puțin de viteza de înaintare (2; 4 sau 8 km/h).

Pentru o viteză de 13 km/h apar unele diferențe, considerate ne semnificative;

- densitatea în stare uscată la baza stratului compactat este mai mult influențată de viteza compactorului, mai ales pentru un număr de treceri redus, caz în care îndesarea cea mai mare se obține cu viteza cea mai mică (2 km/h). Practic după 32 treceri, densitatea obținută pentru viteze de 2; 4 și 8 km/h sunt egale, în timp ce pentru viteze de 13 km/h se semnalează mici diferențe chiar după un număr mare de treceri (fig.1.22).

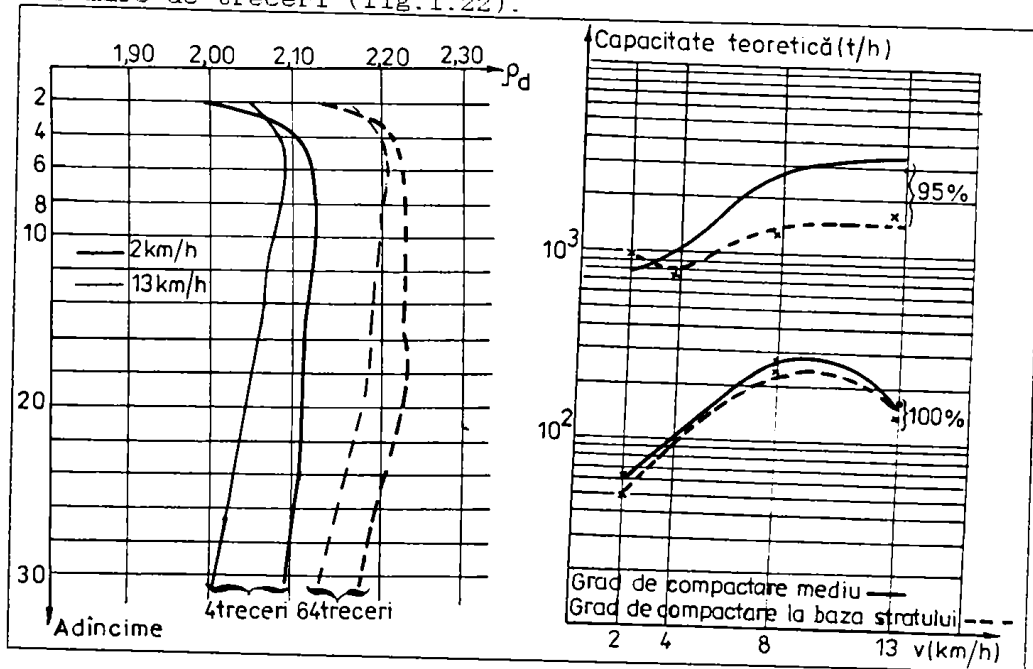


Fig.1.22. Variația densității în stare uscată cu adâncimea, pentru viteze și numere de treceri diferite.

Fig.1.23. Influența vitezei asupra capacității de compactare pentru două grade de compactare impuse.

- pentru o anumită calitate impusă (grad de compactare de minimum 86 % la baza stratului), capacitatea de compactare cea mai mare se obține pentru viteze de 8 km/h. Într-adevăr, capacitatea teoretică a compactorului crește cu viteza pînă la 8 km/h. De la 8 la 13 km/h, capacitatea teoretică rămîne constantă pentru o calitate impusă redusă și scade cu viteza pentru un grad de compactare impus ridicat (fig.1.23).

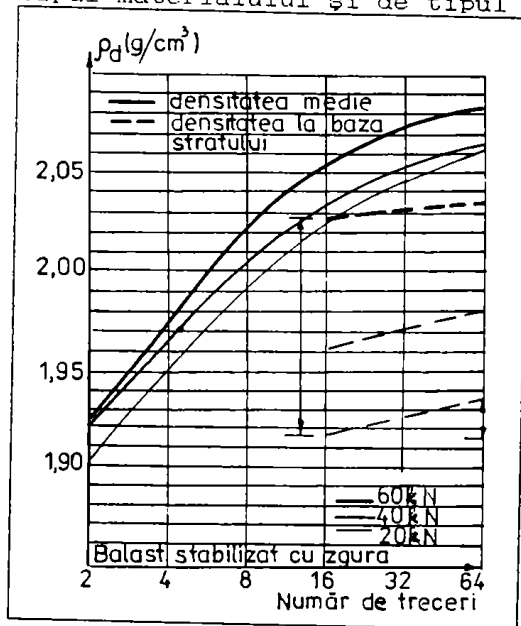
b) Influența sarcinii pe roată

Densitatea obținută pentru un anumit număr de treceri crește o dată cu sarcina pe roată. Pentru densitatea în stare uscată medie

influența sarcinii pe roată devine importantă doar în cazul unor presiuni de umflare ridicate și a unor materiale ușor compactabile. Cea care este influențată în mod deosebit de sarcina pe roată este densitatea la baza stratului, în cazul unor materiale dificil de compactat. Astfel pentru un balast stabilizat cu zgură (clasa M<sub>3</sub>), pentru 16 treceri ale compactorului se obține o creștere a densității la baza stratului de peste 5 ori pentru o sporire a sarcinii pe roată de la 20 la 60 kN, decât crescând numărul de treceri de 4 ori (de la 16 la 64), cu sarcina pe roată de 20 kN (fig.1.24).

c) Influența presiunii de umflare a pneurilor

Influența presiunii de umflare a pneurilor asupra eficienței compactării este strâns legată, pentru un număr de treceri dat, de tipul materialului și de tipul pneurilor.



Presiunea de umflare a pneurilor are o mică influență asupra densității obținute pentru un număr redus de treceri, dar pentru un număr mare de treceri (de ex. 64 treceri), densitatea crește cu circa 0,5 % pentru o creștere a presiunii de umflare de 10 daN/cm<sup>2</sup>. Această concluzie rămâne valabilă pentru orice sarcină pe roată, tip de material și de pneuri [69], [95]. Pentru sarcini pe roată egale influența presiunii de umflare este mai importantă pentru pneuri de dimensiuni mici. În ceea ce privește capacitatea de compactare a straturilor din materiale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se poate reține faptul că pentru

Fig.1.24. Influența sarcinii pe roată asupra densității în stare uscată medie și la baza stratului.

sarcini pe roata mici (20 kN) aceasta nu depinde de presiunea de umflare, dar pentru sarcini pe roată de 40...60 kN, capacitatea crește odată cu presiunea de umflare. Deci, importanța presiunii de umflare a pneurilor este cu atât mai mare cu cât se urmărește obținerea unei calități mari, printr-un număr de treceri ridicat. Din păcate, creșterea presiunii de umflare a pneurilor nu poate îmbunătăți performanțele compactoarelor cu pneuri, ușoare, chiar dimpotrivă: pentru această situație diferența dintre densitatea medie și densitatea la baza stratului crește o dată cu presiunea de umflare a pneurilor [112].

d) Influența naturii materialului de compactat

Ca și în cazul compactoarelor vibratoare, pentru același număr de treceri, gradul de compactare mediu crește o dată cu mărirea lucrabilității (determinată prin indicii de concasaaj sau indicii de curgere a materialului).

Pentru materialele dificil de compactat, diferența de densitate în jumătatea inferioară a stratului variază relativ puțin funcție de numărul de treceri. Pentru materiale ușor de compactat, creșterea gradului de compactare are aproximativ același ordin de mărime atât pentru jumătatea superioară, cât și pentru cea inferioară.

1.3.5.3. Compactarea straturilor din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolaniți cu ateliere formate din compactoare vibratoare și cu pneuri

În cazul unor materiale cu lucrabilitate redusă, aportul adus de un compactor cu pneuri după unul vibrator este nesemnificativ, aceasta cu atât mai mult cu cât numărul de treceri ale compactorului vibrator este mai mare (fig.1.25). Randamentul redus al compactoarelor cu pneuri, față de cele vibratoare este evidențiat și de creșterea compactității stratului prin continuarea compactării cu un compactor vibrator, după unul cu pneuri (fig.1.25.b) [111]. Pentru materiale cu lucrabilitate ridicată se remarcă o creștere a densității la partea superioară a stratului prin continuarea compactării cu compactoare cu pneuri după cele vibratoare, dar densitatea la baza stratului rămâne practic nemodificată [111].

În concluzie, terminarea compactării cu un compactor cu pneuri după unul vibrator poate prezenta un oarecare interes pentru materiale ușor compactabile. În schimb, pentru materiale cu lucrabilitate redusă continuarea compactării cu un compactor cu pneuri după unul vibrator nu prezintă practic nici un interes.

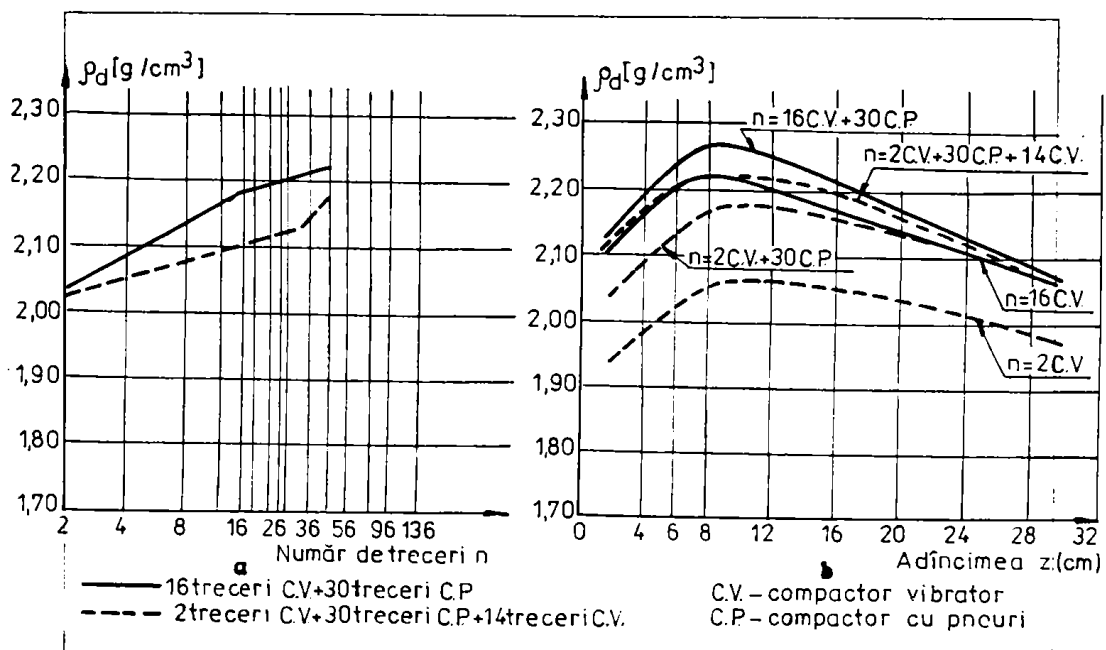


Fig.1.25. Variația densității în stare uscată funcție de numărul de treceri (a) și de adâncime (b) pentru compactoare vibratoare și cu pneuri.

### 1.3.6. Tratarea ulterioară a straturilor din materialele tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici

Straturile rutiere realizate din materiale tratate cu lianți hidraulici se protejează cel puțin 7 zile, timp în care circulația este interzisă, cu nisip de cca. 1,5...3,0 cm grosime, menținut în stare umedă sau cu o peliculă de protecție din emulsie bituminoasă (STAS 10473/1-87). Straturile rutiere realizate din materiale tratate cu lianți puzzolanici se vor acoperi cu un alt strat (de regulă bituminos) după maximum 3 zile de la execuție [176].

Suprafața și stratul din materiale tratate cu lianți puzzolanici se udă periodic pentru menținerea umidității, precum și înainte de așternerea noului strat.

Dacă stratul din agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici nu se poate acoperi în termen de 3 zile de la execuție, atunci se poate proceda astfel [188]:

- prelungirea perioadei până la max. 10 zile cu condiția ca stratul să nu fie sub circulație în condiții atmosferice nefavorabile, iar umiditatea să fie în permanență întreținută prin stropire cu apă;

- prelungirea perioadei până la max. 30 zile cu condiția execuției unui strat de protecție alcătuit din emulsie bituminoasă cationică în cantitate de 0,2...0,4 kg/m<sup>2</sup> și nisip în cantitate de 4...6 kg/m<sup>2</sup>.

În toate cazurile, înainte de așternerea stratului superior din mixtură asfaltică se va proceda la verificarea uniformității și eventualele denivelări constatate se îndepărtează prin decapări sau completări cu material nou.

În aceste condiții, stratul din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici devine strat de fundație (mai rar strat de bază) în cadrul unor structuri rutiere a căror comportare în exploatare se deosebește fundamental de comportarea structurilor rutiere suple sau rigide, conducând deci, prin particularitățile sale, la apariția unui nou tip de structuri rutiere, numite mixte.

### 1.4. Concluzii și propuneri

Aprecierile prezentate în acest capitol referitoare la structurile rutiere și lianții puzzolanici, permit formularea unor concluzii și propuneri.

În legătură cu structurile rutiere se menționează:

- tendința valorificării materialelor (lianți și agregate naturale) existente în zona de amplasament a drumului, cu scopul reducerii cheltuielilor de transport și de execuție, prin utilizarea unor tehnologii adaptate la condițiile locale;

- diversificarea materialelor și tehnologiilor utilizate în sectorul rutier, alăturată multiplelor lucrări de construcție, modernizare, întreținere, ranforsare a drumurilor au condus la apariția unor noi tipuri de structuri rutiere care nu pot fi încadrate nici în categoria structurilor rutiere suple, nici în cea a structurilor rutiere rigide;

- în acest context au apărut diverse preocupări pentru clasificarea structurilor rutiere. Spre deosebire de clasificarea structurilor rutiere pe baza unor "criterii de grosime a straturilor", care conduce la o diversificare exagerată a tipurilor de structuri rutiere, nejustificată de comportarea în exploatare a acestora și de metodele de dimensionare utilizabile, autorul propune o clasificare rațională obținută prin studii și analizarea comportării diferitelor structuri aflate în exploatare. În cadrul acestei clasificări apar ca noutate structurile rutiere mixte, care au în componență cel puțin un strat din materiale tratate cu

lianți hidraulici sau puzzolanici, acoperit cu straturi din agregate naturale stabilizate cu lianți hidrocarbonați;

- apropierea construcțiilor rutiere de conceptul general de alcătuire și proiectare a construcțiilor l-a determinat pe autor să propună o nouă definiție a structurilor rutiere și complexelor rutiere. În conformitate cu noua concepție, structura rutieră se va proiecta în strinsă corelație cu fundația pe care se așază și care trebuie să corespundă din punct de vedere tehnic scopului urmărit. Stratul de formă în aceste condiții trebuie astfel proiectat și executat încît să nu își modifice caracteristicile la variații de umiditate și temperatură.

În strinsă interdependență cu structurile rutiere mixte, problematica lianților puzzolanici cu posibilități de utilizare în tehnica rutieră permite sublinierea următoarelor aspecte:

- lianții puzzolanici utilizați sau posibili de a fi utilizați în tehnica rutieră sînt materiale, în general, silicioase sau silico-aluminoase, care prin activare cu varul, cimentul, ghipsul permit declanșarea unor reacții de hidratare cu efect direct în formarea unor noi compuși greu solubili în apă;

- clasificarea lianților puzzolanici permite evidențierea unor două grupe mari: artificiali (rezultați ca subproduse în urma unor procese tehnologice de bază) sau artificiali (obținuți în urma măcinării fine a unor roci din categoria rocilor piroclastice). Se remarcă faptul că utilizarea lianților puzzolanici artificiali este mai răspîndită în tehnica rutieră, datorită caracteristicilor lor chimico-mineralogice, uneori deosebite;

- autorul, pe baza studiilor și cercetărilor proprii, diversifică clasificarea lianților puzzolanici naturali de la tufurile vulcanice la alte roci piroclastice (curgeri de lavă andezitică sau bazaltică, poncii, scorii), care în anumite condiții concrete, prin măcinare, pe baza unor studii de laborator, pot fi utilizate cu randament ridicat ca lianți în tehnica rutieră.

Executarea structurilor rutiere mixte și în mod deosebit a straturilor rutiere din agregata naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici evidențiază anumite particularități care pot fi sintetizate în următoarele concluzii și propuneri:

- realizarea de straturi rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici presupune evaluarea rezervelor de materiale disponibile în zona de amplasament a drumului, încercarea în laborator a acestora în scopul determinării condițiilor optime de utilizare și stabilirea mijloacelor de corectare a caracteristicilor lor, inclusiv definitivarea dozajelor de lucru. Stabilirea dozajelor optime se efectuează de cele mai multe ori și mai sigur prin metoda clasică, la baza căreia stă principiul preparării mai multor serii de epruvete cu dozaje de liant diferite, păstrarea lor în condiții stabilite și încercarea acestora la diferite vîrste. Dozajul optim de liant se consideră cel care asigură obținerea rezistențelor prescrise pentru fiecare material și situație concretă de utilizare:

- pentru utilizarea lianților puzzolanici este absolut necesară determinarea caracteristicilor lor chimice, mineralogice și fizice cu scopul de a evidenția proprietățile puzzolanice ale materialului. Pentru lianți noi este obligatorie determinarea activității puzzolanice și stabilirea activatorului optim (var, ciment, ghips etc.), prin urmărirea reacțiilor care se produc în amestecul puzzolană-activator-apă și a compușilor de hidratare care apar;

- prepararea și punerea în operă a materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se poate efectua in situ, cu utilaje cu lamă, prin treceri succesive, pentru lucrări puțin



pretențioase sau pentru drumuri cu trafic redus, sau în instalații fixe, în flux continuu, de mare productivitate și cu niveluri de perfecționare variate, caz în care punerea în operă se efectuează cu utilaje specifice de tipul răspînditorului-finisor. Pentru stabilizarea la fața locului a materialelor din diferite straturi rutiere, pe grosimi de 30...35 cm, au fost concepute și realizate utilaje complexe care asigură frezarea materialelor din straturile rutiere, preluarea lor de utilaj, eventual adăugarea de agregate naturale noi și reaşternerea materialelor după o prealabilă stabilizare cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în timpul unei singure treceri;

- tehnologiile directe de compactare a straturilor din material tratat cu lianți hidraulici sau puzzolanici se rezumă la utilizarea compactoarelor vibratoare și a compactoarelor cu pneuri. Se reține că, mai ales în cazul straturilor groase din materiale cu lucrabilitate redusă, capacități de compactare asigură doar compactoarele vibratoare grele, care lucrează la frecvența de rezonanță, spre deosebire de cazul materialelor bituminoase pentru care eficiența maximă a compactoarelor vibratoare se obține pentru o frecvență maximă;

- utilizarea unor ateliere de compactoare vibratoare urmate de compactoare cu pneuri nu asigură o compactare corespunzătoare decît pentru straturi relativ subțiri și materiale cu lucrabilitate ridicată. Cu toate că terminarea compactării prin compactoare cu pneuri asigură o creștere a gradului de compactare la suprafața stratului pe 1...4 cm grosime, compactitatea obținută la baza stratului este necorespunzătoare;

- lucrabilitatea materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se determină prin stabilirea așa-numitului indice de concasare sau prin studierea colțurozității materialului cu un aparat special conceput, introdus și de către autor în activitatea laboratoarelor de drumuri;

- stratul rutier din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici odată realizat trebuie protejat împotriva uscării, pînă la acoperirea cu un nou strat. În cazul utilizării cimentului se impune interzicerea circulației pe strat minimum 7 zile, timp în care materialul atinge caracteristicile fizico-mecanice minime.

Trebuie reținut faptul că structurile rutiere mixte reprezintă o soluție interesantă în condițiile creșterii permanente a traficului, și în special a celui greu, acestea permit obținerea unor capacități portante ridicate cu grosimi ale structurilor mai reduse decît în cazul structurilor rutiere suple și asigură utilizarea cu eficiență ridicată a materialelor locale, cu consumuri relativ reduse de lianți tradiționali, fapt care influențează favorabil costul lucrărilor.

**II. INVESTIGAREA SURSELOR DE AGREGATE NATURALE  
DE PE VALEA CRIȘULUI ALB ȘI VALEA MUREȘULUI  
(JUD. ARAD ȘI HUNEDOARA) ȘI STUDIUL POSIBILITĂȚILOR  
DE UTILIZARE ÎN TEHNICA RUTIERĂ A UNOR  
LIANȚI PUZZOLANICI NATURALI**

Cunoașterea cantitativă și calitativă a rezervelor de materiale rutiere utile dintr-o anumită regiune este un deziderat urmărit permanent de proiectanții și constructorii de drumuri, care sînt confrunțați cu două probleme, de regulă, antagonice: pe de o parte realizarea unor lucrări de calitate și durabile și pe de altă parte, folosirea unor resurse materiale și mai ales financiare cît mai mici. Din păcate, de cele mai multe ori, se optează pentru exploatarea materialelor pietroase de calitate din rezervele existente, urmînd ca subprodusele rezultate prin procesul tehnologic, precum și materialele cu caracteristici fizico-mecanice necorespunzătoare exploatate implicit să fie abandonate în depozite, în defavoarea condițiilor economice, estetice și ecologice.

În acest context, autorul a studiat și propune în cadrul acestui capitol, o abordare nouă pentru o zonă concretă din sud-vestul țării, în care lîngă cariere au apărut depozite de "deșeuri de carieră" impresionante, atît pentru specialist, cît și pentru călătorul care străbate regiunea de o rară frumusețe cu trenul sau cu autoturismul.

### **2.1. Generalități**

În cadrul noii abordări, autorul a pornit de la ideea potrivit căreia materialele pietroase nevalorificate în prezent pot să-și găsească un loc bine definit în tehnica rutieră, cu atît mai mult cu cît compoziția chimică și mineralogică a unora dintre acestea este foarte apropiată de a lianților puzzolanici artificiali, curent utilizați în tehnologii rutiere.

Strins legat de rolul și locul rocilor în tehnica rutieră este clasificarea acestora după geneză, potrivit căreia se diferențiază trei mari categorii: roci magmatice, roci metamorfice și roci sedimentare. Fiecare categorie de roci cuprinde mai multe familii de roci, împărțite după următoarele criterii: vîrstă geologică, compoziție chimică, structură și textură, condiții de zăcămint.

Principalele roci utilizate în tehnica rutieră sînt cele magmatice, care sînt formate în urma consolidării prin răcire a magmei. Consolidarea se poate produce: în adîncime, în condiții de temperatură înaltă și presiuni mari (roci intruzive, intratelurice, plutonice, abisale) la suprafață, în condițiile de temperatură și presiune ale atmosferei (roci efuzive, vulcanice și vulcanite) sau pe crăpăturile scoarței, în condiții de temperatură și de presiune intermediare între primele două categorii (roci filoniene sau hipoabisice). Sintetic, funcție de criteriile sus-menționate, și luînd în considerare doar tipurile mai importante, clasificarea rocilor magmatice este prezentată în tabelul 2.1 [147], [179].

Trebuie menționat faptul că din punct de vedere chimic se ia drept criteriu de clasificare conținutul de bioxid de siliciu ( $\text{SiO}_2$ ), după cum urmează:

- roci hiperacide, cu peste 75 %  $\text{SiO}_2$ ;
- roci acide, cu 65...75 %  $\text{SiO}_2$ ;
- roci intermediare, cu 52...65 %  $\text{SiO}_2$ ;
- roci bazice, cu 45...52 %  $\text{SiO}_2$ ;
- roci ultrabazice, cu maximum 45 %  $\text{SiO}_2$ .

Rocile metamorfice provin din transformarea rocilor preexistente, sedimentare sau magmatice, prin schimbarea condițiilor de presiune, temperatură și de chimism în interiorul scoarței pămîntului, datorită fie mișcărilor tectonice, fie ascensiunii unei topituri magmatice [147].

Principalele caracteristici ale rocilor metamorfice, care le deosebesc de rocile magmatice cu care se aseamănă, sînt șistozitatea, cu minerale orientate după planuri paralele și textura rubanată (zonară), deci dispunerea elementelor după zone cu compoziții diferite. În categoria rocilor metamorfice se înscriu: șisturile cristaline, gnaisele, amfibolitele, marmura etc.

Avînd în vedere caracteristicile rocilor metamorfice, care argumentează că acestea nu sînt corespunzătoare pentru lucrările rutiere, precum și faptul că în zona investigată (județele Arad și Hunedoara), ele sînt în cantități ne semnificative în raport cu rocile magmatice, în cele ce urmează nu se va insista asupra lor.

Rocile sedimentare reprezintă acumulări de minerale și de resturi organice, provenite din dezagregarea mecanică sau descompunerea ori alterarea chimică a rocilor preexistente, cum și din materialul rezultat din dezagregarea și alterarea rocilor. Materialul rămîne uneori acumulat pe locul unde s-a produs fenomenul, formînd rocile reziduale (terra rossa, lateritul, bauxitul), dar în majoritatea cazurilor, el este transportat de agenții de transport externi (apa, vîntul, gheața, organismele), formînd rocile detritice sau clastice (tabelul 2.2) [141], [157].

Tabelul 2.1.

Criterii de clasificare		Roci cu feldspati alcalini				Roci cu feldspati calcosodici	
Chimic (continut $SiO_2$ %)	Mineralogic	90	72	66	60	55	48
			Cuartz	Feldspati alcalin	Feldspati alcalin	Feldspati calcosodici	Feldspati calcosodici
Minerale leucocrate	Minerale melanocrate		Or < Plag.acid	Cu cuarț	Plag.acid < Or	Feldspat alcalin ortoza albit	Fără feldspat alcalin ~10 % Q
Geologic și structural	Efuzive	Neo vulcanice	Riolit	Dacite	Trahite	Andezite	Bazalte Dolerite Tahillite
			Riodacit				
		Paleovulcanice	Profire cuarțiere	Profire Cuarțifere	Profire	Profire	Melafire Diabaze
			Hipoabisice	Silexite (filoane de cuarț)	Pegmatite Aplite Lamprofire	Pegmatite Aplite Lamprofire	Pegmatite Aplite Lamprofire
	Abisice	Granite: a) normal b) alcaline cu eștrîn	Granodiorite Tonalite	Sienite: a) potasice b) sodice	Diorite	Gabbrouri Norite	
Familii principale		Peracidite	Granite	Granodiorite	Sienite	Diorite	Gabbrouri

Legendă: B - biotit; H - hornblendă; P - piroxen; Ol - olivină; Q - cuarț;

Tabelul 2.2.

MĂRIMEA GRANULE - LOR, ÎN MM	CLASA ROCI	AGENTUL DE TRANSPORT:					
		VÎNTUL		APA		GHEATA	
		MOBILE	CONSOLIDA- TE	MOBI- LE	CONSOLIDA- TE	MOBILE	CONSOLIDA- TE
$d < 0,02$	ROCI PELITICE	PRAF	LOESS	MÎL NĂMOL	ARGILE MARNE	DEPOZITE FLUVIO- GLACIARE	
ROCIILE CU $0,01 < d < 0,1$ SE NUMESC ALEURITE							
$0,02 < d < 2,0$	ROCI PSAMITICE	ARENĂ NISIP DE DUNE	ARCOZĂ	NISIP DE RÎU SAU DE MARE	GRESII CALCARE GREZOASE		
$d > 2,00$	ROCI PSEPTICE	GROHO- TIS	ERECIE	BOLO- VANIŞ PRUN- DIŞ PIE- TRIŞ	CONGLOMERA- TE	MARNE ARGILĂ CU BLOCURI	TILITE

Pentru construcția și întreținerea drumurilor sînt interesante în mod deosebit nisipurile și pietrișurile, care pot fi exploatare în cantități mari în albiile minore și majore ale principalelor văi din regiune: riul Mureș și Crișul Alb (zăcăminte importante se consideră [148] cele de la Gura Streiului, Săulești, Turdaș-Folt, Ilia, Lipova, Radna, Ghioroc, Ineu, Măderat, Sebiș, Șicula etc.).

## 2.2. Geologia regiunii în care se situează județele Arad și Hunedoara

Județele Arad și Hunedoara cuprind în mare parte Munții Apuseni de Sud, care se situează între Valea Mureșului la sud și unitatea Codru la nord-vest. Principalele formațiuni, geografice întilnite în

această zonă sînt Munții Metaliferi a căror ramificații afloră în lungii văii Mureșului și văii Crișului Alb. Aceste lanțuri muntoase sînt mărginite la nord și la nord-vest de Munții Bihorului și Munții Cedru-Moma.

În cadrul Munților Zarandului se disting următoarele unități: Munții Highiș (alcătuiți din formațiuni cristaline de roci) și Munții Drocea (alcătuiți din roci vulcanice ofiolitice de vîrstă mezozoică și în mică măsură din magmatite banatice).

Formațiunile geologice din Munții Highiș sînt rezultatul unui magmatism acid sinorogen din timpul manifestărilor orogenice hercinice. Acest magmatism acid este caracterizat prin prezența unor corpuri mari de granite cu biotit care se exploatează în numeroase cariere (Miniș, Lipova, Șoimuș, Bătuța). Magmatismul acid este urmat de un magmatism tardeorogen cu caracter alcalin, care se încheie cu o suită de roci filonione granitice și sienitice. În partea centrală a Munților Highiș, între Milova și Nadăș, corpul principal de roci granitoide constă în partea sa nordică, din diorite și gabrouri, iar în cea sudică din roci granitice.

În Munții Drocea predomină magmatitele ofiolitice caracterizate în cea mai mare parte de bazalte și sporadic gabrouri. În partea centrală și de sud-est se întîlnesc formațiuni vulcano-sedimentare (predomină piroclastitele bazaltice care apar spre Valea Mureșului în zona localității Zam și se continuă spre nord-est pînă în apropierea localității Fornădia). De asemenea, pe o întindere relativ redusă, în zona Gurasada se întîlnesc piroclastite andezitice. Magmatitele banatice (granite, granodiorite) se întîlnesc în zonele Săvirșin, Almaș-Săliște și Căzănești.

În Munții Metaliferi s-au delimitat trei etape distincte de evoluție care corespund la trei cicluri importante de erupție [104]. Activitatea vulcanică din ciclul I de erupție a debutat prin eliberarea unor produse acide ce alternează cu secvențe andezitice. Cele mai importante centre de erupție și arii de răspîndire se localizează la Pojoga (pe valea Mureșului) și în aria depresionară a Zarandului, și au fost bine conturate în aria delimitată de localitățile Pincota, Ineu și Miniș.

Activitatea vulcanică în acest interval de timp a început și s-a încheiat cu secvențe intens explozive. Între produsele explozive se interpun curgeri de lavă. În cadrul acestui ciclu vulcanic apare o fază a erupțiilor riolitice și riocacitice, reprezentative fiind cele de la Băița (Brad) și Pojoga.

Activitatea vulcanică din ciclul II de erupție reprezintă cea mai importantă perioadă de manifestare a vulcanismului (sfîrșitul badenianului, sarmațian și panonian), care s-a desfășurat în condiții geotectonice de ridicare a fundamentului. Vulcanismul a avut un caracter efuziv, dar au existat și perioade cu activitate mixtă. Acestei faze i se pot raporta cea mai mare parte din andezitele cuarțifere cu amfiboli și cu piroxeni de la Virfurile, Tălagiu, Aciuța și Budești. Produsele acestor erupții de andezite apar pe o arie reprezentativă, dezvoltată la est de Miniș, pe bordura nordică

a masivului cristalin Highiş şi într-o arie largă cuprinsă între localităţile Dezna, Secaş, Virfurile şi Vaţa de Jos.

Activitatea vulcanică a celui de al III-lea ciclu s-a desfăşurat în a două jumătate a Pliocenului şi în Cuaternarul inferior. Aceasta este mult mai slabă şi reprezintă actul final al magmatismului subsecvent tardiv. În cadrul acestui ciclu nu se manifestă transformări importante pentru zona investigată.

Rezultat al activităţii vulcanice în Munţii Metaliferi şi pe valea Crişului Alb apar în special formaţiuni vulcanice cu importante rezerve de piroclastite andezitice în aria delimitată la sud de aliniamentul Ciungani-Vaţa de Jos şi la nord-vest de aliniamentul Virfurile-Zimbru-Dezna. În această regiune se găsesc amplasate şi principalele cariere de piatră de pe valea Crişului Alb, şi anume: Leasa, Virfurile I, II şi III, Tălagiu şi Aciuţa. Rezerve importante de piroclastite andezitice se mai întâlnesc pe aliniamentul Brad-Ribiţa-Rişculiţa, în amonte de principalul bazin, şi pe aliniamentul Almaş-Buteni-Cuied, în aval de carierele aflate în exploatare.

### 2.3. Roci utile pentru construcţia şi întreţinerea drumurilor în judeţele Arad şi Hunedoara

Autorul, pe baza bibliografiei studiate [10], [116], [117], [148], [194] a efectuat studii proprii pentru stabilirea rezervelor de roci utile din zona investigată, precum şi a caracteristicilor şi posibilităţilor de utilizare a acestora în sectorul rutier.

În cadrul acestui studiu, autorul a fost preocupat în mod deosebit de depistarea rocilor care îngreunează exploatarea materialelor de calitate în cariere şi de găsirea modalităţilor de implementare a acestora în cadrul unor tehnologii rutiere.

#### 2.3.1. Roci utile în judeţul Arad

Cele mai importante rezerve de roci utile pentru construcţii care sînt exploatare în prezent în judeţul Arad se găsesc pe valea Crişului Alb şi pe valea Mureşului (fig.2.1) , [148].

##### 2.3.1.1. Andezitele

Andezitele sînt roci magmatice efuzive constituite din feldspaţi calcosodici, hornblendă, biotit, augit, cuarţ. Au structură porfirică cu fenocristale de feldspat, biotit, hornblendă, piroxeni şi chiar cuarţ. Pasta în care sînt prinse fenocristalele poate fi complet cristalizată şi este alcătuită din microlite de compoziţie asemănătoare cu cea a fenocristalelor, conţinînd adesea şi cristale de magnetit şi ilmenit.

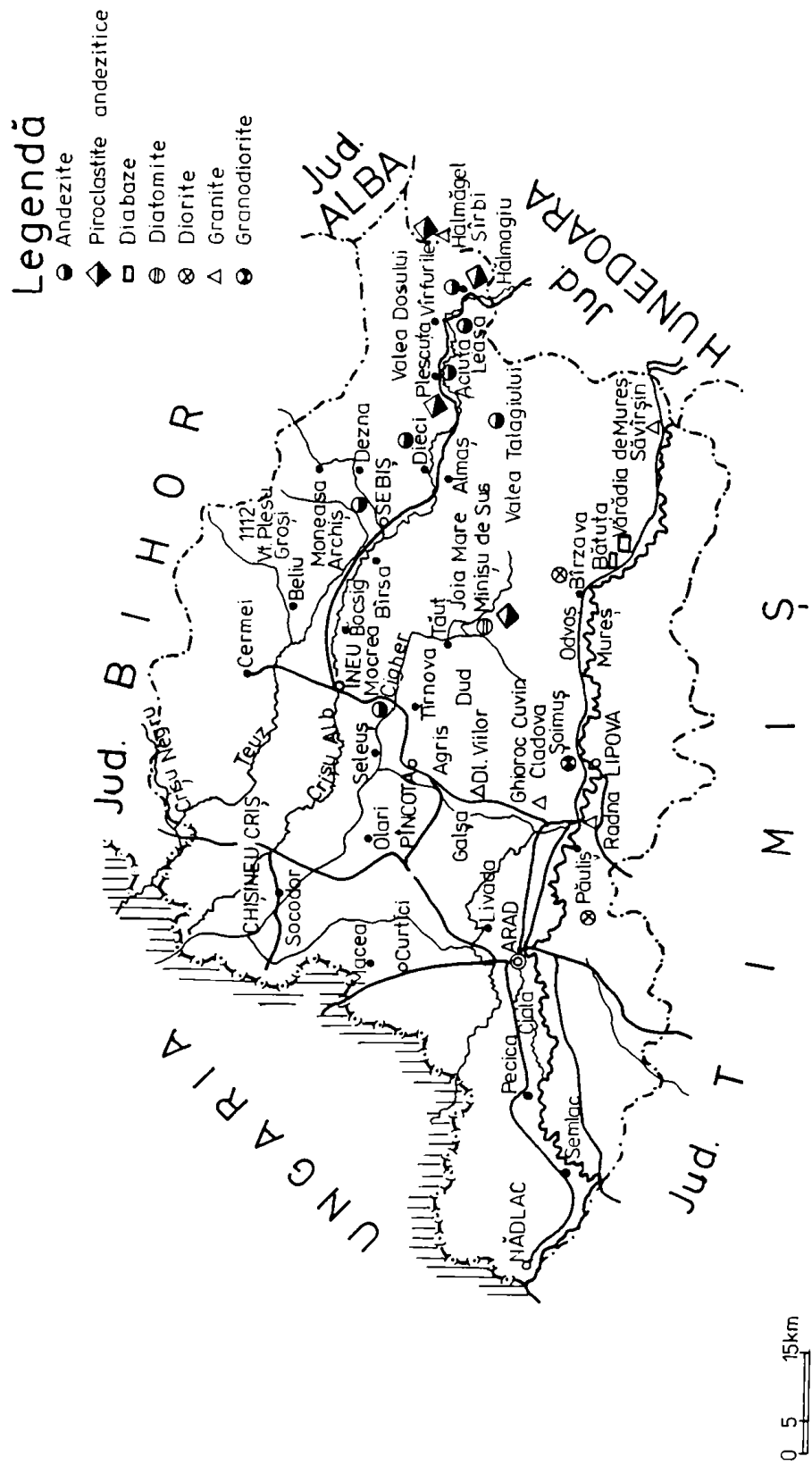


Fig.22. POZIȚIA ZĂCĂMINTELOR DE ROCI UTILE PENTRU LUCRĂRILE DE DRUMURI DIN JUDEȚUL ARAD



Zăcămintul Leasa este situat la nord de satul Leasa (jud. Arad), în versantul stîng al riului Crişul Alb, la circa 3 km de gara Vîrfurile. Roca este un andezit piroxenitic, cu structură porfirică şi textură compactă uneori slab poroasă, de culoare cenuşie negricioasă.

Parametrii fizico-mecanici sînt următorii: densitatea  $\rho = 2\ 692...2\ 700\ \text{kg/m}^3$ , densitatea aparentă  $\rho_a = 2\ 480...2\ 550\ \text{kg/m}^3$ , absorbţia de apă la presiune şi temperatură normală  $a_v = 1,3...2,5\ \%$ , rezistenţa la compresiune în stare uscată  $R_{cu} = 110...170\ \text{N/mm}^2$ , rezistenţa la compresiune după saturare cu apă  $R_{cs} = 100...150\ \text{N/mm}^2$ , rezistenţa la compresiune după saturare 25 cicluri de îngheţ-dezghet  $R_{ci} = 90...140\ \text{N/mm}^2$ , rezistenţa la uzură Los Angeles, LA = 14...16 % şi rezistenţa la sfărîmare prin şoc,  $R_s = 85...95\ \%$ .

În conformitate cu standardele în vigoare, andezitul de Leasa se poate utiliza ca piatră spartă pentru drumuri, căi ferate şi lucrări de artă.

Zăcămintul Vîrfurile este situat în amonte şi în aval de comuna Vîrfurile pe versantul drept al Crişului Alb. Zăcămintul este exploatat prin trei cariere.

Cariera Vîrfurile I este situată pe versantul drept al văii Crişului Alb, la confluenţa cu valea Brătiuleasa, la circa 2 km aval de gara Vîrfurile, pe drumul comunal Vîrfurile - Tălagiu.

Se exploatează andezite piroxenice de culoare cenuşie, cenuşie-albicioasă, cu structură porfirică şi textură masiv compactă. În acelaşi depozit se găsesc importante cantităţi de piroclastite andezitice, de culoare roşcată. Caracteristicile fizico-mecanice sînt următoarele: densitatea  $\rho = 2\ 710...2\ 750\ \text{kg/m}^3$ , densitatea aparentă  $\rho_a = 2\ 400...2\ 530\ \text{kg/m}^3$ , rezistenţa la uzură Los Angeles LA = 11...15 %, rezistenţa la compresiune în stare uscată  $R_{cu} = 100...190\ \text{N/mm}^2$ , rezistenţa la compresiune după saturare cu apă  $R_{cs} = 65...120\ \text{N/mm}^2$ , rezistenţa la compresiune după 25 cicluri de îngheţ-dezghet  $R_{ci} = 60...110\ \text{N/mm}^2$ , rezistenţa la sfărîmare prin şoc  $R_s = 89...93\ \%$ , absorbţia de apă  $a_v = 1,3...2,6\ \%$  şi uzura prin frecare pe cale uscată  $U_1 = 0,1...1,2\ \text{g/cm}^2$ . Valorile minime se înregistrează la piroclastitele andezitice (curgeri de lavă andezitice), care deseori sînt chiar mai reduse.

Din punct de vedere mineralogic, andezitul exploatat este format dintr-o masă fundamentală 35 % de tip microlitic în care sînt prinse cristale de feldspaţi plagioclazi (andezin) 47 %, piroxeni (hipersten) 11 % şi mai rar de biotit şi magnetit 5 %, rareori sticlă uşor devitrificată (fig. 2.2 şi anexa 1).

Compoziţia chimică a rocii se caracterizează prin:  $\text{SiO}_2$  (56,68...61,95 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (18,40...21,65 %),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2,10...6,03 %),  $\text{FeO}$  (0,11...2,35 %),  $\text{MgO}$  (0,15...3,28 %),  $\text{CaO}$  (5,19...9,02 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (1,92...4,37 %),  $\text{K}_2\text{O}$  (1,02...1,32 %) şi indică un caracter neutru al

acesteia.

Andezitele cenușii îndeplinesc condițiile necesare pentru a fi utilizate ca agregate naturale pentru drumuri, în timp ce curgerile de lave andezitice nu au caracteristici corespunzătoare.

Carierele Virfurile II și Virfurile III sînt situate pe teritoriul comunei Virfurile, pe versantul drept al Crișului Alb, în dealul Coasta Luncii, în apropierea stației CFR Virfurile.



Fig.2.2. Compoziția mineralogică a andezitului de Virfurile, pe secțiune subțire.

Se exploatează andezite cu piroxeni și amfiboli de culoare cenușie-negricioasă, cu structură porfirică și textură compactă. Andezitele sînt dispuse în trei niveluri în grosime de 30...60 m separate prin două niveluri de roci vulcano-sedimentare, în grosime de 30...60 m. Coperta are grosime de 0,5...2,0 m și este formată din sol și grohotiș.

Din punct de vedere mineralogic și petrografic roca exploatăată este formată dintr-o masă fundamentală (30...50 %) cu structură hialopilică, alături sticloasă în care sînt prinse cristale de feldspati de tip andezin (30...50 %), piroxeni (4...20 %) și minerale secundare reprezentate de magnetit, carbonați, opal (2...7 %).

Compoziția chimică este dată de  $SiO_2$  (54,90...59,75 %),  $Al_2O_3$  (16,92...24,90 %),  $Fe_2O_3$  (3,22...5,20 %),  $FeO$  (1,79...3,44 %),  $MgO$

(1,79...4,26 %), CaO (5,70...6,52 %), Na<sub>2</sub>O (2,05...3,10 %), K<sub>2</sub>O (0,60...1,30 %).

Principalele caracteristici fizico-mecanice sînt următoarele:  $\rho = 2\,720...2\,850\text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_a = 2\,700...2\,760\text{ kg/m}^3$ ,  $a_v = 0,20...0,40\%$ ,  $R_{cu} = 185...280\text{ N/mm}^2$ ,  $R_{cs} = 180...260\text{ N/mm}^2$ ,  $R_{ci} = 150...180\text{ N/mm}^2$ .

Avînd în vedere caracteristicile andezitului exploatat în carierele Vîrfurile II și III, acesta se poate utiliza sub formă de agregate naturale pentru drumuri.

Zăcămintul Tălagiu este situat de o parte și de alta a văii Tălagiului, la circa 3 km de calea ferată. Roca este un andezit cenușiu-negricios, cu hornblendă și piroxeni cu structură porfirică și textură masiv compactă.

Caracteristicile fizico-mecanice:  $\rho = 2\,710...2\,800\text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_a = 2\,550...2\,620\text{ kg/m}^3$ ,  $R_{cu} = 100...150\text{ N/mm}^2$ ,  $R_{cs} = 90...110\text{ N/mm}^2$ ,  $R_{ci} = 90...105\text{ N/mm}^2$  și  $U_1 = 0,3...1,2\text{ g/cm}^2$ , recomandă utilizarea andezitului de Tălagiu la construcția și întreținerea drumurilor.

Zăcămintul Aciuța este situat la circa un km est de localitatea Aciuța, comuna Pleșcuța, în versanții dealului Chiciura, pe partea dreaptă a căii ferate Brad-Arad. Este constituit din andezite cu hornblendă și piroxeni, de culoare neagră-cenușie, cu structură porfirică și textură slab-poroasă. Zăcămintul se exploatează în prezent în partea nordică, cu posibilitate de ieșire în drumul național (DN) 79A, Vîrfurile-Chișineu-Criș.

Caracteristicile fizico-mecanice ale andezitului sînt următoarele:  $\rho = 2\,720...2\,800\text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_a = 2\,520...2\,590\text{ kg/m}^3$ ,  $R_{cu} = 120...160\text{ N/mm}^2$ ,  $R_{cs} = 100...120\text{ N/mm}^2$ ,  $R_{ci} = 90...110\text{ N/mm}^2$ ,  $U_1 = 0,3...0,7\text{ g/cm}^2$ ,  $LA = 9...12\%$ .

Avînd în vedere caracteristicile fizico-mecanice și condițiile de exploatare foarte bune, andezitele de Aciuța pot fi utilizate pe scară largă în tehnica rutieră.

#### Zone de perspectivă

Zăcămintul Hălmagiu este situat la nord-est de comuna Hălmagiu, la confluența văii Hălmagiu cu valea Lunșoara și cuprinde andezite cu hipersten, cenușii, fin granulate, masive, formate din fenocristale cu plagioclazi, piroxeni și hipersten prinse într-o pastă microlitică. Condițiile de exploatare sînt favorabile, transportul este rentabil, gara situîndu-se la 2 km de zăcămint, iar caracteristicile fizico-mecanice sînt asemănătoare cu cele ale andezitelor de Leasa.

Zăcămintul Iosășel se situează la nord-est de satul Iosășel în versantul sud-estic al dealului Bodri, la circa 3 km de gara Gurahonț. Cuprinde andezite cu piroxeni, cenușii-verzui, fin granulate, masive, puternic afectate de mai multe sisteme de fisuri.

Parametrii fizico-mecanici sînt asemănători cu ale andezitelor de Tălagiu, fapt pentru care roca este indicată pentru lucrările rutiere.

Zăcămintul Mocrea aflat la un km nord-est de comuna Mocrea, are andezite cenușii-verzui, fin granulate, masive, traversate de mai multe sisteme de fisuri, care fragmentează roca intens. Se pot utiliza ca piatră spartă sau piatră fasonată pentru drumuri.

### 2.3.1.2. Diabaze

Diabazele sînt roci magmatice, bazice, de obicei efuzive, uneori filoniene, care fac trecerea între rocile granulare și cele microlitice. Au compoziția mineralogică asemănătoare cu a bazaltelor, compusă din feldspați calcosodici (plagioclazi) și augit, ilmenit și apatit. Accidental pot să apară crietale de olivin, diopsid, hipersten, hornblendă și chiar de biotit și de cuarț.

Diabazele se exploatează în județul Arad în special prin cariera Bătuța. Zăcămintul este situat la 300 m nord de gara Bătuța, pe partea nordică a drumului național 7, Deva-Arad. Diabazul are o structură fin granulată, de culoare verzui-închis, negru la vineție și o textură masivă. Compoziția mineralogică este formată din feldspați (25...50 %), amfiboli și piroxeni (30...35 %), epidot și zoizit (5...10 %), magnetită sporadică (circa 20 %), clorit (2...5 %), cuarț (5 %), calcită (10 %), titanit (5 %) și substanțe oxidice (circa 10 %).

Compoziția chimică a diabazului este formată din: SiO<sub>2</sub> (43,32...53,56 %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13,93...17,41 %), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4,87...6,29 %), FeO (1,42...4,24 %), MgO (6,22...13,14 %), CaO (6,29...8,30 %), Na<sub>2</sub>O (1,50...2,86 %) și K<sub>2</sub>O (0,50...2,17 %).

Caracteristicile fizico-mecanice sînt următoarele:  $\rho = 2\ 340...2\ 888\ \text{kg/m}^3$ ,  $\rho_a = 2\ 820...2\ 860\ \text{kg/m}^3$ ,  $a_v = 1,0...1,2\ \%$ ,  $R_{cu} = 130...170\ \text{N/mm}^2$ ,  $U_1 = 0,1...0,22\ \text{g/cm}^2$ ,  $LA = 7...9\ \%$  și indică posibilitatea folosirii diabazului de Bătuța în tehnica rutieră sub formă de agregate naturale.

Zăcămintul Vărădia de Mureș conține un diabaz asemănător din punct de vedere al compoziției chimice, mineralogice și a caracteristicilor fizico-mecanice cu cel din zona Bătuța. Se găsește la circa un km de comuna cu același nume, în dealul Mormanți, condițiile de transport fiind favorabile.

### 2.3.1.3. Diatomite

Diatomite se găsesc în județul Arad în zona Minișul de Sus, pe teritoriul comunei Tăuți, pe flancul nord-vestic al Munților Highiș, la circa 30 km de gara Tîrnova Zarand de pe calea ferată Arad-Brad.

Complexul diatomitic este constituit, dintr-o alternanță de

straturi de diatomit de grosimi diferite de la 2 la 15 m. cu aglomerate vulcanice, tufuri, marne, argile și nisipuri. Diatomitele sînt asociate cu depozite de piroclastite, iar coperta zăcămintului este alcătuită din aglomerate vulcanice de grosimi diferite.

Examinarea la microscop a rocilor din acest zăcămint permite evidențierea a două complexe mari:

- complexul rocilor piroclastice format din aglomerate andezitice, tufuri, tufite și lapili;

- complexul rocilor detritice și organice alcătuite din diatomite, argile marnoase și calcare organogene.

Dintre aceste două complexe, pentru tehnica rutieră interesează în primul rînd primul, care se poate constitui într-un depozit important de material puzzolanic.

Compoziția chimică este asemănătoare cu a andezitelor de ciclu II a magmatismelor neogene din Munții Apuseni de Sud, fiind formată din:  $\text{SiO}_2$  (54,90...59,75 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (16,92...24,90 %),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (3,22...5,60 %),  $\text{FeO}$  (1,70...3,44 %),  $\text{MgO}$  (1,79...4,26 %),  $\text{CaO}$  (5,70...8,52 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (2,05...3,10 %),  $\text{K}_2\text{O}$  (0,60...1,30 %) și permite încadrarea materialului piroclastic în grupa lianților puzzolanici naturali.

#### 2.3.1.4. Diorite

Dioritele sînt roci magmatice intruzive, olocristaline, cu caracter chimic intermediar. Dioritul este constituit din feldspați calcosodici, din hornblendă, biotit, augit, cu sau fără cuarț. Varietățile care conțin pînă la 10 % cuarț (diorite cuarțifere) fac trecerea spre granodiorite.

Ca minerale accesorii în diorit se întîlnesc: oxizi de fier, apatit, zircon, titanit.

În județul Arad diorite se găsesc în zăcămintul Bîrzava (situat la 2 km nord de comuna Bîrzava), și în zăcămintul Păuliș (situat la 600 m nord de gara Păuliș), pe partea nordică a drumului național 7, Deva-Arad).

Caracteristicile fizico-mecanice:  $\rho = 2\ 380...3\ 150\ \text{kg/m}^3$ ,  $\rho_a = 2\ 800...3\ 100\ \text{kg/m}^3$ ,  $a_v = 0,1...0,6\ \%$ ,  $R_{cu} = 190...270\ \text{N/mm}^2$ ,  $R_{cs} = 160...250\ \text{N/mm}^2$ ,  $R_{ci} = 140...230\ \text{N/mm}^2$ ,  $U_1 = 0,05...0,1\ \text{g/cm}^2$ .

Roca poate fi utilizată ca piatră spartă pentru drumuri, piatră brută sau fasonată pentru fundații, ziduri de sprijin sau alte construcții ingineresti.

### 2.3.1.5. Granite

Granitele sînt roci magmatice de adîncime la a cîror componență mineralogică iau parte, ca minerale principale, cuarțul, feldspatii potasici (ortoză), microclinul și feldspatii plagioclazi acizi (albit, oligoclaz), iar ca minerale subordonate: muscovitul, biotitul, hornblenda și foarte rar piroxeni. Ca minerale accesorii se întîlnesc: zircon, turmalin, granat, epidot etc.

Zăcămintul Barațca se află la circa 300 m nord-est de Barațca, în pintenul dealului Păuliș. Aici apar granite cu biotit de culoare cenușie - rozie, cu granulație fină pînă la medie, separate în bancuri și blocuri de diferite mărimi.

Caracteristicile fizico-mecanice ale rocii sînt următoarele:  $\rho = 2\ 660 \dots 2\ 730\ \text{kg/m}^3$ ,  $\rho_a = 2\ 630 \dots 2\ 650\ \text{kg/m}^3$ ,  $a_v = 0,2 \dots 0,5\ \%$ ,  $R_{cu} = 150 \dots 220\ \text{N/mm}^2$ ,  $R_{cs} = 140 \dots 200\ \text{N/mm}^2$ ,  $U_1 = 0,03 \dots 0,08\ \text{g/cm}^2$ .

Zăcămintul Cladova este situat în dealul Cladova, fiind constituit din granite cu biotit asemănătoare din toate punctele de vedere cu granitele de Barațca.

Zăcămintul Radna. În versantul Dealului Plopilor, la circa 400 m nord de localitatea Radna apar granite cu biotit, identice din toate punctele de vedere cu cele din zăcămintul Barațca.

Zăcămintul Dealul Viilor este situat la 500 m est de comuna Galșa în versantul vestic al Dealului Viilor, lîngă drumul județean Arad-Ineu. Este constituit din granite cu biotit, cenușii cu cristalinitate medie și fragmentat de numeroase sisteme de fisuri.

Caracteristicile fizico-mecanice sînt următoarele:  $\rho = 2\ 660 \dots 2\ 700\ \text{kg/m}^3$ ,  $\rho_a = 2\ 610 \dots 2\ 640\ \text{kg/m}^3$ ,  $a_v = 0,30 \dots 0,45\ \%$ ,  $R_{cu} = 160 \dots 210\ \text{N/mm}^2$ ,  $R_{ci} = 150 \dots 200\ \text{N/mm}^2$ ,  $U_1 = 0,08 \dots 1,2\ \%$ .

Zăcămintul Hălmăgel se găsește la 2 km nord de comuna Hălmăgel în versantul văii Lunșoara. Aici se găsesc granite cu biotit, de culoare cenușie cu nuanțe rozii, masive, fin cristalizate, cu următoarele caracteristici fizico-mecanice:  $\rho = 2\ 680 \dots 2\ 750\ \text{kg/m}^3$ ,  $\rho_a = 2\ 620 \dots 2\ 700\ \text{kg/m}^3$ ,  $a_v = 0,10 \dots 0,20\ \%$ ,  $R_{cu} = 180 \dots 240\ \text{N/mm}^2$ ,  $R_{ci} = 170 \dots 220\ \text{N/mm}^2$ ,  $U_1 = 0,08 \dots 0,15\ \text{g/cm}^2$ .

Zăcămintul Sîrbi se află la 300 m sud-vest de satul Sîrbi, în versantul stîng al văii Lunșoara și conține un granit cu biotit, de culoare cenușie cu nuanțe rozii și cu parametrii fizico-mecanici identici cu ai granitului de Hălmăgel.

Zăcămintul Săvîrșin este deschis în ambii versanți ai văii Corbului, la circa 2,5 km nord de localitatea Săvîrșin. Roca este un granit biotitic, cu spîrtură dreaptă, de culoare cenușie-negricioasă, uneori rozie.

Parametrii fizico-mecanici sînt următorii:  $\rho = 2\ 660 \dots 2\ 750$

kg/m<sup>3</sup>,  $\rho_a = 2\ 620 \dots 2\ 670$  kg/m<sup>3</sup>,  $a_v = 0,15 \dots 0,40$  %,  $R_{cu} = 170 \dots 210$  N/mm<sup>2</sup>,  $R_{ci} = 165 \dots 200$  N/mm<sup>2</sup>,  $U_1 = 0,10 \dots 0,30$  g/cm<sup>2</sup>.

În general, granitele, și deci și cele din zăcămintele menționate, se pot utiliza ca piatră fasonată sau piatră spartă pentru lucrările de drumuri, căi ferate, poduri, precum și la realizarea altor construcții ingineresti.

### 2.3.1.6. Granodiorite

Granodioritele sînt roci magmatice intruzive, intermediare între granite și diorite cuarțifere. Ele au culori mai închise decît granitele, din cauza procentului redus de cuarț și a prezenței mineralelor femice, care la unele granodiorite sînt mai frecvente.

În zona Șoimuș din județul Arad se găsesc granodiorite cenușii-verzui, fin granulate, cu structură masivă și textură compactă. Zăcămintul se află situat în partea nordică a D.N.7, Arad-Deva, în punctul numit "la Strîntori", la circa 6 km de gara Radna. Granodioritele se întrepătrund cu granitele aflate în zonă și sînt exploatate, de regulă împreună.

Granodioritele de Șoimuș sînt caracterizate prin următoarele caracteristici fizico-mecanice:  $\rho = 2\ 780 \dots 2\ 820$  kg/m<sup>3</sup>,  $\rho_a = 2\ 760 \dots 2\ 790$  kg/m<sup>3</sup>,  $a_v = 0,08 \dots 0,15$  %,  $R_{cu} = 155 \dots 195$  N/mm<sup>2</sup>,  $R_{ci} = 147 \dots 180$  N/mm<sup>2</sup>,  $U_1 = 0,03 \dots 0,10$  g/cm<sup>2</sup>, fapt care le recomandă pentru a fi utilizate ca piatră brută, spartă sau fasonată la lucrările ingineresti.

### 2.3.2. Roci utile în județul Hunedoara

Valea Mureșului și valea Crișului Alb sînt și în cazul județului Hunedoara principalele zone în care se pot exploata importantele rezerve de material pietros pentru construcții ingineresti, care se află în această regiune (figura 2.3) [77].

#### 2.3.2.1. Andezite

Zăcămintul Crișcior este situat pe teritoriul comunei cu același nume, la circa 7 km vest de orașul Brad. Zăcămintul este cuprins într-un complex vulcanogen de vîrstă neogenă, constituit din curgeri de lave andezitice și aglomerate vulcanice. Andezitul prezent aici are culoare cenușie și neagră cu nuanțe verzui, cu structură porfirică și textură masivă. Roca este formată dintr-o pastă fin cristalizată, în care sînt prinse fenocristalele mari de plagioclazi, hornblendă și piroxeni.

Andezitul de Crișcior are următoarele caracteristici fizico-

## LEGENDĂ

- Andezite
- ◆ Piroclastite andezitice
- Bazalte
- Lave bazaltice
- Diabaze

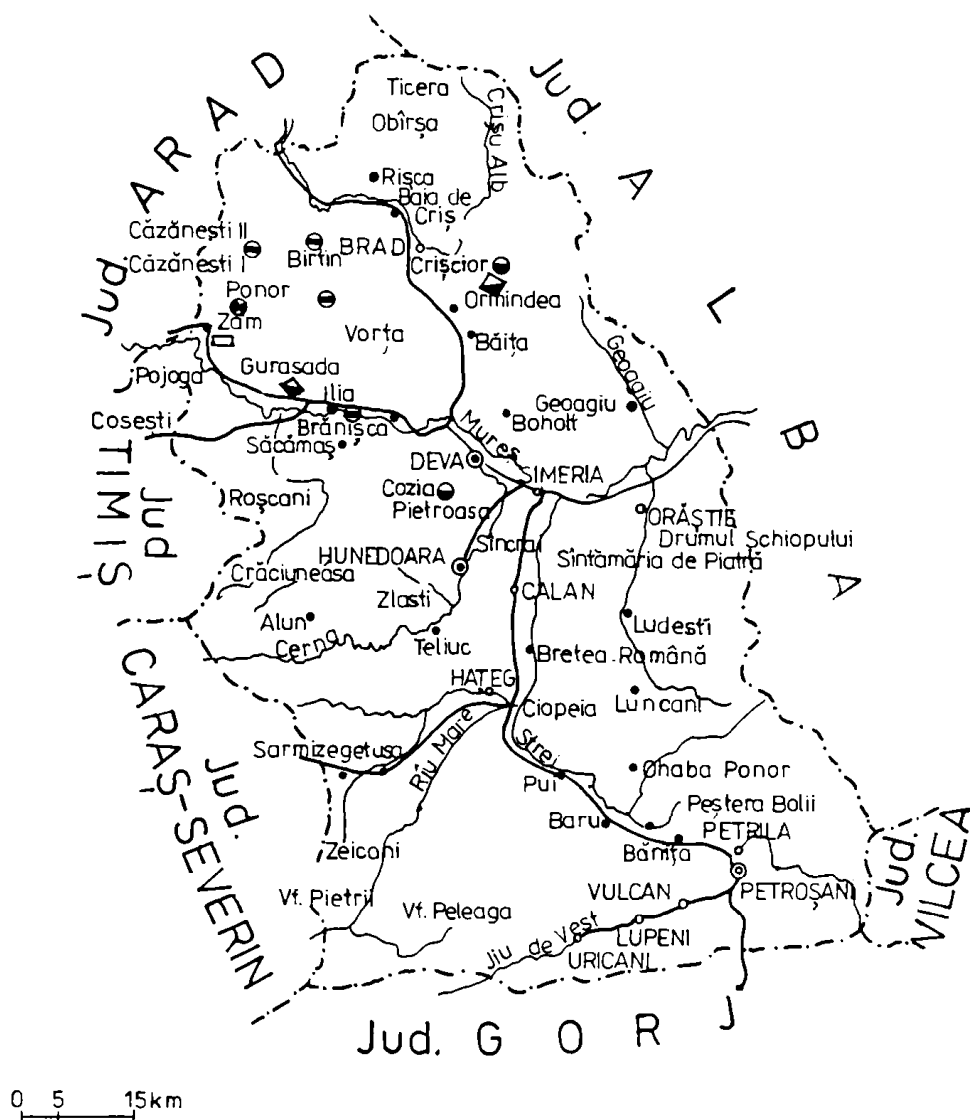


Fig.24. POZIȚIA ZĂCĂMINTELOR DE ROCI UTILE PENTRU LUCRĂRILE DE DRUMURÎ DIN JUDEȚUL HUNEDOARA



mecanice:  $\rho = 2\ 350...2\ 750\ \text{kg/m}^3$ ,  $\rho_A = 2\ 150...2\ 530\ \text{kg/m}^3$ ,  $a_v = 0,3...0,3\ \%$ ,  $R_{cu} = 59...226\ \text{N/mm}^2$ ,  $U_1 = 0,01...1,17\ \text{g/cm}^2$ . Se menționează că ecartul mare dintre valorile caracteristicilor luate în considerare se datorește curgerilor de lavă care au caracteristici mult inferioare andezitului din zonă.

Curgerile de lavă andezitică din zona Crișcior (asemănătoare cu cele din zona Vîrfurile) pot constitui de asemenea o sursă de material puzzolanic pentru sectorul rutier.

În județul Hunedoara andezite se mai găsesc în zona Cozia, la vest-sud-vest de Deva, în apropierea localității Cozia și în zona Pietroasa la circa 4 km sud-vest de Deva, în dealul Pietroasa.

### 2.3.2.2. Bazalte

Bazaltele sînt roci magmatice efuzive (neovulcanice), corespunzînd din punct de vedere mineralogic, gabrourilor. Principalele minerale componente sînt: feldspații calcosodici, piroxenii și olivina. Mai pot conține biotit, hornblendă bazaltică, oxizi de fier, pirotină și foarte rar cuarț.

Zăcămintul Brănișca se află la 1,7 km nord de localitatea cu același nume. Bazaltele de Brănișca sînt de culoare neagră, cu structura porfirică și textură masiv compactă sau slab vaculară, constituită dintr-o pastă microfeldspatică în care sînt prinse fenocristale de piroxeni și plagioglazi (fig.2.4 și anexa 2).

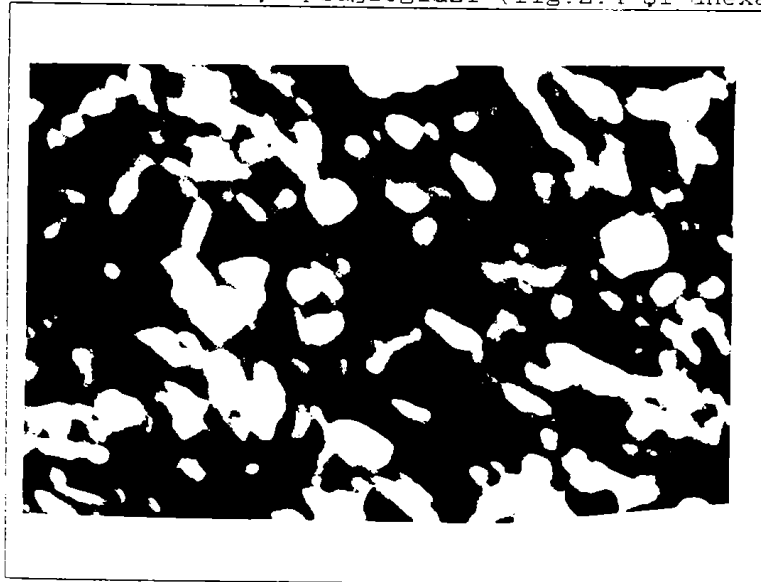


Fig.2.4. Compoziția mineralogică a bazaltului de Brănișca, pe secțiune supșine.

Se caracterizează prin :  $\rho = 2\ 750 \dots 2\ 800\ \text{kg/m}^3$ ,  $\rho_a = 2\ 580 \dots 2\ 650\ \text{kg/m}^3$ ,  $a_v = 0,37 \dots 0,59\ \%$ ,  $R_{cu} = 148 \dots 220\ \text{N/mm}^2$ ,  $U_1 = 0,08 \dots 0,23\ \text{g/cm}^2$ .

Compoziția chimică a bazaltelor de Brănișca (Măgura Sîrbei) este următoarea:  $\text{SiO}_2$  (43,42 %),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (9,70 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (15,13 %),  $\text{CaO}$  (12,53 %),  $\text{MgO}$  (6,20 %),  $\text{MnO}$  (0,13 %),  $\text{K}_2\text{O}$  (0,74 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (3,50 %).

Căile de acces la zăcămint se deschid spre D.N.7, Deva-Arad și calea ferată care urmărește același traseu. Bazaltele se pot utiliza ca piatră brută, piatră spartă, criblură și piatră fasonată.

Bazaltele în această regiune se mai găsesc în zona Birtin pe valea Birtinului, la 1,5 km amonte de localitatea cu același nume și în zona Herepea, la 3 km sud-est de localitatea Vețel (fig.2.3).

În zona Birtin se întîlnesc și importante rezerve de curgeri de lavă bazaltică și produse de explozie puternic cimentate, care pot fi cercetate ca material puzzolanic.

### 2.3.2.3. Diabaze

În județul Hunedoara, diabaze se exploatează pe teritoriul localității Zam, în versantul stîng al văii Almașului, în imediata apropiere a D.N.7, Deva-Arad. Diabazele au culori diferite: cenușii-verzui, roșcate sau negre, cu o structură ofitică și textură masivă. Regiunea în care se află zăcămintul este constituită din magmatite ofiolitice reprezentate prin curgeri de lave diabazice (submarine) mezozoice.

Compoziția chimică dată prin :  $\text{SiO}_2$  (47,68...51,44 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (14,26...16,77 %),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (3,01...10,10 %),  $\text{FeO}$  (3,19...9,47 %),  $\text{MnO}$  (0,14...0,45 %),  $\text{MgO}$  (2,28...8,27 %),  $\text{CaO}$  (7,05...12,91 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (1,96...3,33 %),  $\text{K}_2\text{O}$  (0,14...0,83 %),  $\text{TiO}_2$  (1,10...1,83 %), atestă caracterul bazic al rocii.

Caracteristicile fizico-mecanice prezintă următoarele valori:  $\rho = 2\ 850 \dots 2\ 950\ \text{kg/m}^3$ ,  $\rho_a = 2\ 739 \dots 2\ 826\ \text{kg/m}^3$ ,  $a_v = 0,14 \dots 1,21\ \%$ ,  $R_{cu} = 173 \dots 205\ \text{N/mm}^2$ ,  $U_1 = 0,009 \dots 0,066\ \text{g/cm}^2$ .

Zăcămintul prezintă importanță atât pentru diabazele masive utilizate ca piatră brută, spartă sau fasonată, cît și pentru curgerile de lave bazice, caracteristice celei de a doua etapă a magmatismului din Munții Apuseni, care pot fi cercetate ca material puzzolanic.

### 2.3.3. Roci piroclastice

Prezența rocilor piroclastice, existente în general în aceleași depozite cu materialul pietros exploatat și avînd de regulă o compoziție chimică și mineralogică identică, ca urmare a formării din aceeași magmă, constituie un impediment major în cariere. Aceasta datorită faptului că, pe de o parte rocile piroclastice au caracteristici fizico-mecanice necorespunzătoare pentru a fi utilizate ca agregate naturale, iar pe de altă parte neexploatarea lor presupune, de cele mai multe ori, imposibilitatea valorificării rocilor utile.

În aceste condiții, autorul a urmărit pe lîngă identificarea rocilor utile și stabilirea principalelor depozite de roci piroclastice din regiune, pentru ca ulterior acestea să fie analizate pentru descoperirea domeniilor lor de utilizare în tehnica rutieră.

S-a constatat că principalele depozite de roci piroclastice se găsesc în cadrul exploatărilor andezitice și bazaltice, unde apar fie în straturi de suprafață fie în straturi alternative, importate cantități de curgeri de lave.

Acestea sînt exploatate nemijlocit cu rocile andezitice sau bazaltice, numai că valorificarea lor nu se face în nici un fel în momentul actual, cînd ele sînt "depozitate" în zone adiacente carierelor.

Astfel numai în carierele Vîrfulile, jud.Arad, se estimează [194] că rezervele de curgeri de lave andezitice se ridică la 60...70 mii t, în timp ce în cariera Zam, jud.Hunedoara, potrivit aceluiași estimări, curgerile de lave bazaltice sînt de minimum 20...25 mii t. De asemenea, importante rezerve de curgeri de lave andezitice se întîlnesc și în celelalte cariere de pe valea Crișului Alb, precum și în zona Gurasada, jud.Hunedoara, unde rocile piroclastice existente nu sînt exploatate.

În acest context, autorul a luat în studiu curgerile de lave andezitice din carierele Vîrfulile, jud.Arad, curgerile de lave bazaltice din cariera Zam, jud. Hunedoara, unele roci piroclastice existente în bazinul Minișul de Sus, jud.Arad (vezi punctul 2.3.1.3). De asemenea, ca urmare a recomandărilor bibliografice [70], [86], [98], [107], s-a considerat interesant de alăturat acestor roci, ponciile de Tușnad, jud. Harghita, materiale care au fost investigate ca posibili lianți puzzolanici naturali.

### 2.4. Stabilirea principalelor caracteristici ale unor roci, ca posibili lianți puzzolanici naturali

Studiul diferitelor materiale în vederea determinării eventualelor lor proprietăți puzzolanice presupune investigarea următoarelor caracteristici:

- fizico-mecanice;

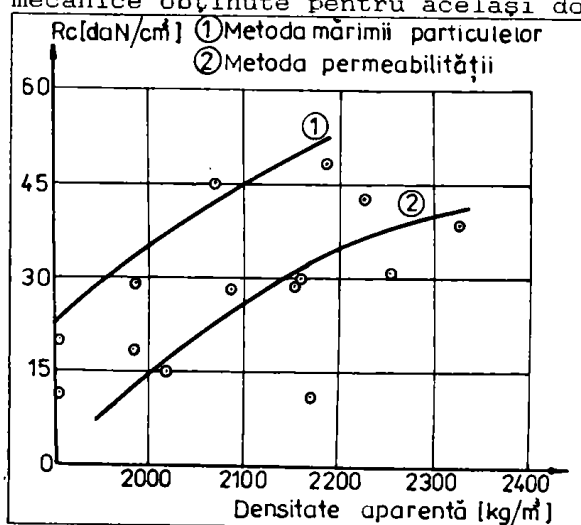
- chimice;
- mineralogice.

În acest context, autorul a întreprins studii proprii pentru determinarea caracteristicilor fizico-mecanice, chimice și mineralogice ale rocilor menționate anterior.

#### 2.4.1. Determinarea proprietăților fizice

Densitatea și suprafața specifică sînt principalele caracteristici ale lianților puzzolanici care influențează în mod hotărîtor reacția de hidratare [55], [138], [91], [172], [173], [185].

Astfel, creșterea densității pentru același tip de cenuși de termocentrală conduce la creșterea substanțială a rezistențelor mecanice obținute pentru același dozaj (fig.2.5) [182].



În altă ordine de idei, caracteristicile fizice ale materialelor pulverulente utilizate în tehnica rutieră (var, ciment, lianți puzzolanici, filer etc.) au o influență importantă asupra comportării acestora în timpul transportului, stocării și dozării.

Se pot întîlni următoarele tipuri de materiale, definite funcție de modul de comportare la dozare [140]:

- materiale care se comportă la însilozarea în vrac ca niște lichide (fig.2.6.a). Acest fenomen deranjează în cazul dozării

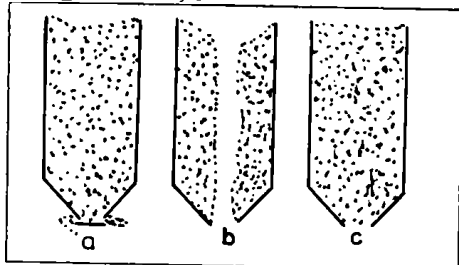
Fig.2.5. Influența densității aparente asupra activității hidraulice.

gravimetrice deoarece este imposibil de a regla viteza de curgere cu cea a șneului sau benzii transportoare. Problema este și mai gravă atunci cînd produsul începe să se reverse ca un veritabil lichid, putîndu-se ajunge chiar la golirea totală a silozului;

- materiale care însilozate în vrac se comportă ca un fluid vîscos și dau o stabilitate foarte bună la curgere. Acestea nu pun probleme în timpul dozării;

- materialele care se comportă ca un fluid foarte vîscos, stare care poate merge pînă la tipul solid, se conideră p... colmatante. Acest fenomen are ca efect perturbarea curgerii materialelor din silozuri, fie ca urmare a obturării secțiunii de scurgere (fig.2.6.c), fie prin apariția așa-numitului efect de vută

(fig.2.6.b).



Remedierea inconvenientelor menționate se poate efectua astfel:

- fluidizarea materialului în siloz prin injectarea de aer sub presiune pentru anularea coeziunii materialului;

- vibrarea materialului în siloz pentru asigurarea scurgerii acestuia.

Fig.2.6. Posibilități de comportare.

Având în vedere aspectele sus-menționate este interesant ca în paralel cu studiile vizînd domeniile de utilizare să se facă și studii referitoare la modul de comportare a materialelor pulverulente în timpul proceselor tehnologice propuse. În acest scop, în cazul particular al lianților puzzolanici, autorul a efectuat studii și cercetări vizînd determinarea caracteristicilor lor fizice și corelarea acestora cu comportarea materialelor respective la stocare și dozare [140].

Densitatea scheletului ( $\rho_s$ ) se determină prin metoda picnometrului și reprezintă raportul dintre masa particulelor solide și volumul efectiv al acestora. În general, lianții puzzolanici utilizați în tehnica rutieră au următoarele densități ale scheletului [12], [55], [138], [172], [173] : 2 650...2 800 kg/m<sup>3</sup> pentru cenușile de termocentrală și 2 750...3 000 kg/m<sup>3</sup> pentru zgurile granulate. În cazul lianților puzzolanici naturali studiați de autor, densitatea scheletului este de [15], [16]: 2 400...2 480 kg/m<sup>3</sup> pentru piatra ponce și de 2 700...2 850 kg/m<sup>3</sup> pentru piroclastitele andezitice și bazaltice.

Densitatea aparentă ( $\rho_a$ ) este dată de raportul dintre masa unei granule și volumul acesteia. Se menționează densități aparente de 1 900...2 400 kg/m<sup>3</sup> pentru cenușile de termocentrală și de 2 200...2 600 kg/m<sup>3</sup> pentru zgurile granulate. Pentru piroclastitele andezitice și bazaltice densitatea aparentă este de 2 050...2 400 kg/m<sup>3</sup>.

Densitatea în gramadă în stare afînată și în stare îndesată ( $\rho_{sa}$  și  $\rho_{si}$ ) se determină prin raportul dintre masa materialului și volumul ocupat de acesta. Îndesarea se realizează prin compactarea materialului în straturi succesive cu grosimea de 5 cm, prin batere cu un mai sau prin vibrarea probei [140]. Rezultatele obținute pentru diferitele materiale pulverulente studiate de autor sînt date în tabelul 2.3.

Pentru evitarea subiectivității la determinarea densității în gramadă, autorul a preluat și realizat aparatul din fig.2.7, care poate fi utilizat în cazul materialelor cu granule de maximum 3 mm diametru.

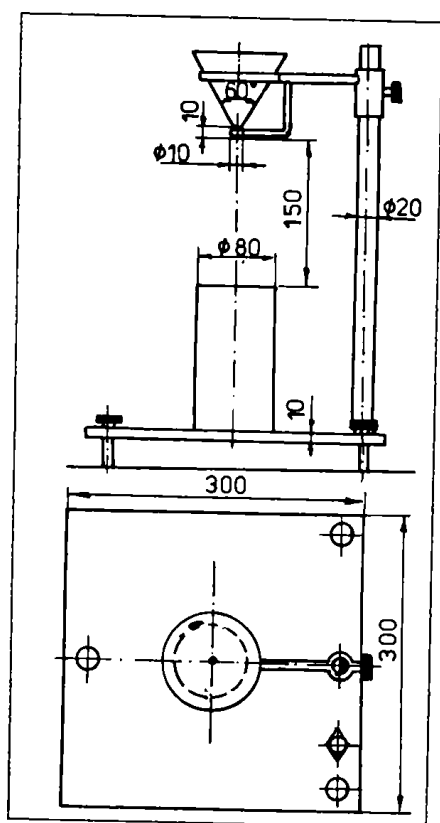


Fig.2.7. Aparat pentru de-terminarea densității.

Porozitatea ( $n$ ) materialului este calculată în funcție de densitatea scheletului ( $\rho_s$ ) și densitatea în grămadă ( $\rho_a$ ), cu relația următoare:

$$n = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_a}\right) \times 100 \quad [\%] \quad (2.1)$$

Indicele de compresibilitate ( $i$ ) este o caracteristică introdusă pentru a scoate în evidență, indirect, coeziunea sau, altfel spus, pentru a materializa forțele intergranulare. Acesta se calculează cu relația următoare:

$$i = \frac{\rho_{si} - \rho_{sa}}{\rho_{si}} \times 100 \quad [\%] \quad (2.2)$$

în care semnificația notațiilor este cea menționată anterior.

În general, cu cât produsul este mai compresibil cu atât el curge mai greu.

În mod obișnuit, pentru materialele pulverulente se determină capacitatea de compresibilitate ( $P$ ), cu relația:

$$P = i_2 - i_1 \quad [\%] \quad (2.3)$$

cu:

$$i_1 = \frac{\rho_{s11} - \rho_{sa}}{\rho_{s11}} \times 100 \quad [\%] \quad (2.4)$$

$$i_2 = \frac{\rho_{s12} - \rho_{sa}}{\rho_{s12}} \times 100 \quad [\%] \quad (2.5)$$

în care:

$\rho_{sa}$  este densitatea în grămadă în stare afînată, în  $\text{kg/m}^3$ ;

$\rho_{s11}$  - densitatea în grămadă în stare îndesată prin vibrare, în  $\text{kg/m}^3$ ;

$\rho_{s12}$  - densitatea în grămadă în stare îndesată prin vibrare și compactare cu maiul, în  $\text{kg/m}^3$ .

Gradul de afinare ( $A$ ) are rolul de a evidenția disponibilitatea materialului pulverulent la tasare prin vibrare. Pentru obținerea gradului de afinare se utilizează următoarea relație de calcul:

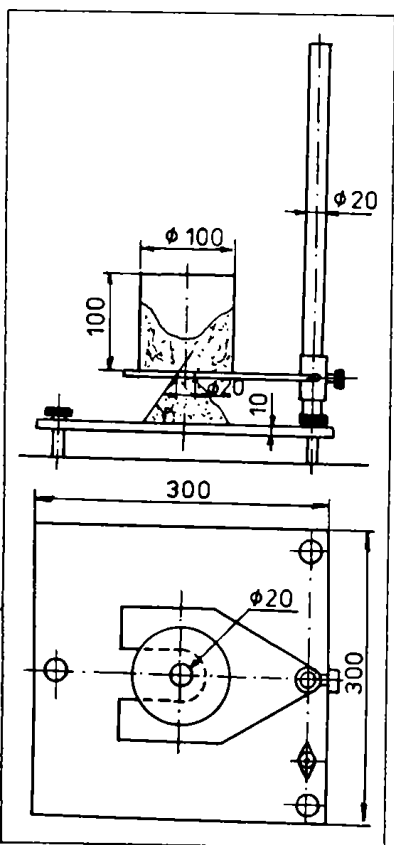
$$A = \frac{\rho_{si} - \rho_{sa}}{\rho_s} \times 100 \quad [\%] \quad (2.6)$$

în care semnificația notațiilor este cea menționată anterior.

Proprietățile de curgere ale materialelor pulverulente în vrac

Proprietățile de curgere ale materialelor pulverulente depind de caracteristicile lor fizice. Pentru a caracteriza însă rapid, în condiții atmosferice normale, aptitudinile de curgere ale unui material pulverulent, se determină trei unghiuri principale [140], și anume:

- unghiul taluzului de ebulment (Ó) se poate afla cu ajutorul aparatului prezentat în fig.2.8, prin determinarea unghiului format de taluzul grămezii conice formată prin curgerea materialului pulverulent printr-un orificiu dat, de la o înălțime redusă;



- unghiul taluzului de curgere (B), care se determină cu ajutorul aparatului din fig.2.9, fiind egal cu unghiul făcut de taluzul materialului pulverulent rămas într-un recipient după ce s-a permis curgerea liberă a probei printr-un orificiu dat cu orizontala;

- unghiul de lunecare (ó) se determină cu ajutorul aparatului prezentat în fig.2.10 și este format între orizontală și planul pe care materialul începe să curgă. Aparatele prezentate pentru determinarea proprietăților de curgere ale materialelor pulverulente au fost adoptate, realizate și experimentate de autor în cadrul activității din laboratoarele de drumuri. Caracteristicile fizice determinate de autor în laborator pentru materialele pulverulente studiate sînt prezentate în tabelul 2.3.

Pentru caracterizarea stabilității materialelor pulverulente la stocaj, în literatura de specialitate [148] sînt cașantuseișniepeșcialcarmătoarele

- unghiul pe care îl face taluzul materialului pulverulent în vrac, cu orizontala (Ó);

- capacitatea de compresibilitate a unghiului de lunecare materialului  
---p.ctiv.

Fig.2.8. Determinarea unghiului taluzului natural.

Astfel, disponibilitatea de curgere a materialului pulverulent, funcție de unghiul Ó este următoarea:

- .  $\phi < 30^\circ$  : material cu foarte bune calități de curgere;
- .  $\phi = 30...45^\circ$  : material cu bune calități de curgere;
- .  $\phi = 45...60^\circ$  : material cu calități medii de curgere;
- .  $\phi > 60^\circ$  : materiale foarte stabile (colmatante).

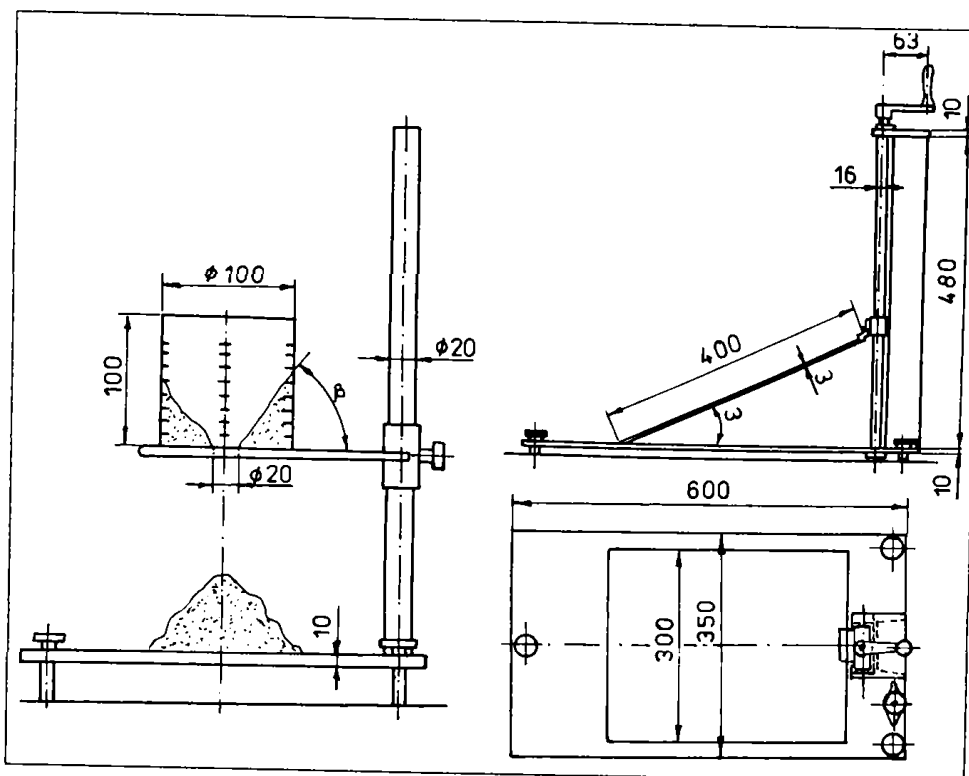


Fig. 2.9. Determinarea unghiului de curgere. Fig. 2.10. Determinarea unghiului de alunecare.

Comportarea cea mai bună la dozare o au materialele pulverulente cu  $\phi = 45...60^\circ$ , celelalte putând să creeze probleme imprevizibile. Pentru  $\phi < 45^\circ$  se pot corecta proprietățile de curgere prin creșterea densității în vrac, iar pentru  $\phi > 60^\circ$  este nevoie de micșorarea densității în vrac (de exemplu, prin introducerea în siloz de aer comprimat).

Se constată că lianții puzzolanici naturali obținuți prin măcinarea unor roci piroclastice au unghiul  $\phi$  de  $44...49^\circ$ , fapt care le conferă o comportare la dozare corespunzătoare.

Capacitatea de compresibilitate și indicații suplimentare, pe lângă unghiul  $\phi$ , pentru a prevedea comportarea materialului la dozare. Astfel, pentru materiale pulverulente cu unghiul taluzului natural mic și capacitatea de compresibilitate redusă (microbile 0/50) nu se poate întrevădea o îmbunătățire a comportării la dozare, deoarece inclusiv creșterea densității în vrac, indiferent de mijloace, este dificilă.



Tabelul 2.3.

Nr. crt	Material	Densitate schelet ( $\rho_s$ ), în kg/m <sup>3</sup>	Densitate în stare în afinație ( $\rho_{af}$ ), în kg/m <sup>3</sup>	Densitate în stare în indesată prin vibrație ( $\rho_{vib}$ ), în kg/m <sup>3</sup>	Indicele de compresibilitate			Capacitatea de compresibilitate ( $\mu$ ), în %	Gradul de afinare (A), în %	Unghiul			Porozitate în stare indesată prin vibrație, în %	Porozitate în stare în afinație (n), în %	Porozitate în stare indesată prin vibrație + compactare, în %
					$i_1$ , %	$i_2$ , %	$i_3$ , %			$\alpha_1$ , în	$\alpha_2$ , în	$\alpha_3$ , în			
1.	Filer pe calcar	2700	926	1471	37	48,6	11,6	20,2	40	49	35	46	66	33,3	
2.	Ciment (CPA400), *	3170	1000	1471	32	51,5	19,5	14,9	49	imp.	35	54	69	31,9	
3.	Cenușă de termocentrătrala	2960	1250	1923	35	38,1	3,1	22,8	36	55	34	35	58	31,8	
4.	Var nestins, *	3050	890	1390	36	40,7	4,7	16,4	40	55	37	54	71	50,8	
5.	Var stins, *	2210	359	621	42,2	62,2	20	11,9	47	imp	41	72	84	57	
6.	Microbi-le 0/50	2310	1334	1536	13,2	14,5	1,3	8,7	42	42	-	34	42	32,9	
7.	Microbi-le 70/110	2420	1422	1552	8,3	11,7	3,4	5,4	27	44	-	36	41	-	
8.	Ciment PA35	2950	1215	1595	23,8	36,3	6,5	12,9	40	imp	36	46,0	59,0	35,3	
9.	Lave an-dezitive	2720	1240	1530	19,0	24,2	5,2	10,6	44	imp	38	43,8	54,4	39,8	
10	Lave bazaltice	2810	1300	1575	17,5	23,5	5,8	9,6	44	imp	39	44,7	54,3	10,5	
11	Piroclaste Mins	2420	1140	1460	21,9	32,8	11,1	13,2	47	imp	37	39,7	47,1	29,9	
12	Ponce de Tushnad	2380	1100	1370	19,7	27,3	7,6	11,3	46	imp	38	42,2	52,9	16,1	

\*) Materiale și valori preluate din literatura de specialitate [77].

Dacă unghiul taluzului natural este mai mic de  $45^\circ$ , dar compresibilitatea materialului este mare, se poate prevedea o îmbunătățire a comportării la dozare prin creșterea densității în siloz.

Referitor la lianții puzzolanici naturali studiați de autor se poate conta pe o creștere a densității în vrac din siloz, dar se consideră că aceasta nu este necesară deoarece proprietățile lor de curgere sînt corespunzătoare.

Caracteristicile fizice complementare pentru analizarea comportării la manipulare, stocare și dozare a materialelor pulverulente sînt granulozitatea și în special forma granulelor.

Referitor la unghiul de lunecare, se consideră [140] că nu oferă date suplimentare importante, fapt pentru care determinarea sa poate rămîne facultativă.

Granulozitatea lianților puzzolanici are o deosebită importanță atît pentru comportarea la dozare, cît și, mai ales, asupra activității hidraulice a liantului. Autorul a lucrat cu două granulozități ale lianților puzzolanici studiați: prima 0...1,0 mm, cu treceri prin sita de 0,08 mm de 25...30 % și a doua cu treceri prin sita de 0,08 mm în proporție de 81 % .

Proprietățile fizice ale lianților puzzolanici naturali au fost determinate pentru granulozitățile din fig.2.11, aceleași cu cele utilizate pentru prepararea amestecurilor nisip-liant puzzolanic-activator-apă, în laborator.

Lianții puzzolanici naturali măcinați pînă la obținerea unei proporții a trecerilor prin sită de 0,08 mm de 81 % au fost folosiți pentru determinarea mecanismului de întărire a acestora.

Măcinarea rocilor piroclastice în laborator a fost efectuată cu un mojar electric, cu ajutorul căruia s-a putut evidenția rezistența la măcinare a acestora (fig.2.12). S-a constatat că rezistența la măcinare crește o dată cu micșorarea dimensiunii granulelor din mojar. Astfel, obținerea unui procent al trecerilor prin sita de 0,08 mm de 25...30 % se face după 15...22 min., în timp ce pentru a mojara întregul material pentru a ajunge la 90...100 % treceri prin sită de 0,08 mm sînt necesare 80...100 min.

Studiile efectuate în țara noastră [79], [196] asupra tufurilor vulcanice evidențiază posibilitatea măcinării acestora pînă la o finețe corespunzătoare la 65...75 % treceri prin sita de 0,09 mm, cu ajutorul unor mori cu bile, în condiții tehnico-economice avantajoase.

Forma granulelor și natura suprafeței acestora pot exercita o influență însemnată asupra proprietăților lianților puzzolanici, determinînd variația suprafeței specifice (de ex. suprafața

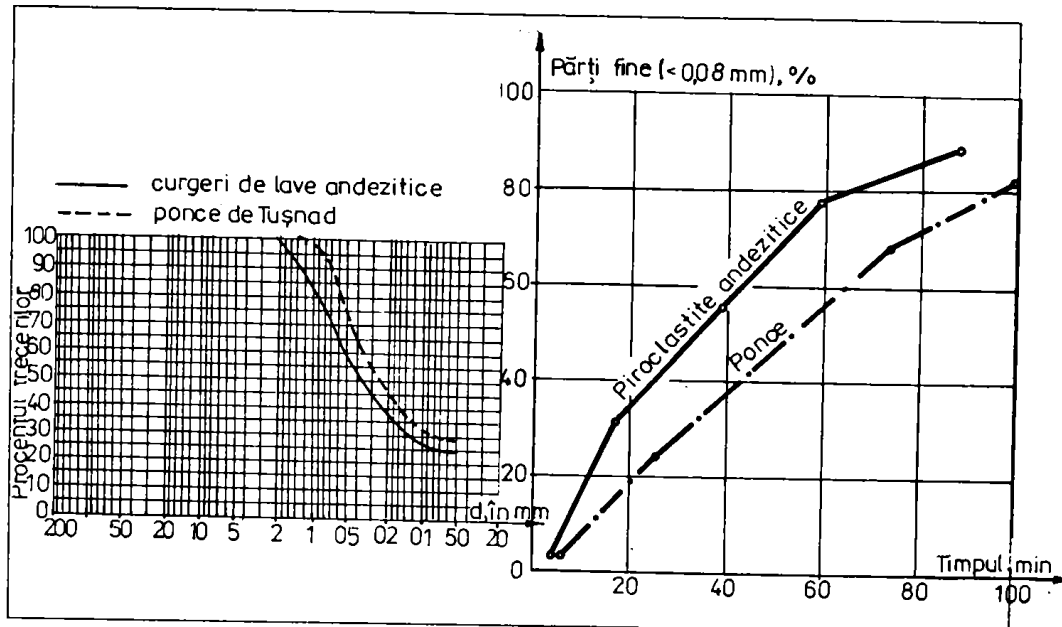


Fig. 2.11. Granulozitatea lianților puzzolani naturali utilizați. Fig. 2.12. Rezistența la măcinare a rocilor piroclastice studiate.

specifică a cenușilor de termocentrală este de 1 800...5 000  $\text{cm}^2/\text{g}$ ), a cantității de apă de amestecare pentru obținerea pastei de consistență normală, a unghiului de frecare interioară și a caracteristicilor de compactare.

Forma granulelor lianților puzzolani naturali obținuți prin măcinarea rocilor piroclastice este neregulată, cu colțurozitate pronunțată. Astfel, în fig. 2.13, sînt prezentate granulele de lavă andezitică măcinată, în vedere la microscopul biocular. Se poate aprecia că o astfel de formă a granulelor de liant puzzolanic contribuie la îmbunătățirea proprietăților de curgere ale acestuia la dozare.

#### 2.4.2. Determinarea proprietăților mecanice

Proprietățile mecanice ale lianților puzzolani sînt strîns legate de caracteristicile de compactare ( $w_{opt}$  și  $\rho_{dmax}$ ) ale acestora, care se determină de regulă prin încercarea Proctor modificat. Epruvetele destinate pentru obținerea proprietăților mecanice ale lianților puzzolani se obțin prin respectarea caracteristicilor de compactare.

Referitor la caracteristicile de compactare, literatura de specialitate [16],[55],[79], [138], [172], [173], [185] menționează



Fig.2.13. Forma granulelor lianților  
puzzolanici măcinați.

o variație însemnată a acestora funcție de granulozitatea, forma și natura suprafeței granulelor și, bineînțeles, de densitatea scheletului materialului respectiv. Astfel, pentru cenușile de termocentrală din țara noastră, caracteristicile de compactare variază de la  $\rho_{dmax} = 1\ 300 \dots 1\ 410\ \text{kg/m}^3$  și  $w_{opt} = 15 \dots 25\ \%$  (Proctor normal) pentru cenușile de la Mintia și Paroșeni (cenuși de huiță sau cărbune brun), la  $\rho_{dmax} = 1\ 050 \dots 1\ 150\ \text{kg/m}^3$  și  $w_{opt} = 33 \dots 44\ \%$  pentru cenușile de la Ișalnița și Rogojelu (cenuși de lignit) [121].

Caracteristicile de compactare (Proctor modificat) determinate în laborator pentru curgerile de lave andezitice și bazaltice măcinate (nisip fin 0-1, cu treceri prin sita de 0,09 mm de 28 %) sînt prezentate în tabelul 2.4, în comparație cu caracteristicile de compactare ale unor cenuși de termocentrală din țara noastră.

Strîns legate de caracteristicile de compactare, de care pot fi influențate substanțial, sînt caracteristicile mecanice: indicii de tăiere, compresibilitatea și, eventual, rezistența la compresiune și la întindere determinate pe epruvete prismatice. Aceste caracteristici completează observațiile efectuate privind influența proprietăților fizice asupra comportării materialelor pulverulente în timpul dozării.

Rezistența la forfecare este o variabilă dependentă de unghiul de frecare interioară ( $\phi$ ) și coeziunea ( $c$ ) ale materialului.

Lianții puzzolanici naturali sau artificiali sînt lipsiți de coeziune în stare uscată, astfel încît rezistența la forfecare se determină cu relația următoare:

$$\tau = \sigma \times \tan \varphi \quad [\text{daN/cm}^2] \quad (2.7)$$

În stare de pastă sau în stare compactată, lianții puzzolanici prezintă și mici forțe de coeziune ( $c < 0,5 \text{ daN/cm}^2$ ), care se datoresc capilarității [138]. Astfel, pentru o îndesare la caracteristicile de compactare Proctor modificat, cenușile de termocentrală au unghiuri de frecare interioară de 26...35 ° cu valorile mici pentru cenușile provenite din arderea cărbunilor bruni și huilei și cu cele mai mari pentru cenușile de lignit (tabelul 2.4).

Determinarea rezistenței la forfecare se efectuează în mod curent cu aparatul triaxial sau cu aparatul de forfecare cu casete [127], [131], [149].

În aceste condiții, stabilirea indicilor de tăiere pentru curgerile de lave andezitice și bazaltice s-a efectuat în laborator prin forfecare directă, pentru caracteristici de compactare Proctor modificat și sînt prezentate comparativ cu cei ai cenușilor de termocentrală în tabelul 2.4.

Compresibilitatea este caracterizată prin modulul de deformație edometric (M), care este dat prin raportul dintre variația efortului unitar de compresiune ( $\hat{\Delta}_p$ ), la care este supusă epruveta și variația corespunzătoare a tasării acesteia în condițiile împiedicării totale (prin endometru) a deformațiilor laterale. Prin trasarea curbei compresiune-porozitate se calculează coeficientul de compresibilitate.

Pentru cenușile de termocentrală din țara noastră, modulul de deformație edometric are valori de 300...450 daN/cm<sup>2</sup>, iar coeficientul de compresibilitate ( $a_v$ ) se situează în intervalul 0,04...0,06 cm<sup>2</sup>/daN [55], [138].

Modulul de deformație edometric și coeficientul de compresibilitate determinate pentru curgerile de lave andezitice și bazaltice măcinate și îndesate la caracteristicile de compactare Proctor modificat, nu diferă în mod esențial de cei ai cenușilor de termocentrală (tabelul 2.4).

Se constată că valorile modulului de deformație edometric al materialelor cercetate este apropiat de cel al nisipurilor, iar potrivit valorilor coeficientului de compresibilitate acesta se situează în categoria materialelor puțin compresibile.

În vederea completării studiului vizînd proprietățile de curgere ale materialelor pulverulente (vezi punctul 2.4.2) s-a avut în vedere că prin creșterea îndesării materialului și deci scăderea porozității acestuia, unghiul de frecare interioară crește și va fi cu atît mai mare cu cît particulele solide sînt mai mari, au o

formă alungită și plată și suprafața laterală mai rugoasă.

Tabelul 2.4.

Material	Caracteristici de compactare		Indici de tăiere		Compresibilitatea	
	$w_{opt}$ , în %	$\rho_{dmax}$ , în $kg/m^3$	$\phi$ , în °	$c$ , în $daN/cm^2$	$M$ , în $daN/cm^2$	$a_v$ , în $cm^2/daN$
Cenușă de șist bituminos	51,0*	805	36... 38**	0	167	-
Cenușă Rogojelu	44,0*	802	35**	0	320	-
Cenușă Mintia	22,5*	1170	31... 32**	0	533	-
Curgeri de lave andezitice	16,8	1828	39	0,15	418	0,016
Curgeri de lave bazaltice	15,0*	1883	40	0,22	441	0,012

\* Caracteristici determinate prin încercarea Proctor normal.

\*\* Caracteristici determinate cu aparatul triaxial.

În plus pentru analizarea proprietăților de cugere ale materialelor pulverulente a fost introdusă caracteristica: unghi de rupere interioară [140], [149], care este strâns legat de unghiul de frecare interioară. Unghiul de frecare interioară se determină cu aparatul triaxial pe probe neconsolidate nedrenate, pentru diverse porozități ale materialului, rezistența la forfecare a materialului fiind dată prin relația generală:

$$\tau = C_u + \sigma \times \tan \phi_u \quad [daN/cm^2] \quad (2.8)$$

unde:

$C_u$  și  $\phi$  sînt parametri de forfecare ai probei neconsolidată-nedrenată.

Unghiul de rupere interioară ( $\phi$ ) se determină pornind de la unghiul de frecare interioară cu următoarea relație:

$$\phi = k + \phi \quad [^\circ] \quad (2.9)$$

în care:

$\phi$  este unghiul de frecare interioară, în °;  
k - constantă a materialului.

In cazul lianților puzolanici naturali măcinați, studiați de autor, unghiul de frecare interioară s-a determinat pentru diferite porozități prin încercarea de forfecare directă. In aceste condiții, unghiul de rupere rezultă prin construcția cercului lui Mohr ( fig.2.14), [149].

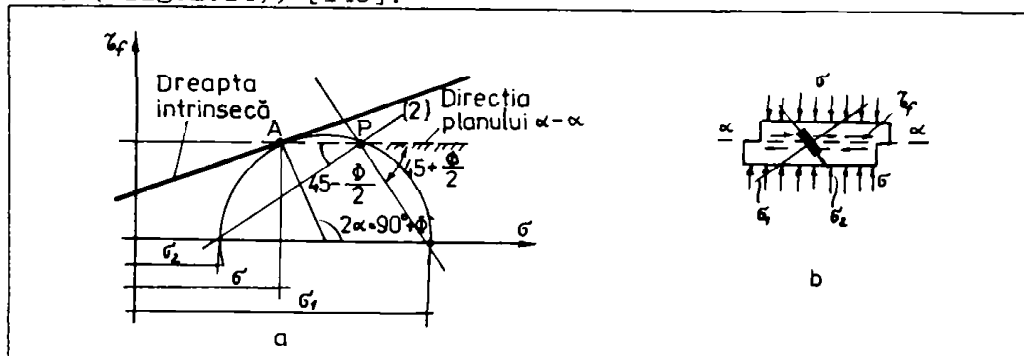


Fig.2.14. Starea de tensiune în planul de forfecare pentru încercarea de forfecare directă (a - cercul lui Mohr; b - epruveta și planul tensiunilor).

Se constată că în acest caz unghiul de rupere ( $\phi$ ) este dat, după teoria lui Rankine, de relația următoare:

$$\phi = 45^\circ + \frac{\phi}{2} \quad [^\circ] \quad (2.10)$$

în care:

$\phi$  este unghiul de frecare interioară, în  $^\circ$ .

Literatura de specialitate [140] precizează că pentru unghiuri de rupere mai mici de  $30^\circ$  materialul se comportă ca un lichid, iar pentru unghiuri de rupere mai mari de  $60^\circ$  comportarea acestuia se apropie de cea a unui fluid foarte viscos, devenind colmatant.

În tabelul 2.5 sînt prezentate valorile unghiurilor de frecare interioară determinate prin forfecare directă pentru curgerile de lave andezitice și bazaltice cu diferite porozități (unghiul de rupere s-a dedus cu relația 2.10).

Se constată că unghiul de frecare interioară pentru un material pulverulent obținut prin măcinarea unor roci nu depinde de natura rocii, ci numai de gradul de indesare la care se află în timpul determinării.

În aceste condiții, variația unghiului de rupere, pornind de la unghiul taluzului natural din stare afinată, pentru unele materiale din tabelul 2.3 este prezentată în figura 2.15.

Tabelu 2.5.

Material	Unghiul de frecare interioră în stare:			Unghiul de rupere în stare:	
	afînată	îndesată prin vibrare	îndesat prin vibrare + compactare	îndesată prin vibrare	îndesată prin vibrare + compactare
Curgeri de lave andezitice	28	34	38	62	64
Curgeri de lave bazaltice	28	35	38	62	64

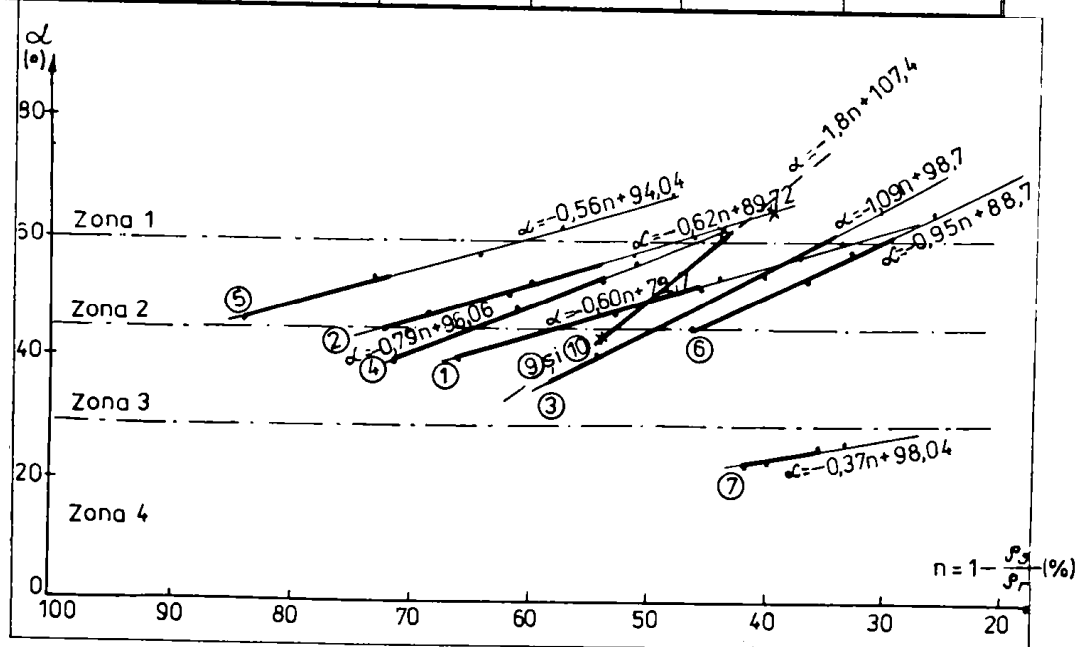


Fig.2.15. Variația unghiului de rupere funcție de porozitatea materialului.

Pentru lianții puzzolanici naturali măcinați (materialele 9 și 10 din fig.2.15) se constată o degradare mai accentuată a proprietăților de curgere decât pentru alte materiale pulverulente utilizate în tehnica rutieră, o dată cu creșterea îndesării acestora.



Se poate totuși aprecia că pentru condiții normale de manipulare lianții puzzolanici naturali pot fi dozați în mod corespunzător fără intervenții suplimentare la nivelul silozului de stocare.

În mod curent, se poate accepta următoarea clasificare a materialelor pulverulente, funcție de unghiul de rupere determinat pentru diferite porozități (fig.2.15):

- zona 1: zonă de hiperstabilitate (materiale colmatante), pentru unghiuri mai mari de 60 °;
- zona 2: zona de stabilitate (materiale semicolmatante), pentru unghiuri de 45...60 °;
- zona 3: zonă de instabilitate (materiale semicurgătoare), pentru unghiuri de 35...45 °;
- zona 4: zonă de hiperinstabilitate (materiale curgătoare) pentru unghiuri mai mici de 30 °.

În aceste condiții se poate afirma că în general toate materialele pulverulente utilizate în tehnica rutieră au, în stare uscată, o comportare corespunzătoare la manipulare și dozare. Excepțiile apar în condițiile micșorării importante a porozității în silozuri, fie la manipulare, fie sub greutate proprie la o păstrare îndelungată, cazuri în care materialele pulverulente, inclusiv lianții puzzolanici naturali, devin colmatante.

În concluzie, o clasificare sintetică a materialelor pulverulente utilizate în tehnica rutieră, din punctul de vedere al comportării la dozare, trebuie să ia în considerare următoarele caracteristici fizico-mecanice:

- unghiul taluzului  $\phi$  (natural și de rupere pentru diferite porozități);
- densitatea scheletului;
- densitatea în grămadă în stare afinată;
- densitatea în vrac în stare îndesată prin vibrare și prin compactare cu maiul.

Aceste caracteristici permit calcularea capacității de compresibilitate și trasarea curbelor  $\phi = f(n)$  ale materialelor. Cele două caracteristici pot defini în final aptitudinile de curgere ale materialelor pulverulente prin încadrarea acestora în zonele de comportare sus-menționate (fig.2.16).

Prin studierea caracteristicilor fizico-mecanice ale piroclastitelor măcinate s-a ajuns la concluzia că acestea nu diferă semnificativ de cele ale lianților puzzolanici artificiali (de exemplu: cenușile de termocentrală), fapt care le recomandă ca posibili lianți puzzolanici.

#### 2.4.3. Determinarea compoziției chimice

Compoziția chimică are un rol important, chiar hotărâtor, în declanșarea și susținerea reacției de hidratare a lianților puzzolanici naturali. Desigur importanță însemnată are prezența în compoziția chimică, în cantități cât mai însemnate a oxidului de

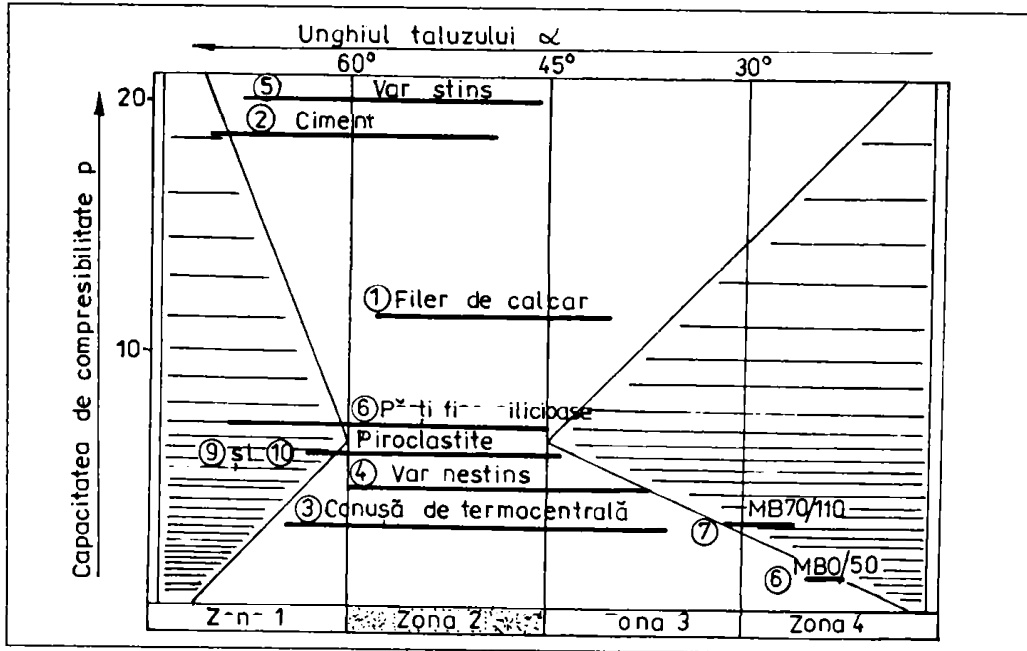


Fig.2.16. Clasificarea sintetică a unor materiale pulverulente din punctul de vedere al comportării la dozare.

calciu ( $\text{CaO}$ ), dar nu trebuie neglijat faptul că bioxidul de siliciu ( $\text{SiO}_2$ ) și trioxidul de aluminiu ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) au rolul lor în cadrul reacției puzzolanice prin participarea la formarea silicaților și aluminatilor de calciu hidratați [15], [16], [66], [69], [71].

În acest context, se consideră că un material silico-aluminos (cenuși silico-aluminoase și alumino-silicioase, lianți puzzolanici naturali etc.) poate susține o reacție de hidratare dacă principalii săi compuși chimici respectă condiția:

$$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70 \% \quad (2.11)$$

Compoziția chimică a unor lianți puzzolanici artificiali utilizați curent în tehnica rutieră din unele țări europene și din țara noastră este prezentată în tabelul 2.6 [1], [26], [55], [138], [172], [173], [196].

Pentru lianții puzzolanici artificiali frecvent utilizați în tehnica rutieră sînt definite în diagrama ternară  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  (fig. 1.5) trei zone cu următoarele caracteristici:

- compoziția chimică a cenușilor de termocentrală calcice și sulfocalcice este determinată de prezența unor cantități importante

de CaO și SiO<sub>2</sub>, cenușile respective situându-se în diagramă în apropierea cimenturilor Portland;

- zgurile granulate de furnal înalt au în principal aceiași compuși principali, situându-se în diagramă în apropierea cenușilor sulfo-calcice;

- cenușile de termocentrală silico-aluminoase și alumino-silicioase au o compoziție chimică diferită semnificativ de a primelor două tipuri de lianți puzzolanici. Acestea se caracterizează printr-un conținut ridicat de SiO<sub>2</sub> și Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, conținutul de oxid de calciu atingând foarte rar 10 % .

Trebuie remarcat faptul că deși sînt mult mai avantajoase din punctul de vedere al reacțiilor puzzolanice datorită conținutului ridicat de CaO, cenușile de termocentrală calcice și sulfo-calcice se produc în cantități mult mai reduse decît cenușile silico-aluminoase. Astfel, în Franța [1] din 34 termocentrale doar două produc cenuși sulfo-calcice (circa 22 % din producția totală).

În general, prin arderea huilei se obțin cenuși silico-aluminoase sau alumino-silicioase, iar prin arderea lignitului se obțin cenuși sulfocalcice. În condițiile țării noastre, indiferent de cărbunele ars, cenușile rezultate sînt silico-aluminoase (tabelul 2.6). Se remarcă totuși un conținut de CaO mai ridicat cu 3...5 % în cazul cenușilor de lignit decît pentru cenușile provenite din arderea huilei.

Zgurile granulate rezultate în țara noastră au aproximativ aceeași compoziție chimică ca și a celor produse în alte țări, iar conținutul ridicat de CaO le conferă proprietăți de liant puzzolanic cu activitate hidraulică ridicată în prezența unui activator.

Compoziția chimică a rocilor studiate de autor a fost determinată prin metoda gravimetrică, în colaborare cu Institutul de Cercetări și Proiectări pentru Substanțe Minerale Nemetalicifere (I.C.S.M.N.) Cluj-Napoca și este prezentată în tabelul 2.7.

Pentru comparație în tabelul 2.7 este prezentat și chimismul tafurilor vulcanice din țara noastră, care au fost experimentate ca lianți puzzolanici în tehnica rutieră [25], [79], [196]. De asemenea, este reținută compoziția chimică a puzzolanelor naturale și a bazaltelor studiate ca lianți puzzolanici în Franța [107], [110].

Se constată că rocile studiate de către autor au o compoziție chimică foarte apropiată de a altor lianți puzzolanici naturali, experimentați deja în tehnica rutieră. În același timp, compoziția chimică a acestor materiale nu diferă semnificativ de cea a cenușilor de termocentrală silico-aluminoase (tabelul 2.6), care sînt utilizate curent pentru stabilizarea agregatelor naturale în unele straturi rutiere.

Se poate presupune că materialul rezultat prin măcinarea fină a acestor roci vulcano-sedimentare se poate constitui într-un liant puzzolanic cu posibilități de utilizare eficiente în tehnica rutieră, în zonele de proveniență.

Tabelul 2.6.

Nr. crt	Compuși oxidici Material	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P.C.
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Cenușă Gardanne, sulfocalcică (Franța)	19,9	5,0	5,6	54,2	1,0	-	-	8,3	0,4
2.	Cenuși silico-aluminoase (Franța)	41,9... 57,9	21,0... 34,4	6,0... 15,8	2,4... 40,7	1,2... 4,1	0,4... 0,8	2,0... 4,5	0,5... 2,1	1,4... 8,5
3.	Cenuși sulfocalcice (C.S.I.)	30,8... 36,7	7,6... 9,9	4,4... 4,9	30,3... 44,6	2,6... 4,3	-	-	3,5... 10,4	0,4... 2,2
4.	Cenușă Mintia (de huiță)	46,0	24,5	12,4	6,7	2,4	0,9	2,0	1,0	-
5.	Cenușă Paroșeni (de huiță)	50,4	25,5	10,6	5,6	4,7	-	-	1,3	-
6.	Cenușă Ișalnița (de lignit)	48,0	23,0	8,1	9,6	3,1	0,4	1,6	-	-
7.	Cenușă Rogojelu (de lignit)	41,6	23,3	8,8	8,1	2,6	-	-	5,6	-
8.	Zgură granulată Hunedoara	35,8	10,1	0,2	48,6	5,1	-	-	-	-
9.	Zguri granulate în Franța	32,7... 35,6	9,8... 14,7	-	42,5... 44,6	4,8... 8,4	-	-	-	-
10.	Zguri granulate CSI	36,8... 37,0	6,1... 10,4	-	40,6... 49,1	4,6... 7,1	-	-	-	-

Tabelul 2.7.

Nr. crt	Compuși oxidici Material	SiO <sub>2</sub> în %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> în %	FeO în %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> în %	CaO în %	MgO în %	Na <sub>2</sub> O în %	K <sub>2</sub> O în %	TiO <sub>2</sub> în %
1.	Tufuri riolitice și riocacitice	35,0... 69,1	9,7... 12,1	-	2,3... 3,4	1,8... 5,2	0,9... 1,7	2,4... 2,8	2,0... 2,8	-
2.	Tufuri dacitice cu zeoliți	65,2... 65,8	12,7... 13,6	-	2,2... 3,2	1,6... 1,9	1,2... 1,3	2,4... 2,5	2,2... 2,3	-
3.	Tufuri dacitice fără zeoliți	65,2... 65,8	12,7... 13,6	-	2,2... 3,2	1,6... 1,9	1,2... 1,3	2,4... 2,5	2,2... 2,3	-
4.	Tufuri andezitice	53,8	16,8	-	7,3	7,9	4,2	2,4	0,8	-
5.	Puzzolane naturale (Franța)	40... 54	12... 19	0,1... 2,6	7... 16	5... 12	2,4... 14,0	2,8... 6,1	1,0... 3,2	1,6... 2,9
6.	Bazalte (Franța)	39... 50	11... 21	2,0... 8,5	1,8... 9,5	3... 13	5,2... 14,0	1,5... 4,3	0,6... 2,4	2,2... 4,8
7.	Curgeri de lave andezitice	54,9	17,9	1,8	5,5	6,9	2,2	3,6	1,3	0,2
8.	Curgeri de lave bazaltice	56,8	16,2	5,6	4,4	9,0	3,5	2,8	0,7	0,2
9.	Piroclastite de Miniș	55,4	18,2	2,1	4,3	7,3	2,5	2,3	1,1	-
10.	Ponce de Tușnad	66,1	14,8	1,0	1,8	6,5	1,1	4,8	1,9	0,3

#### 2.4.4. Determinarea compoziției mineralogice

Determinarea compoziției mineralogice a rocilor studiate s-a efectuat în laboratorul Catedrei de drumuri și fundații din Timișoara prin difractometrie cu raze X și prin analizarea unor secțiuni subțiri din materialele respective prin microscopie optică. În ceea ce privește compoziția mineralogică a tufurilor vulcanice studiate în țara noastră ca lianți puzzolanici se poate reține faptul că aceasta este alcătuită dintr-o masă fundamentală formată din sticlă în dimensiuni de 0...2 μm și cu o textură în general poroasă sau vaculară, mai rar compactă, fiind puternic coezivă sau friabilă, după gradul de cimentare sau fisurare [36]. Compoziția mineralogică a tufurilor vulcanice din țara noastră extrem de variată, este prezentată în tabelul 2.8.

Tabelul 2.8.

Component	Tufuri vulcanice			
	riolitice și riodacitice	dacitice		andezitice
		cu zeoliți	fără zeoliți	
Pastă vitro- fircă (stic- cloasă) în %	70...93	-	85...98	-
Pastă zeoli- zată, în %	-	70...85	-	-
Pastă ande- zitică, în %	-	-	-	cca.20
Feldspați, în %	1...10	1...25	1...4	50...55
Cuart, în %	1...10	1...20	1...10	5...10
Calcit, dolomit, în %	1...10	3...15	-	5...10
Minerale accesorii, în %	1...4	1...3	1...3	2...3

Procentul ridicat de masă fundamentală este favorabil declanșării și susținerii reacției puzzolanice (vezi punctul 1). Cu toate acestea, literatura de specialitate [107], [70], [110] menționează pentru puzzolanele naturale utilizate în Franța un conținut de fază vitroasă de 5...26 %, iar pentru cele utilizate în Italia un conținut de fază vitroasă de 51...63 %, fără a scoate în evidență neajunsuri importante legate de declanșarea reacției de hidratare, datorită procentului redus de fază amorfă din material.

Referitor la compoziția mineralogică a rocilor studiate de autor se remarcă următoarele aspecte:

- curgerile de lave andezitice (anexa 3 și fig.2.17) au o compoziție mineralogică formată din: pastă andezitică alcătuită din microлите feldspați și piroxeni, în amestec intim cu materialul piroclastic (55...%). În această pastă se observă cristale mari de feldspați (20...25 %), piroxeni (10...15 %) și subordonat minerale opace și accesori (1...3 %);

- curgerile de lave bazaltice (anexa 4 și fig.2.18) sunt formate dintr-o masă fundamentală feldspatică în care apar mici cristale de piroxeni și amfiboli neidentificați. Sub formă de fenocristale în masa fundamentală sunt prezente următoarele minerale: feldspați plagioclazi, în mare parte argilizați, piroxeni, biotit, cuarț și minerale accesorii;

- poncele (anexa 5 și fig.2.19) se caracterizează printr-o masă fundamentală vitrofirică (70...80 %) foarte omogenă, alcătuită din fragmente de feldspați plagioclazi acizi și sticlă vulcanică cu început de desilicifiere. Apar sub formă de cristale bine conturate, fragmente de sticlă vulcanică nealterată. În masa vitrofirică sunt prezente cristale de piroxeni, sporadic minerale accesorii și opace;

- piroclastitele de Miniș (anexa 6 și fig.2.20) sunt alcătuite dintr-o pastă andezitică formată preponderent din feldspați plagioclazi, amfiboli și/sau piroxeni. Apar fenocristale de feldspat plagioclaz și la unele varietăți de piroclastite este prezentă sticla individualizată în formă pizolitică (fragmente vitrofirice).



Fig.2.17. Secțiune subțire din curgeri de lave andezitice.

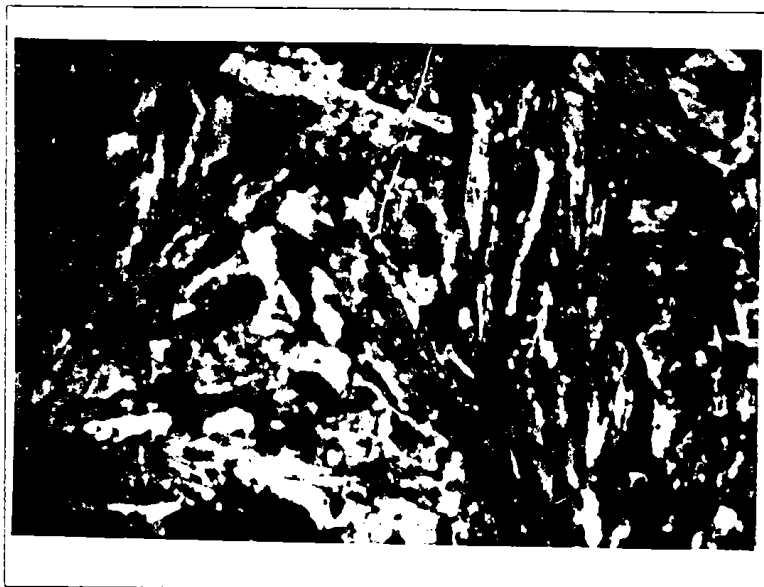


Fig.2.18. Secțiune subțire din curgeri de lave bazaltice.

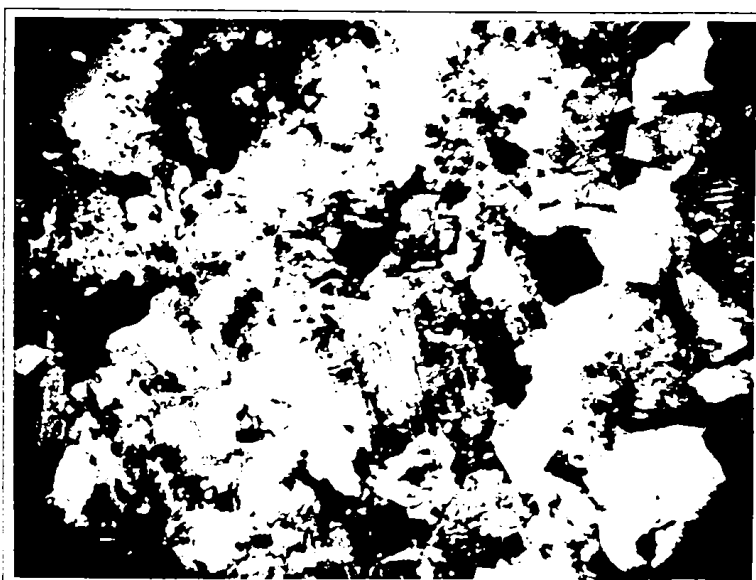


Fig.2.19. Secțiune subțire din ponce.



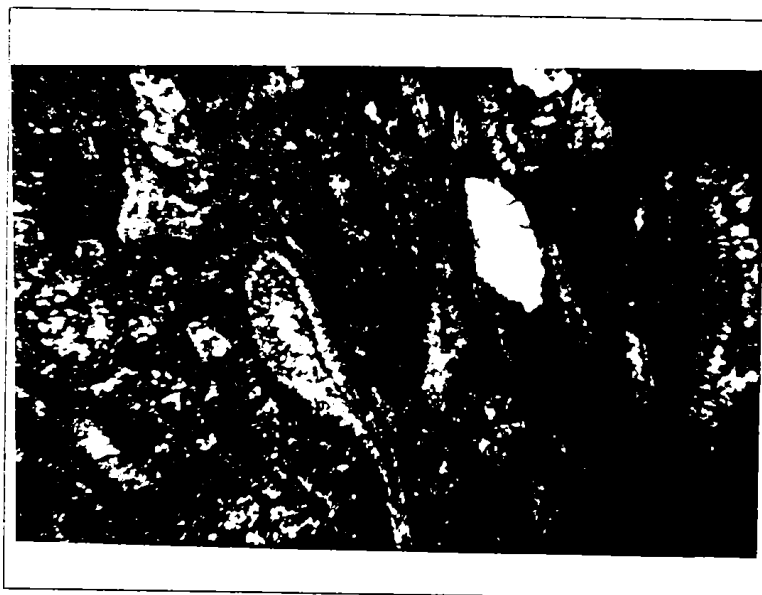


Fig.2.20. Secțiune subțire din  
piroclastitele de Miniș.

În urma cercetărilor efectuate s-a constatat că din punct de vedere mineralogic nu sînt sesizabile deosebiri fundamentale între rocile piroclastice studiate și rocile de bază din care acestea provin. De asemenea, de fiecare dată s-a evidențiat prezența unei mase fundamentale (de regulă feldspatică) în care sînt prinse mineralele componente. Această pastă fundamentală se găsește în rocile piroclastice în proporție de minimum 50 %, fapt care conduce spre certitudine presupunerea făcută la început, potrivit căreia aceste materiale se pot constitui în lianți puzzolanici naturali.

Prin analizarea globală a caracteristicilor fizico-mecanice, chimice și mineralogice a rocilor piroclastice studiate se conturează concluzia că în urma măcinării lor fine rezultă un material cu proprietăți puzzolanice ridicate.

Pentru evidențierea proprietăților puzzolanice ale acestor roci fin măcinate s-a procedat la studierea activității lor hidraulice prin încercări de laborator.

## 2.5. Determinarea activității puzzolanice

Cunoașterea proprietăților hidraulice ale lianților puzzolanici, în prealabil utilizării, prezintă un interes major pentru stabilirea proceselor optime de activare, care să asigure formarea unei structuri de rezistență și durabilitate produsilor, compatibile cu domeniile de utilizare și cu exigențele generale de

solicitare și exploatare. Pentru rezolvarea acestei probleme se procedează, de regulă, la determinarea în laborator a activității puzzolanice a liantului considerat.

În funcție de principiul care stă la baza determinării activității puzzolanice, metodele folosite se pot clasifica astfel [97], [170], [121], [182]:

- metode unitare, care exprimă activitatea puzzolanică pe baza unui singur test, acesta putînd fi:

. mecanic (metodele: Ferarii, Feret, ASTM, a indicelui de activitate etc.);

. fizic (metodele: GOST-63, electroconductometrică etc.);

. chimic (metodele: ASTM, Baire, Chapelle, Steopoe, italiană etc.);

- metode combinate care exprimă activitatea puzzolanică a unui material cel puțin pe baza a două teste (metode: fizico-chimice, fizico-mecanice, mecano-chimice, fizico-mecano-chimice).

Avînd în vedere specificul laboratoarelor de drumuri, autorul a ales pentru determinarea activității puzzolanice pentru rocile piroclastice măcinate studiate două metode mecanice (metoda indicelui de activitate și metoda ASTM [121], [182]) și a urmărit posibilitatea implementării în laborator a unei metode mecano-chimice pusă la punct și devenită operațională în cadrul Centrului de Cercetări Rutiere din Bruxelles [192].

### 2.5.1. Metoda indicelui de activitate puzzolanică

Metoda indicelui de activitate puzzolanică este simplă, la îndemîna oricărui laborator de specialitate și se bazează pe determinarea unui indice de activitate (Iap) cu următoarea relație:

$$Iap = \frac{A - B}{B} \quad [-] \quad (2.12)$$

în care:

A este rezistența la compresiune la 7 zile (28 zile) determinată pe epruvete cilindrice preparate din liant puzzolanic în proporție de 90 % și ciment sau var 10 %;

B - rezistența la compresiune la 7 zile (28 zile) determinată pe epruvete cilindrice preparate din parte inertă în proporție de 90 % și ciment sau var 10 % .

Amestecurile se vor omogeniza la umiditatea optimă de compactare Proctor modificat și epruvetele se vor prepara prin presare cu ajutorul unei prese hidraulice.

În funcție de valoare indicelui de activitate ( $I_{ap}$ ), materialele cu proprietăți puzzolanice se clasifică astfel:

- nepuzzolanice, pentru  $I_{ap} < 0$ ;
- slab puzzolanice, dacă  $I_{ap} = 0 \dots 0,5$ ;
- mediu puzzolanice, dacă  $I_{ap} = 0,5 \dots 1,0$ ;
- puzzolanice, dacă  $I_{ap} = 1,0 \dots 1,5$ ;
- foarte puzzolanice, pentru  $I_{ap} > 1,5$ .

Caracteristicile de compactare Proctor modificat pentru probele preparate cu 90 % roci piroclastice măcinate și 10 % ciment au fost:  $\rho_{dmax} = 1\ 870 \dots 1\ 915\ \text{kg/m}^3$  și  $w_{opt} = 13,5 \dots 15,0\ %$ , iar pentru probele preparate din nisip 90 % și ciment 10 % au fost:  $\rho_{dmax} = 1\ 985 \dots 2\ 060\ \text{kg/m}^3$  și  $w_{opt} = 11,0 \dots 12,0\ %$ .

Rezultatele obținute în laborator pentru indicele de activitate al rocilor piroclastice măcinate studiate sînt prezentate în tabelul 2.9.

Tabelul 2.9.

Liant puzzo- lanic	Curgeri de lave andezitice		Curgeri de lave bazaltice		Ponce		Piroclas- tite andezitice	
	7 zile	28 zile	7 zile	28 zile	7 zile	28 zile	7 zi- le	28 zi- le
Caracte- ristici								
A, în $\text{N/mm}^2$	6,1	10,7	5,9	9,5	6,6	11,3	6,2	10,9
B, în $\text{N/mm}^2$	2,2	3,9	2,2	3,9	2,2	3,9	2,2	3,9
$I_{ap}$	1,8	1,7	1,7	1,4	2,0	2,1	1,8	1,8

Valorile obținute pentru indicele de activitate puzzolanică al lianților naturali studiați încadrează acești produși în categoria materialelor cu o activitate hidraulică ridicată. În timp ce rocile piroclastice andezitice și bazaltice studiate conduc la aproximativ aceleași valori ale indicelui de activitate, poncele de Tușnad, cu o proporție însemnată de masă fundamentală în compoziția mineralogică, atestă o activitate hidraulică mai ridicată în prezența unui activator.

#### 2.5.2. Metoda ASTM

Metoda ASTM constă în determinarea rezistențelor la compresiune pe mortare preparate dintr-un amestec compus din 1 parte  $\text{Ca(OH)}_2$ , 2 părți liant puzzolanic și 3 părți nisip.

Cantitatea de apă introdusă în amestec este astfel stabilită încît să se asigure o consistență plastică avînd răspîndirea de 105...115 mm.

Mortarul se compactează în cilindri cu  $d = 5$  cm și  $h = 10$  cm și se păstrează 24 h la  $23$  °C și 6 zile la  $55$  °C, după care se încearcă la compresiune.

Rocile piroclastice au fost măcinate astfel încât trecerile prin sita de  $0,09$  mm să reprezinte  $66...72$  % din masa liantului puzzolanic. Pentru această finete de măcinare și condițiile de încercare sus-menționate rezultatele obținute în laborator sînt prezentate în tabelul 2.10.

Tabelul 2.10.

Material Caracteristică	Curgeri de lave andezitice	Curgeri de lave bazaltice	Ponce de Tușnad	Piroclastite de Miniș
Rezistența la compresiune la 7 zile (ASTM), în N/mm <sup>2</sup>	5,7	6,1	6,4	6,0

În conformitate cu precizările literaturii de specialitate [182] care menționează că valoarea minimă a rezistenței la compresiune la 7 zile în condiții de păstrare ASTM, pentru un liant puzzolanic, este de  $5,5$  N/mm<sup>2</sup>, se poate concluziona că materialele studiate au caracteristici puzzolanice ridicate. Poncele sînt cele care au și în acest caz activitatea hidraulică cea mai ridicată.

### 2.5.3. Metoda Centrului de Cercetări Rutiere din Bruxelles

Metoda Centrului de Cercetări Rutiere (C.C.R.) din Bruxelles este o metodă combinată (mecano-chimică), care presupune determinarea următoarelor mărimi:

- creșterea rezistenței la compresiune ( $\Delta R_c$ ) și a rezistenței la întindere prin încercarea braziliană ( $\Delta R_t$ ), la 7 zile și 28 zile pe epruvete cilindrice păstrate la  $20$  și  $40$  °C (aspect mecano-chimic);
- reactivitatea puzzolanică a liantului testat, determinată prin cantitatea de oxid de calciu ( $CaO$ ) consumat, în procente față de masa materialului uscat (aspect chimic);
- eficiența puzzolanică ( $EP_z$ ) materializată prin raportul următor (aspect mecano-chimic):

$$EP_z = \frac{\text{activitatea puzzolanică}}{\text{reactivitatea puzzolanică}} = \frac{\Delta R_c \text{ sau } \Delta R_t}{CaO_{\text{cons.}}} \quad (2.13)$$

- eficiența puzzolanică relativă (EPzR) este dată de raportul dintre eficiența puzzolanică a materialului studiat și cea a hidroxidului de aluminiu, ales ca material puzzolanic de referință, care este  $0,28 \text{ N/mm}^2/\% \text{ CaO}$  pentru Rc și  $0,028 \text{ N/mm}^2/\% \text{ CaO}$  pentru Rt.

Prin trasarea graficului funcției  $EPzR = f(\text{CaOcons.})$  se pot primi informații referitoare la comportarea liantului puzzolanic la diferite vârste, influența temperaturii asupra creșterii rezistențelor mecanice, viteza de întărire etc.

Caracterizarea globală a activității hidraulice a unui liant puzzolanic se va stabili prin calcularea indicelui de calitate puzzolanică (ICPz), determinat cu relația următoare:

$$ICPz = EPzR \times \text{CaOcons.} \quad [-] \quad (2.14)$$

Determinarea indicelui de calitate puzzolanică se va efectua în patru situații distincte (Rc și Rt determinate la 20 și 40 °C), devenind astfel un mijloc ușor de comparație pentru diferiți lianți puzzolanici (așa cum la zgurile granulate se utilizează coeficientul de activitate  $\phi$ ).

Clasificarea lianților puzzolanici, funcție de indicele lor de calitate puzzolanică, se face prin încadrarea acestora în una din următoarele clase:

- clasa 0, ICPz = 0...3,6, materialul poate fi folosit așa cum este sau prin tratare cu var, ciment sau var-ghips în straturile rutiere (material nepuzzolanic, inert);

- clasa 1, ICPz = 3,60...7,15, material slab puzzolanic. Se poate utiliza mai repede ca agregat natural în straturile rutiere, decât ca liant puzzolanic;

- clasa 2 (ICPz = 7,15...10,70), clasa 3 (ICPz = 10,70...14,30), clasa 4 (ICPz = 14,30...17,90) și clasa 5 (ICPz peste 17,90), caracterizează în ordinea crescătoare a calității adevărații lianți puzzolanici care pot fi utilizați la stabilizarea agregatelor naturale în straturile rutiere.

De asemenea, reacția puzzolanică poate fi apreciată la diferite vârste prin cantitatea de oxid de calciu consumat, astfel:

- reacție foarte lentă,  $\text{CaOcons} < 0,50 \%$ ;
- reacție lentă,  $\text{CaOcons} = 0,50...1,0 \%$ ;
- reacție medie,  $\text{CaOcons} = 1,0...2,0 \%$ ;
- reacție rapidă,  $\text{CaOcons} = 2,0...3,0 \%$ ;
- reacție foarte rapidă,  $\text{CaOcons} \geq 3,0 \%$ .

#### 2.5.3.1. Descrierea metodei

Pentru efectuarea încercărilor s-au preparat epruvete cilindrice ( $d = 50,8 \text{ mm}$  și  $h = 101,6 \text{ mm}$ ), dintr-un amestec format din 12 părți nisip cuarțos (peste 98 %  $\text{SiO}_2$ ) care trece în totalitate prin sita de 2 mm și 0...4 % prin sita de 0,08 mm (nisip normalizat), 3 părți liant puzzolanic (sub 0.25 mm), o parte var

hidratat și 1,6 părți apă.

Epruvetele sînt compactate prin presare sub o forță de 30 kN, menținută 45...60 s și păstrate apoi în atmosferă umedă (umiditate minimă de 90 %), la temperatura de 20 și 40 °C, timp de 7 și 28 zile.

Epruvetele astfel păstrate se încearcă la 0;7 și 28 zile cu o presă hidraulică (viteza de înaintare a platanelor de 1,25 mm/min), determinîndu-se rezistențele mecanice ( $R_c$  cu relația 1.9 și  $R_t$  cu relația 1.10), la temperaturile de 20 și 40 °C.

După efectuarea încercărilor mecanice se rețin două epruvete din fiecare serie (cele care au condus la valorile extreme ale rezistențelor mecanice), care se mojarază și se supun analizelor chimice. Din aceste epruvete se prelevează 75 g material, care se mojarază pînă ce granulele sînt bine separate, după care se prelevează 11...12 g și se pun într-un vas de centrifugare din material plastic de 100 ml, conținînd 4,9...5,1 g zahăr rafinat. Se cîntărește proba cu o precizie de 0,01 g și se adaugă 50 ml apă decarbonată, după care se închide vasul.

Vasele conținînd fiecare cîte o probă se fixează într-un culbutor rotativ și se agită 25...30 min cu o viteză de 1 rot/s. Se deschid vasele și se spală ușor cu apă decarbonată, după care se echilibrează vasele și conținutul se centrifughează 15...20 min. Din fiecare vas se prelevează cu atenție, la maximum, soluția rezultată, cu ajutorul unei pipete absorbante de 100 ml și se transferă într-un vas de 250 ml care se închide.

În vasele inițiale se adaugă din nou 4,9...5,1 g zahăr și 50 ml apă decarbonată și se repetă operațiile de agitare, centrifugare și prelevare. A treia oară aceleași operații sînt repetate după introducerea în fiecare vas a 50 ml apă decarbonată.

În final soluția colectată în vasul de 250 ml este tratată cu o soluție de HCl 0,5 M, sub agitație magnetică, în prezența fenolftaleinei ca indicator, determinîndu-se volumul  $V_1$  (vezi relația 2.16). Se transferă apoi cantitativ soluția obținută într-un balon de 250 ml exact și se tratează cu apă demineralizată, după care se prelevează exact 100 ml soluție și se tratează cu complexon III 0,1 M, determinîndu-se volumul  $V_2$  (vezi relația 2.17).

Cantitatea rămasă din materialul majorat este utilizată pentru determinarea umidității fiecărei probe ( $w_p$ ) la începutul analizelor chimice, cu următoarea relație:

$$w_p = \frac{m_0 - m_1}{m_1} \times 100 \quad [\%] \quad (2.15)$$

în care:

$m_0$  este masa rămasă din eșantionul de 75 g după prelevarea probei necesare analizelor chimice, în g cu o precizie de 0,01 g;  
 $m_1$  - masa materialului după uscare la 110 °C pînă la masă constantă, în g cu o precizie de 0,01 g.

Conținutul de CaO liber în momentul efectuării încercării mecanice se poate determina prin două metode:

- metoda acidimetrică care permite stabilirea oxidului de calciu liber cu ajutorul relației următoare:

$$CaO_1(ac) = 1,401 \times V_1 \times \frac{(1 + \frac{w_p}{100})}{m_p} \quad [\%] \quad (2.16)$$

în care:

$CaO_1(ac)$  reprezintă cantitatea procentuală de CaO liber din material determinată cu metoda acidimetrică, în %;

$V_1$  - volumul de acid clorhidric 0,5 M utilizat pentru neutralizarea soluției zaharoase utilizată la omogenizarea și centrifugarea materialului, în ml, cu o precizie de 0,02...0,05 ml;

$m_p$  - masa materialului supus încercării, în g, cu o precizie de 0,01 g;

$w_p$  - umiditatea materialului la începutul încercărilor chimice, în %, cu o precizie de 0,1 %;

$$m_p / (1 + \frac{w_p}{100}) - \text{masa materialului uscat încercat chimic,}$$

în g;

- metoda complexometrică permite determinarea oxidului de calciu liber cu relația următoare:

$$CaO_1(c) = 1,401 \times V_2 \times \frac{(1 + \frac{w_p}{100})}{m_p} \quad [\%] \quad (2.17)$$

în care:

$CaO_1(c)$  reprezintă cantitatea procentuală de CaO liber din material determinată cu metoda complexometrică, în %;

$V_2$  - volumul de complexon III 0,1 M utilizat pentru titrarea complexometrică a 100 ml soluție zaharoasă, în ml, cu o precizie de 0,02...0,05 ml.

Pentru determinarea oxidului de calciu consumat ( $CaO_{cons}$ ) la o anumită vîrstă este necesar să se determine oxidul de calciu fixat ( $CaOf$ ). Această încercare se efectuează pe rezidul de extracție obținut anterior, care este tratat cu un tampon formic de 0,5 M - 0,5 M. Soluția rezultată este transferată în totalitate cu pipeta într-un balon de 250 ml din care se prelevează exact 100 ml

soluție, care se trece într-un vas de 400 ml în care se mai introduc sub agitație magnetică:

- 10 ml de trietanolamină (1:1);
- 200 ml apă demineralizată;
- se aduce pH la 12,0...12,5 cu o soluție de NaOH 4M;
- se adaugă o picătură de indicator "murexid", soluția devenind de culoare roșie;
- se titrează rapid cu complexon III 0,1M, determinându-se volumul  $V_3$ , cu o precizie de 0,02...0,05 ml (corespunzător trecerii din roșu în bleu-violet).

Cu relația 2.17, în care  $V_2$  devine  $V_3$  se determină conținutul de oxid de calciu fixat (CaOf).

Conținutul de oxid de calciu consumat (CaOcons) la o anumită vîrstă reprezintă diferența dintre cantitatea de oxid de calciu fixată la acea vîrstă și cea fixată la vîrsta inițială. În mod normal, pentru lianții puzzolanici, oxidul de calciu consumat crește o dată cu vîrsta, în timp ce oxidul de calciu liber se micșorează în acest timp. Reactivitatea specifică ( $R_s$ ) se consideră raportul dintre cantitatea de oxid de calciu consumat la o anumită vîrstă și cantitatea de liant puzzolanic din amestec:

$$R_s = \frac{\text{CaOcons}}{\text{liant puzzolanic în amestec (18,75 g)}} \quad [\text{g CaO/g}] \quad (2.19)$$

Pentru exemplificare în tabelul 2.11 sînt prezentate rezultatele obținute pentru o cenușă de termocentrală [192]. Reactivitatea lianților puzzolanici naturali dovedită prin determinarea activității puzzolanice este indicat să fie verificată și prin determinarea cineticii de întărire în prezența unui activator.

## 2.6. Mecanismul de întărire a lianților puzzolanici naturali proveniți din curgerile de lave andezitice

S-a arătat la pct.1.3.2.2 că principalii compuși care pot să apară în cadrul reacțiilor puzzolanice sînt, funcție de tipul și cantitatea de activant, silicatul de calciu hidratat, aluminatul de calciu hidratat hexagonal, gehlinitul hidratat și etringitul sau monosulfoaluminatul. De asemenea, s-a constatat că principalii produși hidratați care apar în cazul lianților silico-aluminoși în prezența unei cantități supradozate de var ca activator (de altfel cazul cel mai frecvent) sînt silicatul de calciu hidratat și aluminatul de calciu hidratat [66], [69], [97].

În principiu, reacțiile puzzolanice constau într-un atac alcalin, într-o soluție saturată de var, a mineralelor silico-aluminoase acide și în combinarea ionilor rezultați în urma acestui atac cu varul prezent în soluție.



Tabelul 2.11.

Temp. Vîrsta în zile Caract	20 °C		40 °C		Medie gene- rală	Conclu- zii	
	7	28	7	28			
CaOcons, în %	0,50	1,83	2,65	3,32	2,08	Reacție puzzola nică rapidă	
Reactivi- tate spe- cifică, în g CaO/g	0,027	0,098	0,141	0,177	-		
Com- pre- siu- ne	$\Delta R_c$ , în N/mm <sup>2</sup>	0,385	2,77	5,07	10,48	-	Cali- tate puzzo- lanică: bună ICPz= 2,08x 6,6= 13,7 Clasa:3
	Efici- ența puzzo- lanică în N/mm <sup>2</sup> / % CaOcon	0,77	1,51	1,91	3,16	-	
	Efici- ența puzzo- lanică rela- tivă	2,8	5,4	6,8	11,3	6,6	
În- tin- dere	$\Delta R_t$ , în N/mm <sup>2</sup>	0,049	0,318	0,583	0,958	-	Calita- te puzzo- lanică: bună
	Efi- cien- ța puzzo- lanică în N/mm <sup>2</sup> / %CaO cons	0,102	0,173	0,220	0,289	-	ICPz= 2,08x 7,0= 14,6
	Efi- cien- ța puzzo- lanică rela- tivă	3,6	6,2	7,9	10,3	7,0	Clasa:4

Evidențierea practică a acestor reacții puzzolanice se poate face de regulă în două moduri:

- urmărirea creșterii în timp a rezistențelor mecanice a unor

amestecuri bine stabilite, formate din liant puzzolanice-var-apă (marcarea reacțiilor puzzolanice din amestec se face mai mult intuitiv);

- stabilirea schimbărilor chimice care au avut loc în amestecuri bine stabilite, formate din liant puzzolanice-var-apă.

Cel mai indicat caz este urmărirea concomitentă, pe aceleași materiale, a proprietăților de hidratare a unui anumit liant puzzolanice și tragerea unor concluzii cumulate.

În plus, în cazul lianților puzzolanici naturali, mecanismul de hidratare poate fi evidențiat și prin analizarea transformărilor care au loc la nivelul feldspațiilor din roca de bază.

### 2.6.1. Aspectul mecanic al mecanismului de întărire

În cadrul aspectului mecanic se urmărește pe de o parte creșterea rezistențelor mecanice și a vitezei de creștere a acestora și, pe de altă parte, durata de timp în care se obțin rezistențele mecanice maxime și valoarea acestor caracteristici.

Astfel, literatura de specialitate [80], [96] prevede pentru puzzolanele franceze curbele caracteristice din fig. 2.21. funcție de variația rezistențelor lor mecanice în timp, în prezența varului.

Amestecul utilizat în acest caz este format din 80 % puzzolană măcinată fin, sort 0-1, 20 % var și 9 % apă, raportată la masa materialului.

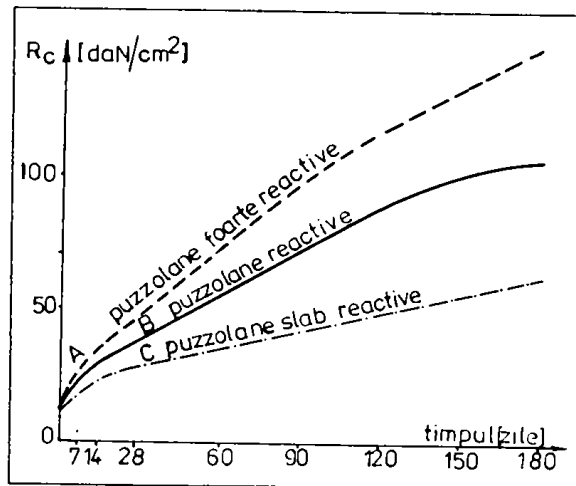


Fig.2.21. Curbele de evoluție a  $R_c$ , funcție de reactivitatea puzzolanelor.

În aceste condiții s-a stabilit următoarea clasificare a lianților puzzolanici naturali:

- puzzolane foarte reactive (fig.2.21, curba A), care ating la 180 zile rezistențe la compresiune de circa 150 daN/cm<sup>2</sup>;
- puzzolane reactive (fig.2.21, curba B), care ating la 180 zile rezistențe la compresiune de 100 daN/cm<sup>2</sup>;
- puzzolane slab reactive (fig.2.21, curba C), care nu ating la 180 zile rezistențe la compresiune de 100 daN/cm<sup>2</sup>.

În țara noastră, în cadrul unor experimentări efectuate pe tufurile vulcanice s-a folosit un dozaj format din 85 % liant puzzolanic măcinat (trecherile prin sita de 0,08 mm sînt 70,7 %), 15 % var și 7,5 % din amestecul puzzolană-var, apă [196].

Tinînd cont de aceste considerente, autorul a procedat la prepararea în laborator a unui amestec format din 85 % liant puzzolanic provenit din măcinarea fină (81 % treceri prin sita de 0,08 mm) a curgerilor de lave andezitice, 15 % var și 9,0 % apă din masa materialului. Cu acestea au fost preparate prin presare epruvete cilindrice cu diametrul de 2,8 cm și înălțimea de 5,5 cm, care au fost păstrate în atmosfera umedă la o temperatură de 17...22 °C. Rezistențele la compresiune obținute la diferite vîrste sînt prezentate în tabelul 2.12.

Tabelul 2.12.

Caracteristica	Vîrsta, în zile					
	14	28	40	60	90	180
Rezistența la compresiune, în daN/cm <sup>2</sup>	29,7	40,6	65,4	77,3	90,8	138,8

Se constată că pentru un conținut mai redus de activator (15 %, față de 20 %) și pentru un conținut superior de părți fine (81 %, față de 12...15 %), rezultatele obținute de autor se situează în apropierea curbei A din fig.2.21, fapt care conduce la concluzia că liantul puzzolanic măcinat are o reactivitate foarte ridicată.

În acest context, se poate afirma cu certitudine că în interiorul amestecului puzzolană-var-apă au loc anumite reacții care conduc la întărire și acestea nu pot fi altele decît reacțiile puzzolanice.

Pentru completarea acestor observații este necesară urmărirea transformărilor chimice care au loc în cadrul aceluiași amestec, în special în ceea ce privește conținutul de CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> și H<sub>2</sub>O legată, la diferite intervale de timp de la preparare.

### 2.6.2. Aspectul chimic al mecanismului de întărire

Analizele chimice efectuate asupra amestecurilor preparate din liant puzzolanic natural-var-apă urmăresc în principal schimbările care se produc în cadrul următorilor compuși [80], [196]:

- cantitatea de oxid de calciu consumat, care reprezintă diferența dintre CaO liber inițial și CaO liber după anumite perioade de timp;

- procentele de alumină și silice solubile în acid clorhidric diluat 1/50, la rece, sub agitație magnetică timp de 30 minute. În aceste condiții, silicatul de calciu hidratat și aluminatul de calciu hidratat formate prin reacția puzzolanică sînt solubilizați, în timp ce materialul puzzolanic original rămîne neafectat.

Concluziile trase în urma analizelor efectuate asupra puzzolanelor franceze [80], sînt următoarele:

- reacția puzzolanică are o intensitate puternică în primele 28 zile, după care se desfășoară lent, o perioadă de minimum 180 zile, afirmație justificată de consumul de CaO, SiO<sub>2</sub> și Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (fig.2.22);

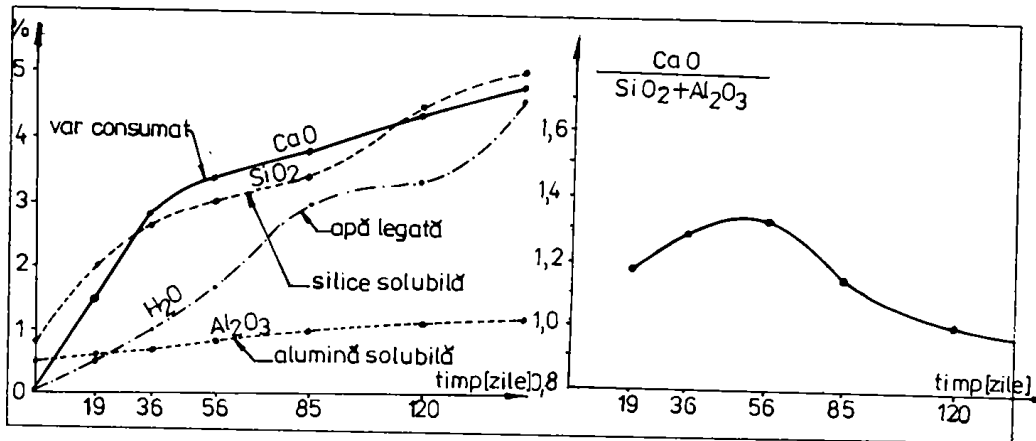


Fig.2.22.Evoluția compuşilor în pasta puzzolană-var, funcție de timp.

Fig.2.23. Evoluția raportului  $\text{CaO}/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$  funcție de timp.

- cantitatea de silice solubilă are o creștere în timp mai mare decât cantitatea de trioxid de aluminiu solubil (fig.2.22), rezultând că principalul produs de hidratare este silicatul de calciu hidratat;

- raportul  $\text{CaO}/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$  variază de la circa 1,3 la începutul reacției la 1,0 la 93 zile, scăzând sub această valoare apoi. Acest lucru arată că hidratații formați tind să fie din ce în ce mai puțin bazici (fig.2.23).

Autorul, pentru scoaterea în evidență a transformărilor chimice care au loc în amestecul format din 85 % puzzolană, 15 % var și 9,0 % apă a colaborat cu unitatea Prospectiuni - S.A. București, care a asigurat efectuarea analizelor chimice totale la anumite intervale de timp de la preparare.

Interpretarea rezultatelor obținute în urma acestor cercetări este redată în tabelul 2.13.

Tabelul 2.13.

Compuși chimici	Vîrsta, în zile					
	0	14	28	60	90	180
CaO consumat	-	2,86	3,38	3,42	3,50	3,88
SiO <sub>2</sub> solubil	1,60	5,75	6,14	6,82	7,08	7,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,83	1,55	1,74	1,86	1,98	2,05

Se constată că pentru liantul puzzolanic provenit prin măcinarea fină a curgerilor de lave andezitice activat cu var, concluziile menționate anterior pentru puzzolanele naturale franceze rămân valabile. Reacția puzzolanică se desfășoară rapid în prima perioadă (pînă la 28 zile), continuînd apoi cu o viteză mai

lentă. De asemenea, principalul compus hidratat format este silicatul de calciu, în detrimentul aluminatului de calciu, care se va găsi în amestec în cantități mult mai reduse.

Încercările mecanice și chimice efectuate de autor pe un amestec de puzzolană naturală-var-apă, demonstrează clar proprietățile de hidratare ale unor astfel de lianți în prezența unui activator și deci posibilitățile de utilizare a lianților puzzolanici naturali prezenți în studiu pentru tratarea unor agregate naturale pentru executarea de straturi rutiere.

### 2.6.3. Aspectul mineralogic al mecanismului de întărire a lianților puzzolanici naturali

Aspectul mineralogic al reacției de întărire a lianților puzzolanici naturali este legat de modificările produse în timp la nivelul feldspațiilor [66].

Feldspații, care după cum s-a văzut (vezi pct.2.4.4) sînt constituenții principali ai puzzolanelor naturale, aparțin clasei tectosilicaților. Structura lor cristalină rezultă dintr-o aranjare a tetraedrilor  $\text{Si}^{4+} (\text{O}^{2-})_4$  și  $\text{Al}^{3+} (\text{O}^{2-})_4$  în care fiecare oxigen este comun la doi tetraedri. Deci, în realitate, la orice ion  $\text{Si}^{4+}$  sau  $\text{Al}^{3+}$  nu sînt asociați decît doi ioni  $\text{O}^{2-}$ , astfel încît compusii respectivi sînt echivalenți cu silicea neutră  $\text{SiO}_2$  și ionul aluminat  $\text{AlO}_2^-$ . Sticla puzzolanica este alcătuită din astfel de tetraedri, a caror aranjare este însă dezorganizată.

Silicatul și aluminatul de calciu hidratați sînt de asemenea formați dintr-o aranjare a tetraedrilor, dar aceștia sînt independenți și constituiți din ioni  $\text{AlO}_4\text{H}_4^-$  și  $\text{SiO}_4\text{H}_6^-$ . Fiecare atom de siliciu sau de aluminiu are deci "în posesie" patru atomi de oxigen și nu numai doi. Trecerea din faza în care ionii de oxigen sînt comuni, la faza hidratată unde aceștia sînt independenți se face prin individualizarea acestor entități sub o formă ionică.

În acest caz, în timpul hidratării se disting trei etape [66], după cum urmează:

- etapa de atac. La începutul acestei etape tetraedrii formează un ansamblu cu ioni de oxigen comuni. Dacă se consideră un tetraedru de suprafață, atunci acesta diferă de tetraedrii interiori prin faptul că are un vîrf liber sau ocupat. În cazul al doilea, vîrfurile nu sînt comune cu alte vîrfuri printr-un ion  $\text{O}^{2-}$ , caz în care ar prezenta un exces de sarcină de -1, și este ocupat de un ion  $\text{OH}^-$ . Acest tetraedru poate fi dislocat din ansamblu printr-o soluție bazică în unul din modurile următoare:

. un ion  $\text{OH}^-$  este atras de un ion central ( $\text{Si}^{4+}$  sau  $\text{Al}^{3+}$ ) al unui tetraedru suport. El eliberează oxigenul de legătură, provocînd bascularea tetraedrului de suprafață care nu mai este legat decît printr-o nervură în jurul căreia poate pivota și care prezintă acum un exces de sarcină de -1, fapt care îi conferă o mare afinitate față de apă (fig.2.24 a și b);

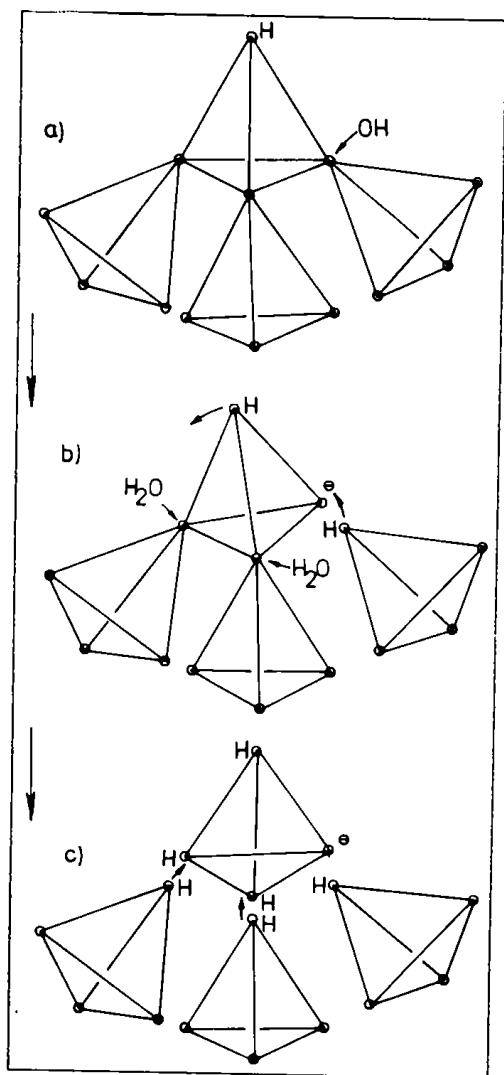


Fig.2.24. Mecanismul de atac al tectosilicaților.

Această abordare a mecanismului de întărire a lianților puzzolanici naturali justifică încă o dată de ce rocile cu structură minerală dezordonată, vitroasă, se pretează mai bine la activarea cu substanțe bazice (vezi pct.1.3.3.1), decât rocile cu o structură minerală ordonată, cristalizată. Explicația este dată prin faptul că tetraedrii de suprafață disponibili sînt mai ușor de găsit, pentru a fi dislocați din structură, în primul caz decît în al doilea.

## 2.7. Determinarea rezistențelor mecanice în laborator

Literatura de specialitate [85], [75], [96], [98], [80] prevede posibilitatea stabilizării unor agregate naturale cu lianți puzzolanici naturali, obținuți prin măcinarea fină a unor roci

. același proces va putea provoca ruperea legăturilor reziduale, numai că prezența unei sarcini negative mari tinde să respingă ionii OH<sup>-</sup>. Situația creată va favoriza ruperea legăturilor de același tip dar prin molecule de H<sub>2</sub>O și nu prin ionii de de OH<sup>-</sup>, eliberînd astfel un ion tetraedric care va fi SiO<sub>4</sub>H<sub>3</sub><sup>-</sup> sau AlO<sub>4</sub>H<sub>4</sub><sup>-</sup> (fig.2.24.c);

- etapa de difuzie, în cadrul căreia ionul astfel eliberat se va îndepărta progresiv de suprafață originală sub efectul agitației termice;

- etapa de cristalizare a hidrataților. Prezența în soluție a ionului Ca<sup>2+</sup> provoacă la o anumită concentrație a ionilor silicați și aluminați, o instabilitate termodinamică care va antrena cristalizarea hidrataților. Această cristalizare va începe pe suprafața mineralelor prezente, care vor fi acoperite cu un înveliș cu proprietăți liante și cu posibilități de dezvoltare a coeziunii. Acest fenomen are ca efect și frînarea din ce în ce mai mult a atacului, pînă la lichidarea sa totală.

vulcano-sedimentare. Astfel, pentru un nisip cu granulozitatea descrisă în fig. 2.25, tratat cu un liant puzzolană naturală var, se obține o creștere continuă a rezistențelor mecanice pînă la vîrsta de un an, indiferent de dozajul utilizat (fig.2.26) [171].

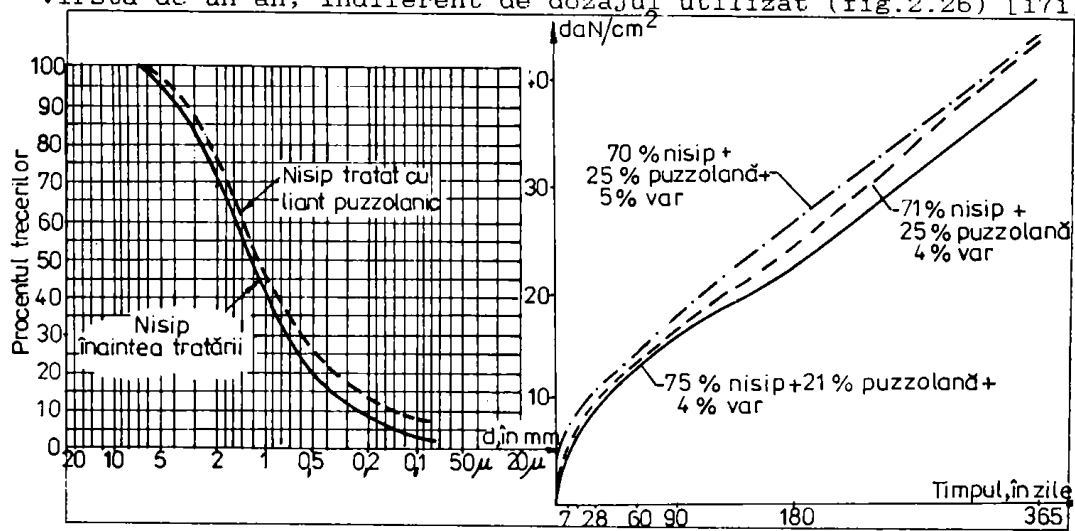


Fig.2.25. Granulozitatea nisipului înainte și după tratarea cu liantul puzzolanic. Fig.2.26. Evoluția rezistențelor mecanice funcție de timp și de dozajul utilizat.

Se constată că, împotriva unei fineți de măcinare necorespunzătoare unui liant puzzolanic (treceți prin sita de 0,08 mm de cca. 10 %), tratarea nisipului considerat cu puzzolană activată cu var conduce la obținerea unor rezistențe mecanice care permit utilizarea materialului rezultat în straturile rutiere.

### 2.7.1. Utilizarea lianților puzzolanici naturali studiați la tratarea unor agregate naturale

Pentru testarea posibilităților de tratare a unor agregate naturale cu lianți puzzolanici naturali cercetați de autor s-au utilizat un nisip natural 0-7 și deșeu de carieră provenit din exploatările Virfurile jud. Arad, pentru care sînt prezentate granulozitările în fig. 2.27. Echivalentul de nisip al nisipului 0-7 este de 74 %. Granulozitatea lianților puzzolanici este prezentată în fig. 2.11, cu treceți prin sita de 0,09 mm de 25...30 %. Ca și activator s-au utilizat varul și cimentul în diferite proporții.

Caracteristicile de compactare Proctor modificat pentru dozajele de lucru în laborator se situează în limitele următoare:  $w_{opt} = 8,3...10,8$  % și  $\rho_d \max = 1\ 880...2\ 040$   $kg/m^3$ .

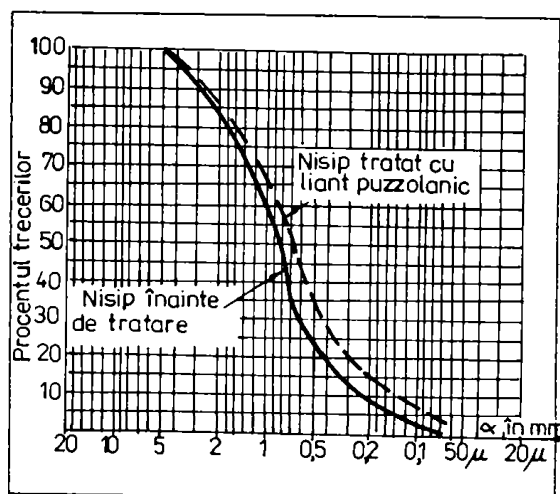


Fig. 2.27. Granulozitatea agregatelor naturale utilizate pentru încercările de laborator.

### 2.7.1.1. Cazul curgerilor de lave andezitice

Tratarea nisipului natural cu curgeri de lave andezitice măcinate activate cu var sau ciment - condus la obținerea în laborator a rezultatelor din tabelul 2.14.

Analizând rezistențele mecanice obținute de autor la diferite vârste pe amestecurile preparate cu piroclastite andezitice măcinate se constată următoarele:

- rezistențele mecanice cresc în timp, cu o viteză mai ridicată la esecurile realizate cu 25 % liant puzzolanic.

Aceleași dozaje conduc și la obținerea rezistențelor maxime, pentru un anumit dozaj de activator, fapt care recomandă, pentru finețea de măcinare precizată, că proporția de 25 % liant puzzolanic corespunde dozajului optim;

- caracteristicile mecanice sînt mai ridicate în cazul utilizării ca activant a cimentului, decît în cazul utilizării varului hidratat în pulbere. Prin activarea liantului puzzolanic cu 2..3 % ciment se obțin de regulă rezistențe mecanice superioare probei martor, fapt care atestă posibilitatea reducerii substanțiale a consumului de ciment la astfel de lucrări;

- creșterea rezistențelor mecanice la probele activate cu var sînt mai lente la început decît a celor activate cu ciment. Cu toate că la vârste mai mari creșterile rezistențelor mecanice sînt mai accentuate la probele la care s-a utilizat ca activant varul, valorile finale sînt cu circa 50 % mai mici decît în cazul utilizării cimentului ca activant;

- un fenomen interesant s-a constatat în cazul preparării unor amestecuri cu liant puzzolanic măcinat cu circa 6 luni în urmă, cînd rezistențele mecanice pentru aceleași dozaje sînt cu 30...60 % mai reduse decît în cazul preparării epruvetelor la scurt timp după măcinarea rocilor;

- se poate deduce prin analizarea rezultatelor că lianții puzzolanici naturali obținuți prin măcinarea curgerilor de lave andezitice se pretează mai bine la activarea cu ciment și că acești lianți pot constitui o soluție de tratare a agregatelor naturale în straturile rutiere.



Tabelul 2.14

DOZAJ ACTIVATOR	VIRSTA:													
	7 zile		14 zile		28 zile		60 <sub>2</sub> zile		90 zile		180 zile		360 zile	
	Rezistentele mecanice, în daN/cm													
	Rc	Rt	Rc	Rt	Rc	Rt	Rc	Rt	Rc	Rt	Rc	Rt	Rc	Rt
3 % ci- ment	13,1	1,2	15,3	1,4	21,6	1,8	28,0	2,3	31,2	4,1	41,3	6,0	44,1	6,6
25 %	15,4	1,4	24,1	1,8	29,2	3,3	35,9	5,9	41,9	6,2	49,6	7,8	51,9	9,0
30 %	16,5	1,4	22,5	1,9	22,8	2,4	27,6	2,5	31,3	2,9	31,3	2,9	38,6	2,7
2 % ci- ment	7,7	0,7	8,7	1,1	9,0	1,4	15,8	1,9	17,9	2,1	19,4	2,2	17,5	2,2
25 %	8,5	1,0	10,4	1,3	12,1	1,7	17,1	2,6	22,5	2,9	26,2	2,5	28,8	2,9
30 %	9,1	1,1	10,1	1,3	11,9	1,6	16,8	2,5	-	-	-	-	-	-
4 % var	1,0	0,2	1,7	0,3	2,5	0,3	3,0	0,4	5,8	0,6	9,3	1,3	10,3	2,0
20 % *	4,4	0,3	5,8	0,6	6,5	0,9	10,0	1,5	12,8	1,7	15,9	2,2	18,7	2,5
25 % *	1,6	0,2	2,6	0,3	3,3	0,3	6,3	0,7	9,7	1,0	12,0	2,0	18,6	2,6
25 %	4,6	0,4	5,9	0,8	9,6	1,1	13,6	1,8	19,2	2,2	26,2	2,6	31,0	3,0
30 %	4,8	0,5	7,9	0,8	13,4	1,5	15,6	1,9	23,7	2,6	27,5	2,7	26,8	2,5
2,5 % var	3,4	0,3	3,9	0,5	5,4	0,7	6,6	1,0	7,0	1,4	-	-	-	-
25 %	3,9	0,4	6,3	0,7	8,8	0,9	12,4	1,7	13,6	1,7	-	-	-	-
30 %	4,5	0,6	9,5	1,1	11,1	1,4	14,2	1,8	15,1	2,1	-	-	-	-
Martor	9,9	1,0	13,4	1,6	14,7	1,9	23,3	2,7	28,1	2,9	34,1	3,0	35,4	3,1
7 % ciment														

\*) Probe preparate cu liant puzolanic, după 6 luni de la macinarea acestuia

### 2.7.1.2. Cazul curgerilor de lave bazaltice

Avînd în vedere numărul de încercări și concluziile menționate în cadrul cercetărilor efectuate asupra curgerilor de lave andezitice, pentru curgerile de lave bazaltice s-au efectuat un număr mai restrîns de determinări. Rezultatele încercărilor efectuate sînt prezentate în tabelul 2.15.

Tabelul 2.15.

DOZAJ	REZISTENȚE MECANICE, în daN/cm <sup>2</sup>					
	28 zile		90 zile		180 zile	
	R <sub>0</sub>	R <sub>t</sub>	R <sub>0</sub>	R <sub>t</sub>	R <sub>0</sub>	R <sub>t</sub>
72 % nisip + 25 % lavă bazaltică + 3 % ciment	35,6	3,8	46,1	5,5	52,3	7,8
72 % nisip + 25 % lavă bazaltică + 3 % var	16,4	1,8	32,8	3,4	39,0	4,6

Rezistențele mecanice mai ridicate față de cele obținute pentru tratarea nisipului cu curgeri de lave andezitice sînt o urmare firească a compoziției chimice și mineralogice mai favorabile declanșării și susținerii reacției puzzolanice în cazul curgerilor de lave bazaltice (conținut de CaO mai ridicat și masă fundamentală feldspatică).

Se reține faptul că astfel de piroclastite bazaltice pot constitui o sursă de lianți puzzolanici naturali, cu rezultate eficiente în sectorul rutier cel puțin în zona geografică în care se situează.

### 2.7.1.3. Cazul poncelor

Poncele în mod surprinzător, avînd în vedere compoziția chimică (oxid de calciu redus), dar în totală concordanță cu compoziția mineralogică (cca. 80 % masă fundamentală vitrofircă), conduc la obținerea celor mai mari rezistențe mecanice dintre lianții studiați de autor, în cazul tratării nisipului cu aceleași doze de liant puzzolanic și activator (tabelul 2.16).

Tabelul 2.16.

DOZAJ	Rezistențe mecanice, în daN/cm <sup>2</sup>					
	28 ZILE		90 ZILE		180 ZILE	
	R <sub>c</sub>	R <sub>t</sub>	R <sub>c</sub>	R <sub>t</sub>	R <sub>c</sub>	R <sub>t</sub>
72% nisip + 25% ponce + 3 % ciment	42,3	4,8	54,0	6,1	73,7	8,8
72 % nisip + 25 % ponce + 3 % var	10,2	1,5	14,7	2,1	19,0	2,0

Pentru acest liant puzzolanice se constată diferențe și mai pronunțate între rezistențele mecanice obținute pe epruvetele în care s-a utilizat ca activant varul. Aceasta demonstrează din nou eficiența sporită a cimentului pentru activarea puzzolanilor naturale.

Trebuie remarcat faptul că poncele analizate au condus la obținerea celor mai bune rezultate din punctul de vedere al rezistențelor mecanice, dintre toți lianții puzzolanici naturali studiați de autor. Nu trebuie neglijat însă faptul că aproape în totalitate lianții puzzolanici naturali activați cu ciment conduc, la vârste identice, la obținerea unor rezistențe mecanice superioare față de proba martor din nisip tratat cu ciment (rezultă economii importante de ciment, prin utilizarea lianților puzzolanici naturali, de 4...5 %).

#### 2.7.2. Cercetări vizînd tratarea cu lianți a deșeurilor de carieră andezitice în vederea utilizării în straturile rutiere.

Deșeurile de carieră andezitice cercetate de autor provin din zona carierelor Vîrfurile, jud. Arad, aflate în depozite impresionante în imediata apropiere a căii ferate Arad-Brad și a drumului național 79 A, Vîrfurile - Chișineu Criș.

Avînd în vedere granulozitatea acestor materiale (fig. 2.27), precum și faptul că roca de proveniență, în conformitate cu rezultatele prezentate anterior, se poate constitui, în anumite condiții, în liant puzzolanice natural, autorul a urmărit găsirea condițiilor de tratare cu lianți hidraulici sau puzzolanici a deșeurilor de carieră în vederea executării unor straturi rutiere.

Rezultatele obținute sînt prezentate în tabelul 2.17.

Tabelul 2.17.

DOZAJ	REZISTENȚE MECANICE ÎN daN/cm <sup>2</sup>					
	28 zile		90 zile		180 zile	
	R <sub>0</sub>	R <sub>t</sub>	R <sub>0</sub>	R <sub>t</sub>	R <sub>0</sub>	R <sub>t</sub>
97 % deșeu de carieră+3 % ciment	33,8	6,5	51,2	8,7	62,4	10,1
97 % deșeu de carieră + 3 % var	3,4	0,5	6,1	1,0	8,0	1,3
78 % deșeu de carieră + 20 % lavă andezitică + 2,0 % ciment	45,0	5,6	56,3	7,2	69,8	10,2

Chiar dacă activarea cu var a părților fine din deșeurile de carieră conduce la obținerea unor rezistențe mecanice, acestea rămân inferioare semnificativ față de cele obținute pentru tratarea subprodusului cu 3 % ciment. Prin tratarea deșeurilor de carieră cu 20 % liant puzzolanic natural, provenit din măcinarea fină a curgerilor de lave andezitice (sort 0-1, cu treceri prin sita de 0,09 mm de 28 %) din aceeași zonă, la care se adaugă ca activator 2 % ciment, se constată o îmbunătățire a rezistențelor mecanice, față de dozajul în care s-a utilizat 3 % ciment. Acest fapt demonstrează pe de o parte eficiența liantului puzzolanic natural la tratarea deșeurilor de carieră, iar pe de altă parte posibilitatea obținerii unor materiale cu stabilitate ridicată pentru straturi rutiere, cu un consum redus de liant hidraulic.

În concluzie, prin studii aprofundate, în condiții locale date, se pot obține soluții eficiente de utilizare a tuturor materialelor utile disponibile, cu efecte benefice asupra reducerii costului lucrărilor și a consumului lianților hidraulici. Este și cazul regiunii în care se situează carierele Vîrfurile, jud. Arad, în care se găsesc importante rezerve de curgeri de lave andezitice neexploatate și "munți" de deșeu de carieră neutilizate, care se alătură rezervelor exploatate de andezit cu calitate deosebită. Astfel, curgerile de lave andezitice prin măcinare pot să formeze un liant puzzolanic natural cu reactivitate ridicată, iar deșeurile de carieră prin tratare cu ciment sau liant puzzolanic natural-ciment, constituie un material util pentru executarea unor straturi rutiere.

## 2.8. Experimentări de teren

Avînd în vedere cercetările efectuate de autor asupra curgerilor de lave andezitice din carierele Vîrfurile, precum și

rezultatele obținute, în colaborare cu D.J.D.P. Arad s-a luat hotărârea experimentării liantului puzzolanic la scară naturală.

Experimentările au avut loc pe D.J. 792, Sebiș-Berindia, în anul 1991, cînd pe un drum pietruit s-a executat un strat rutier din 70 % balast tratat cu 27,5 % liant puzzolanic natural și 2,5 % ciment. Liantul puzzolanic a fost obținut prin trecerea de două ori prin instalația de concasare a carierei Vîrfurile I, Brătiuleasa, a curgerilor de lave andezitice. Granulozitatea liantului puzzolanic (de tipul unui nisip de concasaj) și a balastului, sort 0-31, sînt date în fig. 2.28.

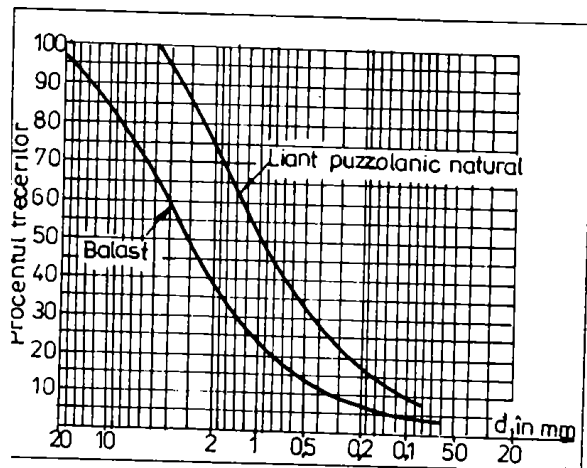


Fig. 2.28. Granulozitatea liantului puzzolanic și a balastului, utilizați la experimentări.

Procesul tehnologic de execuție a stratului rutier a urmărit etapele descrise la pct. 1.3.4.1, iar în fig. 2.29...2.31 sînt prezentate cîteva secvențe din timpul lucrărilor.

După execuție stratul a fost menținut în stare umedă timp de 3 zile după care a fost impermeabilizat, cu un tratament bituminos simplu.

În timpul celor doi ani de exploatare, stratul rutier a avut o comportare corespunzătoare, defecturile apărute sub forma unor dezgrădări sau

propi fiind cauzate de neomogizarea corespunzătoare a materialelor cu autogrederul.

Reușita experimentării, precum și comportarea stratului în exploatare în condiții vitrege (stratul rutier nu a fost acoperit cu alte straturi din mixturi asfaltice care să îl protejeze atât împotriva eforturilor unitare mari date de trafic, cît și de efectul condițiilor climaterice) aduce un ultim argument în favoarea lianților puzzolanici naturali, care pot fi procurați cu ușurință, în anumite zone, prin simpla măcinare fină a rocilor vulcano-sedimentare existente.



Fig.2.29. Aprovizionarea materialelor.



Fig.2.30. Omogenizarea constituentelor  
la fața locului.



Fig.2.31. Compactarea stratului executat.

### 2.9. Concluzii și propuneri

Studiile și cercetările autorului, prezentate în acest capitol, au vizat obținerea unor rezultate concrete referitoare la utilizarea completă și eficientă în sectorul rutier a materialelor pietroase disponibile într-o regiune geografică dată fără interdicții de ordin tehnic, economic sau ecologic.

În acest context, concluzate și propunerile care se pot formula sînt următoarele:

- regiunea investigată se situează în județele Arad și Hunedoara, pe valea Crișului Alb și Valea Mureșului, cuprinzînd în mare importante rezerve de roci magmatice și piroclastice. Spre deosebire de rocile magmatice, a căror utilizare în sectorul rutier este bine conturată sub formă de agregate naturale, rocile piroclastice nu au fost cercetate în vederea valorificării. Deasemenea, în afara faptului că nu sînt în prezent valorificate în nici un fel, rocile piroclastice, prin faptul că se găsesc, de regulă în aceleași zăcăminte cu rocile magmatice, îngreunează foarte mult exploatarea acestora, iar în final ajung să constituie obiectul unor mari depozite de subproduse de carieră;

- studiile și cercetările proprii efectuate în carierele existente și în zone care se pot deschide altele noi atestă cantități importante de roci magmatice de calitate (andezite, diabaze, diorite, granite, granodiorite, bazalte), dar și rezerve impresionante și nevalorificate de roci piroclastice (curgeri de lave andezitice și bazaltice etc.);

- avind în vedere caracteristicile fizico-mecanice, chimice și mineralogice ale rocilor piroclastice cercetate s-a putut evidenția faptul că astfel de materiale, fin măcinate, se apropie foarte mult de proprietățile unor lianți puzzolanici artificiali (cenuși de termocentrală silico-aluminoase sau alumino-silicoase etc.), utilizate curent în tehnica rutieră;

- studiile și cercetările efectuate pentru stabilirea comportării la manipulare, stocare și dozare a lianților puzzolanici naturali obținuți prin măcinarea fină a rocilor piroclastice au condus la concluzia că, în cadrul unor procese tehnologice specifice pentru astfel de lianți, nu apar probleme și inconveniente de nici un fel;

- testarea proprietăților de lianți puzzolanici se poate efectua de regulă prin metode mecanice, chimice, fizice și combinate. Laboratoarele de drumuri sînt profilate în general pe stabilirea activității puzzolanice prin încercări mecanice, ceea ce nu conduce la obținerea unor rezultate suficient de exacte referitor la reacțiile și transformările de care este capabil liantul investigat în prezența unui activator. Autorul a stabilit activitatea puzzolanică a lianților obținuți prin măcinarea unor roci piroclastice (curgeri de lave andezitice și bazaltice, piroclastite andezitice și ponce) prin metode mecanice, ajungînd la demonstrarea proprietăților lor de hidratare în amestec cu un activator (varul sau cimentul). Dintre metodele combinate studiate, autorul consideră că implementarea metodei Centrului de Cercetări Rutiere din Bruxelles în cadrul laboratoarelor de drumuri din țara noastră este cea mai indicată deoarece permite analizarea globală a tuturor factorilor urmăriți (rezistențele mecanice, reacții chimice, temperatură) într-o caracteristică globală, numită indice de calitate puzzolanică;

- se consideră necesar ca fiecare nou liant puzzolanic analizat pentru executarea unor lucrări rutiere să fie obligatoriu testat și prin analize chimice care să pună în evidență capacitatea acestuia de a conduce la formarea produselor de hidratare. Pentru aceasta este necesar ca dotarea existentă a laboratoarelor de drumuri să fie îmbunătățită și cu aparate, dispozitive și reactivi specifici acestor încercări;

- pentru completarea încercărilor vizînd determinarea activității puzzolanice se poate opta pentru studiul mecanismului de întărire a lianților puzzolanici pe o pastă formată din liant, activator și apă. Un astfel de studiu presupune stabilirea legilor de variație a rezistențelor mecanice în timp și compararea lor cu legile de variație tip (aspect mecanic) și stabilirea transformărilor chimice care au loc în pastă cu efect direct asupra formării hidrataților (aspect chimic). Pentru lianții puzzolanici naturali poate fi luat în considerare și aspectul mineralogic, care presupune urmărirea schimbărilor care au loc la nivelul feldspațiilor ca urmare a atacului cu o soluție bazică;

- rezultatele obținute de autor pentru încercările mecanice și chimice ale lavelor andezitice măcinate activate cu var sînt de



natură să îndreptățească afirmația că astfel de lianți au o activitate hidraulică ridicată;

- încercările efectuate în laborator pentru diferite dozaje de nisip tratat cu lianți puzzolanici naturali activați cu var sau ciment au evidențiat faptul că se pot deduce dozaje optime pentru cazuri practice, funcție de natura materialului de tratat, natura liantului, finețea de măcinare a acestuia și tipul activatorului.

S-a constatat că activarea cu ciment este mult mai eficientă decât activarea cu var și că această soluție conduce, în majoritatea cazurilor, la depășirea rezistențelor mecanice obținute pe probe martor din nisip tratat cu ciment. Dintre lianții investigați poncele permit obținerea celor mai favorabile rezultate, dar caracteristicile fizico-mecanice pentru dozajele optime stabilite pentru fiecare liant sînt superioare limitelor impuse de norme pentru materialele tratate cu lianți puzzolanici din straturile rutiere. Acest fapt confirmă posibilitatea utilizării, cel puțin în zona geografică de proveniență a unor astfel de lianți puzzolanici naturali pentru execuția de straturi rutiere în condiții economice avantajoase (preț redus, distanțe de transport minime, economii de lianți hidraulici etc.);

- în afara aspectului sus-menționat nu trebuie uitate considerentele de ordin ecologic și estetic care impun luarea unor măsuri ferme pentru lichidarea marilor "depozite" de subproduse de carieră din apropierea exploatărilor existente. În acest sens, autorul a demonstrat pentru un caz concret că aceste materiale, care au un anumit conținut de părți fine și care au aceleași caracteristici chimice și mineralogice cu roca de bază, pot fi tratate pentru obținerea de straturi rutiere fie cu ciment, fie cu liant puzzolanic natural activat cu ciment;

- experimentările la scară naturală efectuate cu un balast tratat cu curgeri de lave andezitice activate cu ciment, prin metoda stabilizării in situ au condus la obținerea unui strat cu stabilitate ridicată care, după doi ani de exploatare se prezintă în condiții bune, chiar dacă acesta nu a fost acoperit cu straturi bituminoase.

Studiul complex și complet efectuat de autor într-o regiune care dispune de importante cantități de materiale rutiere utile a demonstrat că prin analizarea atentă a tuturor resurselor și posibilităților lor de valorificare se poate ajunge la rezultate tehnice și economice interesante, care să implice cantități minime de materiale tradiționale transportate de la mare distanță.

### III. COMPORTAREA ÎN EXPLOATARE A STRUCTURILOR RUTIERE MIXTE

Caracteristica fundamentală a structurilor rutiere mixte este dată de existența în alcătuirea lor a unui strat, cel puțin, realizat din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Stratul sau straturile respective conferă structurilor rutiere mixte o comportare în exploatare particulară în raport cu structurile rutiere simple pentru condiții identice de capacitate portantă și solicitare (factori de trafic și climaterici).

Rolul hotărâtor al straturilor din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici pentru comportarea în exploatare a structurilor rutiere mixte trebuie analizat în strînsă concordanță cu principalele proprietăți ale acestor materiale. În același timp, trebuie efectuată legătura dintre caracteristicile straturilor din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici și fenomenul de fisurare a acestora, datorită contracției sau datorită oboselii, în scopul obținerii unor structuri rutiere corect dimensionate și cu o comportare în exploatare corespunzătoare.

În acest context, trebuie menționat faptul că experiența, pe plan mondial și național, privind executarea structurilor rutiere mixte este bogată și diversă, fapt care permite concretizarea unor concluzii și propuneri. Astfel, în 1930, în SUA s-au executat primele încercări de tratare a pămînturilor cu ciment, iar după 1950 tehnologiile de tratare a agregatelor naturale cu lianți hidraulici și puzzolanici s-au extins în întreaga Europă. În țara noastră tehnologiile de tratare a agregatelor naturale cu lianți hidraulici sau puzzolanici sînt utilizate de 20...25 ani.

#### 3.1. Caracteristicile agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici

În afara caracteristicilor fizico-mecanice enunțate în cap. 1 și 2 pentru stabilirea dozajelor optime, în cazul tratării unor materiale cu lianți hidraulici sau puzzolanici sînt importante de cunoscut unele proprietăți strîns legate de comportarea în exploatare a straturilor rutiere executate cu aceste materiale (rigiditatea și deformabilitatea, legile de oboseală etc.). La această observație s-a ajuns ca urmare a investigațiilor efectuate asupra comportării structurilor rutiere mixte în exploatare și care atestă faptul că acestea sînt foarte favorabile la mici supradimensionări, dar sînt total neadaptabile la mici subdimensionări.

• În acest context, se remarcă faptul că pentru agregatele naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, încercările clasice (rezistența la compresiune și rezistența la întindere prin încercarea braziliană), deși au o contribuție importantă la definirea caracteristicilor materialelor respective, rămîn totuși insuficiente [57].

##### 3.1.1. Determinarea caracteristicilor elastice ale materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici

Starea de eforturi într-un strat rutier din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici care face parte dintr-o structură rutieră supusă solicitărilor din trafic este specifică încovoierii sale (fig.3.1). Efortul unitar de întindere maxim ( $\sigma_t$ ) apare în punctul A, la interfața dintre stratul respectiv și stratul inferior, și atît timp cit rămîne inferior efortului unitar de rupere prin încovoiere ( $R_t$ ), stratul rutier rezistă; în caz contrar acesta se rupe.

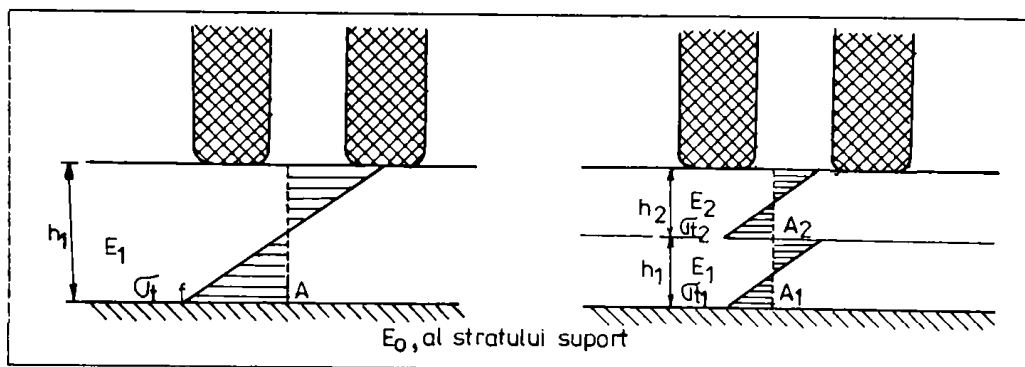


Fig.3.1. Starea de eforturi intr-un strat de agregate naturale tratate cu lianți hidraulici.

Fig.3.2. Starea de eforturi in cazul a două straturi de agregate naturale tratate cu lianți hidraulici fără legătură la interfață.

În cazul a două straturi care lucrează cu legătură perfectă la interfață starea de eforturi poate fi considerată identică cu cea din fig.3.1. Dacă straturile rutiere din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici lucrează fără frecare la interfață atunci starea de eforturi în acestea este aproximativ cea prezentată în fig.3.2 și se impune verificarea eforturilor unitare de întindere din încovoiere maxime pentru fiecare strat ( $\sigma_{t1}$  și  $\sigma_{t2}$ ) cu eforturile unitare de rupere prin încovoiere corespunzătoare ( $R_{t1}$  și  $R_{t2}$ ).

Pentru o stare de solicitare dată, eforturile unitare din straturile rutiere sînt determinate de modulul de elasticitate al materialului respectiv.

Rezultă că, pentru definirea comportării elastice a materialului, la prima încărcare, trebuie cunoscute caracteristicile  $E$  și  $R_t$ .

În urma acestui raționament se observă că stabilirea numai a rezistenței la compresiune a materialului ( $R_c$ ) nu este suficientă pentru definirea comportării sale, fiind necesare și încercări pentru obținerea caracteristicilor elastice ale materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Pentru determinarea caracteristicilor elastice ale materialelor tratate cu lianți se utilizează în prezent următoarele tipuri de încercări [57], [58], [67]:

- la întindere prin încovoiere;
- la compresiune;
- la întindere directă;
- la compresiune diametrală.

Determinarea cuplului de valori ( $E$ ,  $R_t$ ) prin încercarea de întindere prin încovoiere este cea mai indicată, deoarece ține seama cel mai bine de comportarea reală a materialului. Totuși încercările de acest tip sînt cel mai puțin utilizate în prezent datorită dificultății de preparare a epruvetelor prismatice din materiale compozite [57].

### 3.1.1.1. Determinarea caracteristicilor elastice prin încercări de compresiune sau de întindere

Forma și dimensiunile epruvetelor utilizate pentru determinarea caracteristicilor elastice trebuie să fie astfel alese încît în partea centrală a acestora eforturile unitare să fie uniform distribuite.

Literatura de specialitate [59], [62] specifică utilizarea următoarelor tipuri de epruvete:

- pentru compresiune, epruvete cilindrice cu diametrul de 160 mm

și înălțimea de 320 mm (fig.3.3.a);

- pentru întindere, epruvetele cilindrice cu partea centrală îngustată pentru a se evita ruperea la capetele epruvetei (fig.3.3.b)

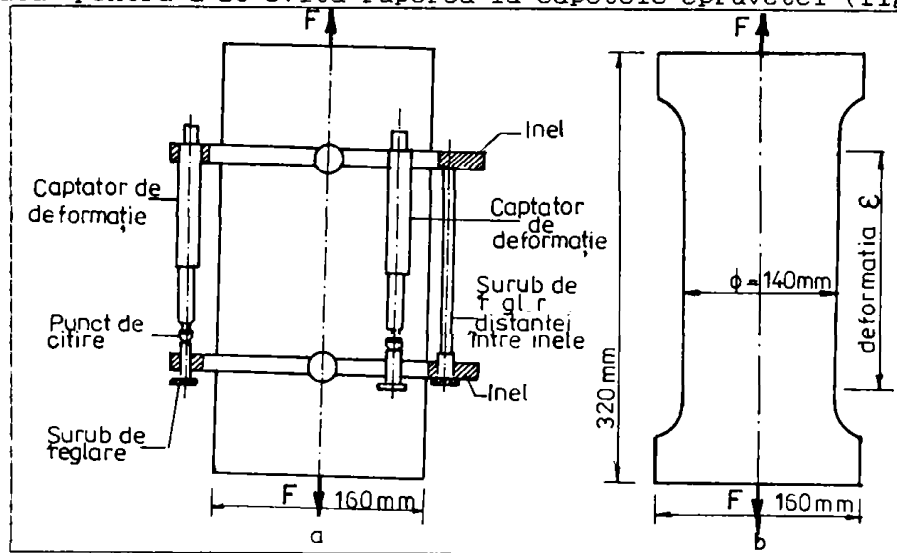


Fig.3.3. Tipuri de epruvete pentru determinarea caracteristicilor elastice.

Epruvetele sînt supuse la compresiune, respectiv la întindere cu ajutorul unor prese hidraulice, care permit stabilirea și înregistrarea automată, cu exactitate, a forței de încărcare ( $F$ ) și deci a eforturilor unitare care apar în epruvetă. Măsurarea deformațiilor epruvetei în partea sa centrală este mai dificilă, realizându-se de regulă cu ajutorul unor captatori de deformații (fig.3.3.a). Aceștia trebuie să fie independenți de presa de încercare, putînd controla deformațiile prin intermediul a două inele care sînt fixate pe epruvetă la o distanță constantă unul de altul, menținută cu ajutorul a trei șuruburi de reglare. Cu toate că în partea centrală a epruvetei deformațiile sînt considerate constante, determinarea lor se efectuează de regulă cu ajutorul a trei captatori, a căror înregistrări sînt citite automat.

În aceste condiții prin trasarea curbelor efort unitar - deformație relativă se poate determina modulul de elasticitate ( $E$ ), iar la rupere, rezistența la întindere ( $R_t$ ), respectiv la compresiune ( $R_c$ ) ale materialului încercat (fig.3.4 și 3.5).

Curbele efort unitar deformație relativă se trasează în urma solicitării epruvetelor cu o viteză constantă stabilită de regulă pentru a obține valori de  $0,1 \text{ daN/cm}^2/\text{s}$  pentru încercarea de întindere și de  $1,0 \text{ daN/cm}^2/\text{s}$  pentru încercarea de compresiune (încercarea durînd circa 1 min).

În final modulul de elasticitate se determină pentru sectorul din curba efort unitar - deformație relativă pentru care variația eforturilor unitare este proporțională cu cea a deformațiilor relative (modulul de elasticitate fiind reprezentat de tangenta în origine la curba efort unitar - deformație relativă).

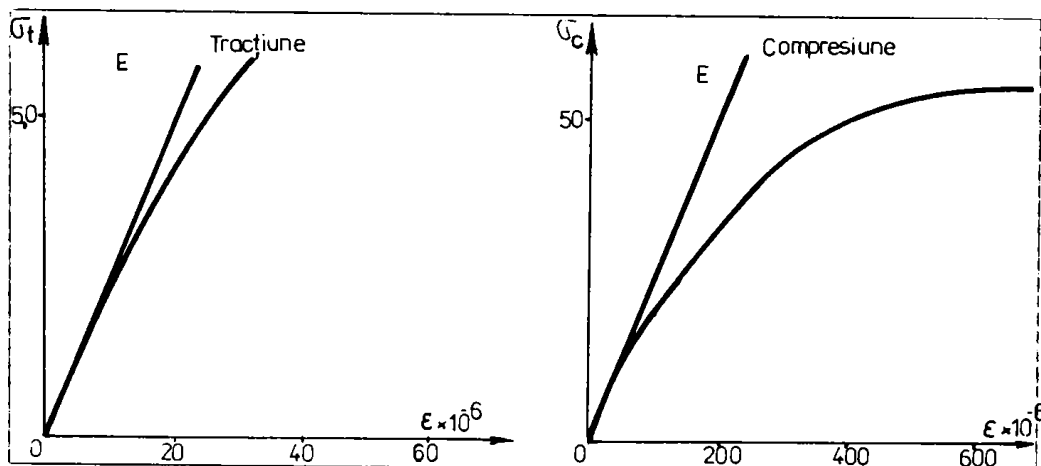


Fig.3.4. Alura curbei efort unitar-deformație relativă pentru încercarea la întindere a epruvetei.

Fig.3.5. Alura curbei efort unitar-deformație relativă pentru încercarea la compresiune a epruvetei.

• În principiu modulul de elasticitate se determină deci cu relația

$$E = \frac{\sigma_t}{\epsilon} \quad [\text{daN/cm}^2] \quad (3.1)$$

în care:

$E$  este modulul de elasticitate al materialului analizat, determinat la o anumită vîrstă, în  $\text{daN/cm}^2$ ;

$\sigma_t$  - efortul unitar maxim pînă la care se respectă proporționalitatea cu deformațiile relative, în  $\text{daN/cm}^2$ ;

$\epsilon$  - deformația relativă corespunzătoare efortului unitar  $\sigma_t$ , determinată cu relația:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad [-] \quad (3.2)$$

în care:

$l$  este distanța dintre cele două inele fixate pe epruvetă, în mm;

$\Delta l$  - lungirea, respectiv scurtarea epruvetei în momentul atingerii efortului unitar  $\sigma_t$ , în mm.

În general, modulii de elasticitate ai agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici variază în limite largi, funcție de tipul materialului încercat și de timpul scurs de la preparare (fig.3.6 și 3.7). De regulă, modulii de elasticitate ai acestor materiale se înscriu în ecartul 20 000...400 000  $\text{daN/cm}^2$  [33], [57], [58].

Alura mai rectangulară a curbelor efort unitar - deformație relativă pentru agregatele naturale tratate cu ciment atestă o comportare mai apropiată de stadiul elastic al acestor materiale în raport cu agregatele naturale tratate cu lianți puzzolanici (de exemplu pentru agregatele naturale tratate cu zgură granulată alura curbelor efort unitar - deformație relativă este redată în fig. 3.8). De asemenea, se constată că alura curbelor obținute pentru modulii de elasticitate funcție de vîrstă este asemănătoare cu cea a curbelor obținute pentru rezistența la întindere a aceluiași materiale (fig.3.9).

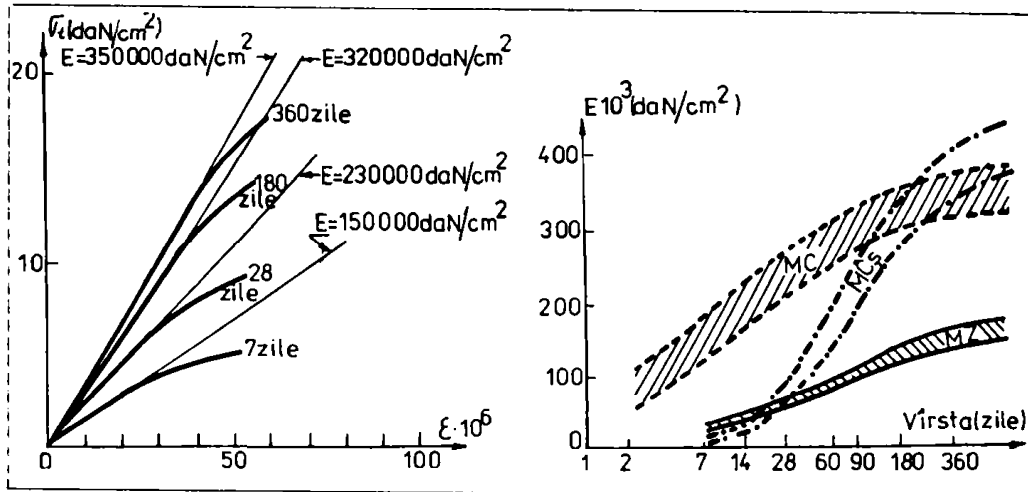


Fig.3.6. Evoluția curbei efort unitar-deformație relativă pentru agregate naturale tratate cu ciment, funcție de vîrstă.

Fig.3.7. Evoluția modului de elasticitate pentru materiale tratate cu ciment (MC), zgură (MZ) și cenușă (MCȘ) funcție de vîrstă.

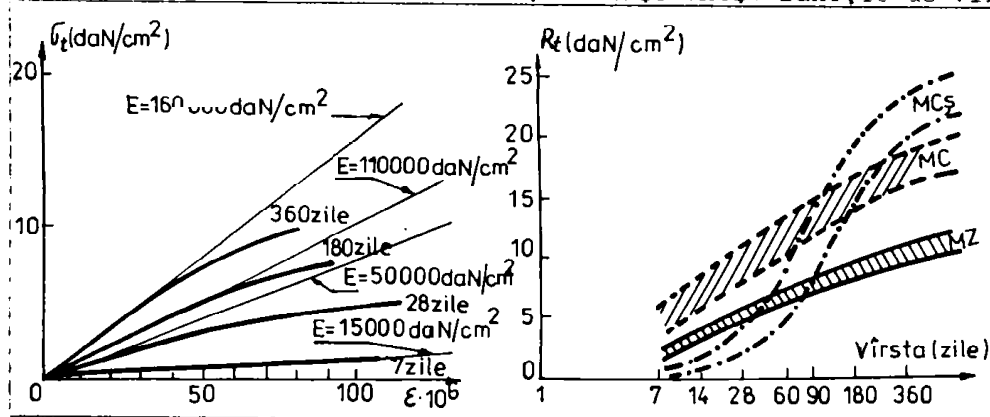


Fig.3.8. Evoluția curbei efort unitar-deformație relativă pentru agregate naturale tratate cu zgură, funcție de vîrstă.

Fig.3.9. Evoluția rezistențelor la întindere cu vîrsta pentru materiale tratate cu ciment (MC), zgură (MZ) și cenușă (MCȘ).

În concluzie, agregatele naturale tratate cu ciment au o rigiditate mai mare decît a materialelor tratate cu lianți puzzolanici, excepție făcînd doar cenușile de termocentrală calcice sau sulfocalcice, care la vîrste mari conduc la obținerea unor moduli de elasticitate mai mari.

Efectele rigidității ridicate a straturilor rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici sînt următoarele:

- variațiile de temperatură (zilnice sau anuale), față de temperatura de punere în operă, antrenează apariția unor eforturi unitare însemnate în straturile rutiere din agregatele naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Rezultatul acestor eforturi unitare este fisurarea transversală a stratului respectiv, de regulă în prima iarnă de după executare. De asemenea, eforturile unitare rezultate pot conduce la încovoierea dalei (concavă sau convexă funcție de gradientul termic), fenomen care rămîne oricum sub nivelul încovoierilor manifestate la beton;

- raportul dintre modulul de elasticitate al stratului din agregat natural tratat cu lianți hidraulici sau puzzolanici și modulul de elasticitate al stratului suport (de regulă din agregate naturale netratate cu lianți) este foarte mare, ceea ce poate conduce la apariția unor eforturi unitare de întindere din încovoiere foarte mari la partea inferioară a primului strat; în schimb eforturile unitare verticale pe terenul de fundare sînt foarte mici;

- modulii de elasticitate ai acestor materiale sînt superiori celor ai amestecurilor asfaltice din straturile rutiere superioare. În concluzie un strat bituminos nu reduce semnificativ eforturile unitare de întindere din încovoiere din stratul inferior din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici; decît în cazul unor grosimi mari. Straturile superioare din amestecuri asfaltice sînt însă deosebit de importante pentru preluarea eforturilor orizontale;

- întărirea rapidă și rigiditatea mare la vîrste mici a straturilor din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici (ciment) nu permit preluarea unor mici tasări ale suportului care conduc la fisurarea sau chiar deteriorarea materialului stabilizat. În cazul utilizării lianților puzzolanici acest fenomen nu este sesizabil datorită întăririi mai lente.

### 3.1.1.2. Determinarea caracteristicilor elastice prin încercarea de compresiune diametrală

Avînd în vedere ușurința sa, determinarea rezistenței la întindere prin compresiune diametrală (încercarea braziliană) este utilizată curent pentru materialele tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Din păcate ea nu permite determinarea decît a uneia din valorile  $E$  și  $R_t$ , care sînt necesare pentru analiza comportării elastice a materialului. Lipsa de precizie a metodelor utilizate pînă în prezent pentru determinarea în timpul încercării de compresiune diametrală și a modulului de elasticitate este corectată în cadrul unei noi metodologii experimentată în Franța [59], [62].

Variația diametrului AB (fig.3.10) unei epruvete cilindrice la încercare la compresiune diametrală este ușor de stabilit, deoarece distanța inițială AB reprezintă chiar depărtarea platanelor preseii.

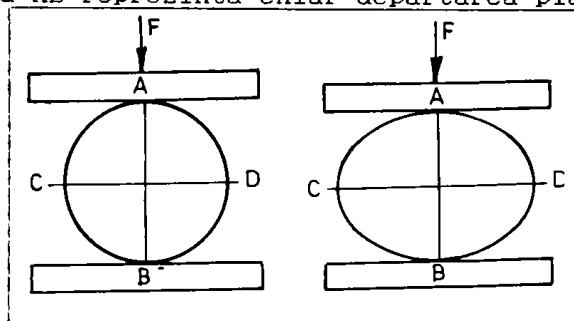


Fig.3.10. Variația formei epruvetei în cursul încercării.

Un calcul al modulului de elasticitate pornind de la deformarea diametrului AB pînă la rupere se poate face, dar nu pot fi evitate erorile provenite din faptul că în punctele de încărcare (A și B) eforturile unitare sînt foarte mari și materialul are o comportare plastică, deformațiile verticale fiind mai mari decît în cazul unei comportări elastice. Rezultă că o astfel de abordare este neconcludentă și conduce la valori ale modulului de elasticitate inferioare celor reale.

Din contră, în plan orizontal eforturile unitare sînt suficient de mici și se poate accepta ipoteza comportării elastice, deci determinarea modului de elasticitate pe baza forței aplicate pe generatoarele A și B și a deformației diametrului CD este posibilă.

Pornind de la aceste observații s-a conceput un dispozitiv (fig.3.11) suficient de sensibil pentru a înregistra exact, în mod automat, variația diametrului CD (cu o valoare inițială de 100 mm).

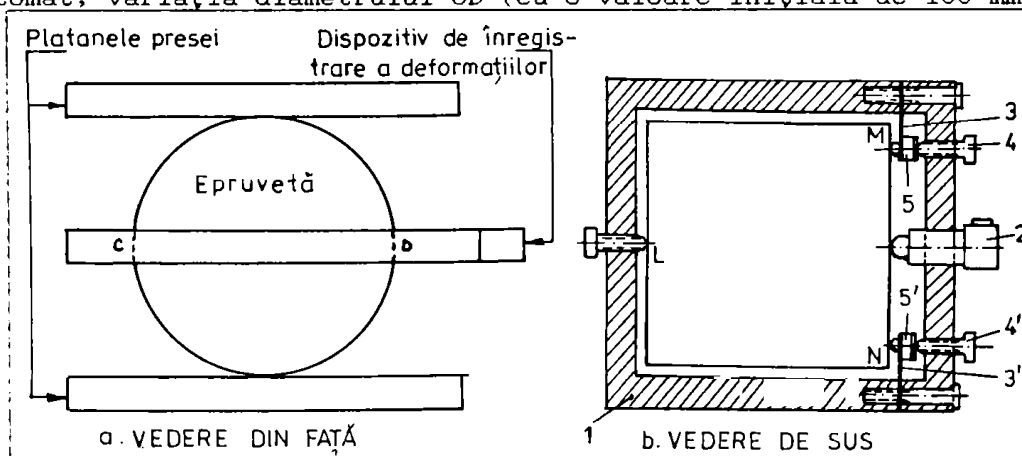


Fig.3.11. Dispozitiv pentru înregistrarea deformației diametrului CD.

Deformațiile sînt recepționate prin intermediul unui captator de deplasare (2) care este montat pe un cadru rectangular (1). Acesta este fixat în planul diametral al epruvetei în trei puncte: L, M și N. Fixarea se realizează în punctul L printr-un șurub, iar în punctele M și N cu ajutorul lamelelor 3 și 3'. Aceste lamele sînt rigide în plan vertical și elastice în plan orizontal, avînd rolul de a menține în permanență cadrul în planul orizontal inițial. Forța de fixare a cadrului pe epruvetă este reglată prin șuruburile 4 și 4' și pastilele de cauciuc 5 și 5'. elasticitatea lamelelor în plan orizontal și pastilele de cauciuc permit deformarea liberă a diametrului CD. În acest fel se pot citi deformații diametrale de ordinul a  $5 \times 10^{-6}$  mm.

Încercarea se realizează cu o presă specială care permite aplicarea unor forțe de max. 50 kN și înregistrarea automată a forței de rupere.

În final, calculul rezistenței la întindere ( $R_t$ ) se realizează cu ajutorul relației (1.10), iar modulul de elasticitate (E) se obține prin relația următoare:

$$E = k \frac{r}{\Delta d} \quad [daN/cm^2] \quad (3.3)$$



în care:

$f$  este forța aplicată pe unitatea de lungime a generatoarei, în daN/cm;

$\Delta l$  - alungirea diametrului epruvetei pînă la rupere, în cm;

$k$  - coeficient independent de dimensiunile epruvetei, care se determină funcție de coeficientul lui Poisson ( $\mu$ ) al materialului respectiv, cu relația următoare:

$$k = (1 + \mu) \times \frac{(4 - \Pi) + 2(\Pi - 2)\mu}{\Pi} \quad [-] \quad (3.4)$$

Valorile modurilor de elasticitate obținuți prin metoda descrisă anterior sînt comparabile cu cele obținute prin metodele de încercare descrise la pct. 3.1.1.1, fapt care confirmă justetea raționamentului care îi stă la bază. Rezultă că folosind un singur aparat și printr-o singură încercare se pot obține ambele caracteristici care pun în evidență comportarea elastică a unui material, și anume: modulul de elasticitate ( $E$ ) și rezistența la întindere ( $R_t$ ).

### 3.1.1.3. Indicile de calitate elastic

Comportarea în timp a straturilor din agregate naturale tratate 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. Diferențierea calitativă a straturilor din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se poate efectua prin așa-numitul indice de calitate elastic [57], [58], [62].

Indicele de calitate elastic (ICE) al unui material este exprimat prin grosimea stratului realizat din acel material, care executat pe un strat tip (modul de elasticitate de 1000 daN/cm<sup>2</sup>), permite trecerea a 10<sup>6</sup> osii de 130 kN. Indicele de calitate elastic permite caracterizarea globală a comportării elastice a materialelor obținute prin tratarea agregatelor naturale cu lianți hidraulici sau puzzolanici, funcție de cele două caracteristici care o definesc: modulul de elasticitate ( $E$ ) și rezistența la întindere ( $R_t$ ). În schimb, ICE nu face o legătură directă între calitatea materialelor și grosimea necesară a straturilor pentru diferite structuri rutiere.

Calculul se realizează în ipoteza sistemului bistrat și conduce la obținerea diagramei din fig. 3.12 [57], [58], [62]. Trebuie menționat faptul că pentru compararea calității a două materiale diferite trebuie să se ia în considerare și vîrsta. Astfel, pentru agregate naturale tratate cu ciment sau zgură granulată sînt sesizabile diferențele din fig. 3.12 și 3.13, remarcîndu-se o micșorare a indicelui de calitate elastic o dată cu vîrsta.

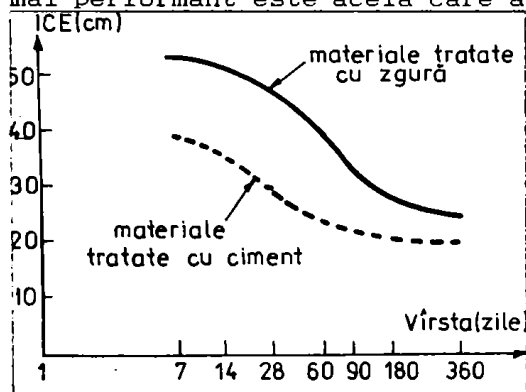
Referitor la valoarea indicelui de calitate elastic (ICE) se pot face următoarele observații:

- materialele obținute prin tratarea agregatelor naturale cu lianți hidraulici sau puzzolanici sînt cu atît mai performante cu cît indicele de calitate elastic este mai mic. Se remarcă o superioritate a performanțelor obținute atunci cînd se utilizează cimentul, în raport cu zgura granulată (fig. 3.12 și 3.13). În schimb, pentru cenușile de termocentrală sulfocalcice și calcice această superioritate nu se manifestă decît la vîrste mici, după care cenușile devin mai performante ( $R_t = 9...23$  daN/cm<sup>2</sup> și  $E = 250\ 000...400\ 000$  daN/cm<sup>2</sup>).

Totuși, se poate reține că toate aceste materiale prezintă calități aproximativ egale [57];

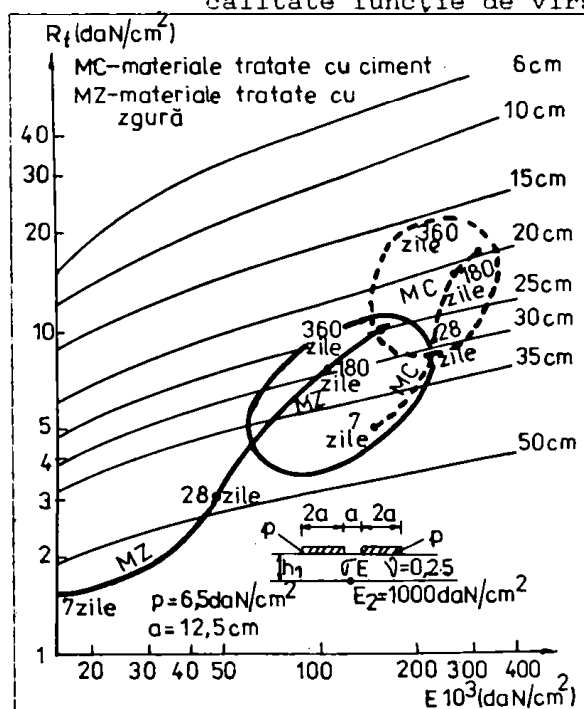
- pentru două materiale care au aceeași rezistență la întindere, cel mai performant este acela care are un modul de elasticitate mai mic;

- 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 capacități portante ridicate pentru straturile rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici este interesantă soluția obținerii unor materiale cu moduli de elasticitate reduși și rezistențe la întindere ridicate, ceea ce este dificil prin utilizarea lianților clasici.

Fig. 3.13. Variația indicelui de calitate funcție de vîrstă.



#### 3.1.1.4. Metodă pentru determinarea modurilor de elasticitate ai materialelor tratate cu lianți hidraulici și puzzolanici

Avînd în vedere dotarea laboratoarelor de drumuri din țara noastră și principiile de determinare a modurilor de elasticitate enunțate la pct. 3.1.1.1., autorul a studiat posibilitatea stabilirii acestor caracteristici pentru materiale tratate cu lianți puzzolanici naturali printr-o încercare de compresune monoaxială.

Metodologia de încercare utilizată de autor presupune următoarea succesiune de operații:

- prepararea epruvetelor cilindrice din materialul analizat prin compactare (prin resare în cazul nisipurilor sau

Fig. 3.12. Diagramă pentru determinarea indicelui de calitate elastic.

prin batere cu maiul cu o energie specifică de compactare Proctor modificat. Epruvetele cilindrice au avut următoarele dimensiuni:

.  $d = 50,5 \text{ mm}$  și  $h = 101 \text{ mm}$  pentru materiale cu dimensiunea maximă a granulei de  $7 \text{ mm}$ ;

.  $d = 101 \text{ mm}$  și  $h = 200 \text{ mm}$  pentru materiale cu dimensiunea maximă a granulei de  $30 \text{ mm}$ ;

- modulii de elasticitate s-au determinat cu ajutorul unei prese hidraulice cu o viteză de încărcare constantă de  $100 \text{ daN/min}$ . Încărcarea s-a realizat în trepte de  $25 \text{ daN}$  ( $\Delta \sigma = 1,25 \text{ daN/cm}^2$ ) pentru nisipuri stabilizate și de  $100 \text{ daN}$  ( $\Delta \sigma = 1,25 \text{ daN/cm}^2$ ) pentru balasturi stabilizate. După fiecare treaptă de încercare s-a efectuat descărcarea pînă la  $10 \text{ daN}$ . Numărul treptelor de încărcare s-a stabilit

astfel încît efortul unitar să nu depășească rezistența la compresiune a materialului;

- fiecare treaptă de încărcare s-a menținut pînă la consumarea deformațiilor, care s-au măsurat în jumătatea mijlocie a epruvetelor cu ajutorul a două microcomparatoare, fixate pe epruvetă (fără a atinge presa ) prin două coliere metalice (fig.3.14);

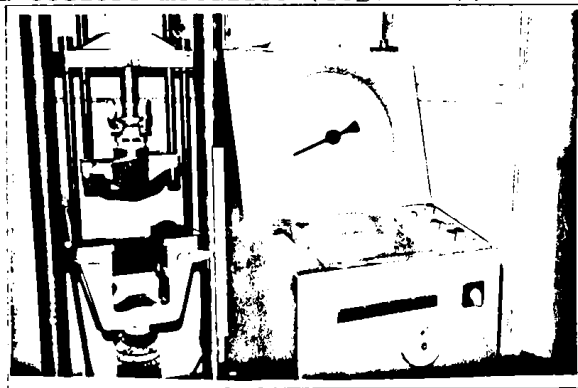


Fig.3.14. Citirea deformațiilor elastice.

- calculul modurilor de elasticitate (E) s-a efectuat prin una din următoarele relații:

$$E = \frac{P}{l_e} \times L \quad [daN/cm^2] \quad (3.5)$$

sau

$$E = \frac{\Delta P}{\Delta l_e} \times L \quad [daN/cm^2] \quad (3.6)$$

în care:

p este presiunea exercitată asupra probei (de exemplu: 3; 4 și 5 daN/cm<sup>2</sup>), caz în care modulul de elasticitate (E<sub>1</sub>) se consideră media celor trei valori;

l<sub>e</sub> - deformația elastică corespunzătoare presiunii specifice p, în mm;

L - distanța dintre marginile interioare ale colierelor (50 cm pentru epruvete din nisip stabilizat și 75 cm pentru epruvetele din balast stabilizat), în mm;

Δp - variația presiunii specifice, de regulă (4-2) daN/cm<sup>2</sup> (rezultă un modul de elasticitate E<sub>2</sub>) și (6-4) daN/cm<sup>2</sup> (rezultă un modul de elasticitate E<sub>3</sub>);

Δl<sub>e</sub> - variația deformației elastice corespunzătoare variației de presiune de Δp.

Pentru cazul concret al nisipurilor de balastieră de pe valea Crișului Alb tratate cu piroclastite adezitive de Virfurile măcinate studiat de autor în laborator s-au obținut pentru modulii de elasticitate valorile din tabelul 3.1.

Tabelul 3.1.

DOZAJ	E1		E2		E3	
	7 zile	28 zile	7 zile	28 zile	7 zile	28 zile
72 % nisip +25 % piroclasti tă + 3 % ciment	17 685	33 400	15 120	22 960	12 195	20 840
73 % nisip + 25 % piroclasti tă + 2 % ciment	9 495	15 250	8 500	11 370	7 050	10 440

Această metodologie de determinare a modurilor de elasticitate permite evidențierea citorva concluzii interesante:

- pentru o vîrstă dată modulul de elasticitate cel mai mare este E1 urmîndu-i modulul de elasticitate E2 (pentru  $\Delta p$  4-2 daN/cm<sup>2</sup>) și modulul E3 (pentru  $\Delta p$  = 6-4 daN/cm<sup>2</sup>). Rezultă că dacă două straturi consecutive într-o structură rutieră sînt executate din același material (agregat natural tratat cu dozaje identice de liant hidraulic sau puzzolanic) atunci stratul superior va fi dimensionat la un modul de elasticitate mai mic (corespunzător ecartului de presiune mai mare), decît cel al stratului inferior (corespunzător ecartului de presiune mai mic). În aceste condiții devine logică micșorarea dozajului de liant pentru stratul inferior, care va conduce implicit și la reducerea modulului de elasticitate;

- prin unele cercetări efectuate în țara noastră [19] asupra nisipurilor și balasturilor tratate cu ciment s-au stabilit legile de variație a modurilor de elasticitate (E), funcție de rezistența la compresiune la: 7 zile ( $R_{07}$ ):

. pentru nisipuri tratate cu ciment:

$$E = 500 R_{07}^{1.2} \quad [\text{daN/cm}^2] \quad (3.7)$$

. pentru balasturi tratate cu ciment:

$$E = 100 R_{c7}^{1.6} \quad [\text{daN/cm}^2] \quad (3.8)$$

În aceste condiții, valoarea modulului de elasticitate pentru calcule de dimensionare poate fi obținută prin încercarea de laborator propriu-zisă sau prin deducerea sa funcție de rezistențele mecanice:

- pentru nisipul tratat cu piroclastită andezitică măcinată activată cu ciment se constată o reducere semnificativă a rezistențelor mecanice și a modurilor de elasticitate concomitent cu micșorarea dozajului de ciment de la 3 la 2 %, fapt care poate fi pus și pe contribuția cimentului, ca liant, la creșterea rezistențelor mecanice;

- modulii de elasticitate determinați în laborator sînt comparabili pentru vîrstatele respective, cu cei menționați pentru lianți puzzolanici utilizați în Franța (fig.3.7, 3.8 și tabelul 3.2) [57], [58], [33].

Tabelul 3.2.

MATERIAL	ICE la 360 zile, în cm	Rt, în daN/cm <sup>2</sup>	E la 360 zile, în daN/cm <sup>2</sup>
Agregate naturale tratate cu zgură granulată sau cu lianți puzzolanici naturali	23...34	≥6,5	200 000
Agregate naturale tratate cu zgură granulată măcinată	23...32	≥8,0	250 000
Agregate naturale tratate cu ciment	20...26	≥11,0	≤100 000
Agregate naturale tratate cu cenuși de termocentrală sulfocalcice	18...23	≥14,0	≤150 000

În aceste condiții, se poate presupune că și comportarea în exploatare a straturilor din agregate naturale tratate cu lianți puzzolanici naturali studiați de autor, în condițiile respectării dozașelor și tehnologiilor de execuție, va fi asemănătoare cu a straturilor executate din materialele sus - menționate.

### 3.1.2. Comportarea la oboseală a materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici

În exploatare, structurile rutiere sînt supuse unor solicitări dinamice repetate, motiv pentru care determinarea calității materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici utilizate în straturile rutiere numai pe baza caracteristicilor mecanice este incompletă. În aceste condiții, se pune tot mai acut problema cunoașterii comportării la sarcini repetate a materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici atât pentru stabilirea dozașelor optime, cît și pentru dimensionarea straturilor rutiere.

Sub efectul sarcinilor repetate materialele tratate cu lianți suportă degradări progresive ale caracteristicilor inițiale, pînă la distrugerea lor completă prin rupere. În consecință, inclusiv materialele tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, sub efectul sarcinilor repetate, se rup la eforturi unitare inferioare cu mult celor care ar produce ruperea la o singură încărcare.

În general comportarea la sarcini repetate a unui material se stabilește prin trasarea așa-numitelor curbe de oboseală ale acestuia, cu aparate complexe și în condiții de încercare bine determinate. Există două posibilități de încercare și implicit două tipuri de curbe de oboseală:

- legi de oboseală obținute prin păstrarea constantă a efortului unitar ( $\sigma$ ) în epruvetă pe tot parcursul încercării;
- legi de oboseală stabilite pentru păstrarea constantă a deformației relative ( $\epsilon$ ) a epruvetei pe tot parcursul încercării.

Legile de oboseală sînt curbe fie de forma (fig. 3.15):

$$\sigma = f(N) \text{ sau } \epsilon = g(N) \quad (3.9)$$

fie de forma (fig.3.16):

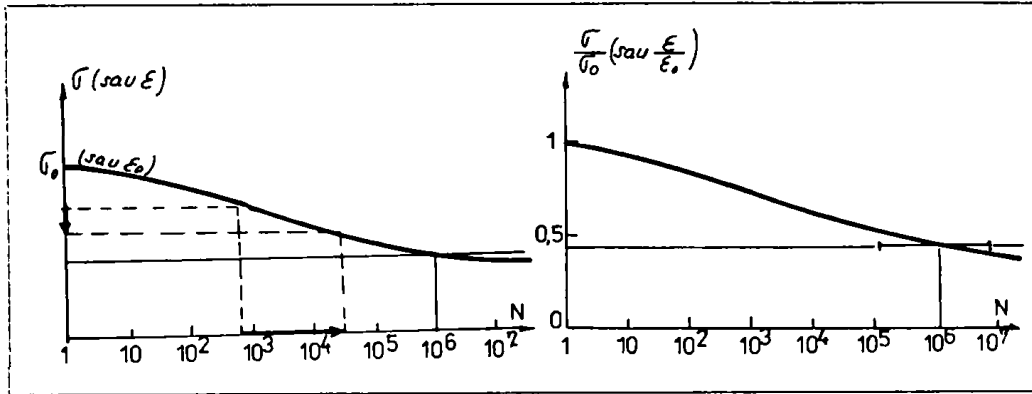


Fig.3.15. Curbă de oboseală  
 $\bar{\sigma} = f(N)$ .

Fig.3.16. Curbă de oboseală  
 $\bar{\sigma}/\bar{\sigma}_0 = f'(N)$ .

Curbele  $\bar{\sigma} = f(N)$  dau direct mărimea efortului unitar care produce ruperea materialului după un număr impus de solicitări, în timp ce curbele  $\bar{\sigma}/\bar{\sigma}_0 = f'(N)$  permit estimarea influenței creșterii numărului de solicitări asupra propagării fisurilor în material [33], [58], [62].

### 3.1.2.2. Condiții privind încercarea de oboseală

Având în vedere rigiditatea ridicată a straturilor din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în raport cu cea a stratului suport și a straturilor bituminoase, linia de influență a eforturilor unitare într-un punct A, situat la baza stratului, este de forma celei prezentate în fig.3.17. În aceste condiții, eforturile unitare maxime care apar în dală sînt de întindere din încovoiere (cînd sarcina din trafic este în apropierea punctului A), apărînd și mici eforturi unitare de compresiune (pe măsura îndepărtării sarcinii din trafic de punctul A). De asemenea, se are în vedere că rezistența la întindere a unor astfel de materiale este de circa 10 ori mai mică decît rezistența la compresiune, fapt care conduce la producerea ruperii, de regulă, prin întindere.

În acest context, încercarea la oboseală trebuie să țină cont de modul de solicitare și comportare a materialelor în exploatare, perfectîndu-se pînă în prezent următoarele metode:

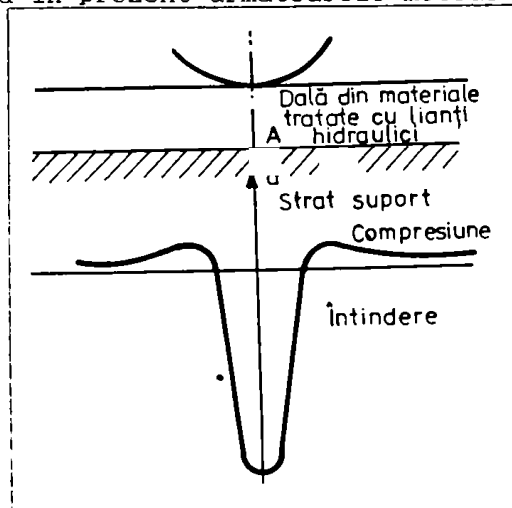


Fig.3.17. Linia de influență a eforturilor unitare în punctul A.

- încercarea la oboseală prin solicitarea la eforturi unitare de întindere din încovoiere, care permite o bună aproximare a solicitării materialului cu cea reală;

- încercarea la oboseală prin întindere - compresiune, care permite o mai bună apreciere a mecanismului de propagare a fisurilor în material.

#### a. Încercarea la oboseală prin încovoierea epruvetei

Încercarea la oboseală prin încovoierea epruvetei se poate efectua într-o gamă relativ mare de variante:

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

- prin încovoierea față de trei puncte (fig.3.18.a);

- prin încovoiere circulară (fig.3.18.b);

- prin încovoierea unor epruvete trapezoidale cu baza incastrată (fig.3.18.c).

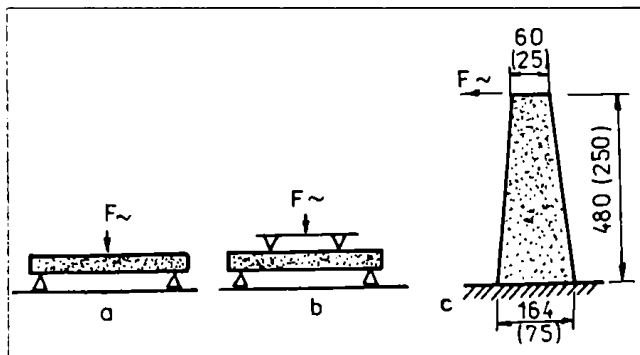


Fig.3.18. Diferite moduri de solicitare la încovoiere.

Încercarea cea mai utilizată pentru materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici este prin solicitarea la încovoiere a unor epruvete trapezoidale incastrate la bază. În acest mod se realizează cel mai ușor, din punct de vedere mecanic, încărcarea epruvetei, precum și o repartizare relativ uniformă a eforturilor unitare (prin forma epruvetei). Dimensiunile epruvetelor utilizate sînt, de regulă, stabilite astfel încît în zona centrală (acolo unde se fac măsurătorile) acestea să aibă o dimensiune egală cu de cinci ori dimensiunea maximă a granulei din amestec (de regulă, dimensiunile epruvetei, pentru balasturile tratate și, în paranteză, pentru nisipurile tratate sînt date în fig. 3.18.c) [58],[60].

În aceste condiții s-a stabilit că legătura dintre efortul unitar maxim ( $\sigma_m$ ) și forța ( $F$ ) necesară de aplicat la capătul epruvetei este următoarea:

- pentru balasturi tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici:

$$\sigma_{max} \text{ (daN/cm}^2\text{)} = 0,012 F \text{ (daN)} \quad (3.11)$$

- pentru nisipuri și pămînturi tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici:

$$\sigma_{max} \text{ (daN/cm}^2\text{)} = 0,12 F \text{ (daN)} \quad (3.12)$$

Avînd în vedere și faptul că rezistența la întindere din încovoiere maximă pentru ruperea la prima încărcare a materialelor tratate cu

lianți hidraulici sau puzzolanici este de circa  $35 \text{ daN/cm}^2$  (în cazul cenușilor sulfocalcice) și că aparatul trebuie să solicite epruveta la un efort unitar reprezentînd circa 80 % din această valoare se poate deduce forța maximă necesară de dezvoltat de către aparat:

$$F = \frac{0,8 \times 35}{0,012} = \frac{28}{0,012} = 2333 \text{ daN} \quad (\text{de regulă } 2500 \dots 3000 \text{ daN}) \quad (3.13)$$

Pe de altă parte rigiditatea ridicată a acestor materiale implică o deplasare a capătului liber al acesteia foarte mică, de ordinul a  $10 \dots 500 \mu\text{m}$ , după caz.

Schema bloc a aparatului care permite obținerea caracteristicilor sus-menționate, inclusiv prelucrarea datelor pînă la obținerea legii de oboseală a materialului, este prezentată fig.3.19.

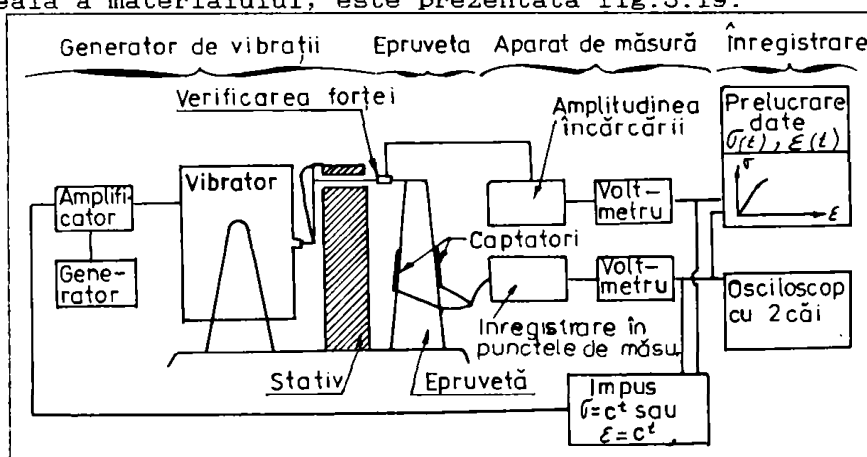


Fig. 3.19. Schema bloc a aparatului de încercare la oboseală a materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

- Se constată că aparatul este compus din trei părți principale:
- generatorul de vibrații care presupune un generator de frecvență, un amplificator de putere și un vibrator;
  - dispozitive de măsurare a eforturilor unitare și deformațiilor și înregistrarea lor;
  - aparatura de verificare și control a încercării, care permite măsurarea vibrațiilor și păstrarea constantă pe durata încercării fie a deformației, fie a efortului unitar.
- Eforturile unitare și deformațiile sînt înregistrate astfel [30]:
- pe un înregistrator care permite trasarea curbei  $\bar{\sigma} = f(\bar{\epsilon})$  și determinarea directă a modulului de elasticitate;
  - pe un înregistrator cu două căi, funcție de timp, care permite urmărirea evoluției efortului unitar, respectiv a deformației relative, corespunzător legii de oboseală cu deformație constantă, respectiv cu efort constant.

#### b. Încercarea la oboseală prin întindere - compresiune

Aparatul pentru determinarea legilor de oboseală prin întindere - compresiune este realizat pe același principiu ca și cel utilizat pentru determinarea legilor de oboseală prin încovoiere, fiind numai adaptat la noua formă a epruvetei (epruvetă cilindrică cu diametrul de 160 mm și înălțimea de 320 mm, cu o îngustare în partea centrală corespunzătoare unui diametru de 140 mm) [58].

În aceste condiții, ținînd cont că rezistența la întindere directă maximă pentru materialele tratate cu lianți hidraulici sau



puzzolanici este de  $40 \text{ daN/cm}^2$  și presupunând o durabilitate de 0,5, amplitudinea maximă a efortului unitar de întindere directă aplicat pe epruvetă va fi  $20 \text{ daN/cm}^2$  (deci o încărcare necesară maximă de 30 kN, care se aplică alternativ întindere - compresiune). În acest caz, când rezistența la compresiune este de circa zece ori mai mare decât rezistența la întindere, se poate considera că ruperea se produce numai prin solicitarea de întindere.

### 3.1.2.3. Particularități ale curbelor de oboseală în cazul materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici

Referitor la cele două posibilități de trasare a curbelor de oboseală se pot face următoarele observații [58], [197]:

- o curbă de tipul  $\xi = g(N)$  se obține pentru mai multe încercări de oboseală cu diferite deformații relative impuse (constante). Rezultatele în acest caz sînt mai dispersate față de încercarea cu efort unitar constant, datorită faptului că o dată cu apariția și propagarea fisurilor în material scade și modulul de elasticitate. Pentru păstrarea constantă a deformației epruvetei este necesar să se micșoreze și forța de încărcare și în acest fel fenomenul de rupere este determinat cu destulă imprecizie;

- o curbă de tipul  $\bar{\sigma} = f(N)$  se obține pentru mai multe încercări de oboseală cu efort unitar constant. De regulă, datorită faptului că fenomenul de rupere în acest caz este mai exact urmărit (efortul unitar în epruvetă nu se micșorează pe măsura propagării fisurilor), aceasta este încercarea care se alege pentru studiul materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

Efortul unitar aplicat materialului este de forma:

$$\bar{\sigma} = a \sin \varphi t \quad (3.14)$$

care reprezintă o lege sinusoidală cu valoarea medie nulă.

În exploatare s-a constatat că frecvența de încărcare este de circa 12,5 Hz (pentru o viteză de 100 km/h). Practic, pentru materialele tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici nu se sesizează diferențe semnificative pentru frecvențe de 10...100 Hz, motiv pentru care încercarea se efectuează de regulă cu o frecvență de 50 Hz (o încercare pentru  $10^6$  cicluri durînd 5...6 h).

Trasarea unor curbe de oboseală se efectuează pe baza unui număr important de încercări (fig.3.20). Astfel, pentru obținerea numărului de cicluri ( $N$ ), care conduce la ruperea materialului pentru un anumit efort unitar constant, în condițiile unei probabilități acceptabile, sînt necesare cel puțin 40 determinări. Rezultă că pentru 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 că pentru fiecare material tratat cu lianți hidraulici sau puzzolanici și pentru fiecare vîrstă se obțin alte curbe de oboseală [58].

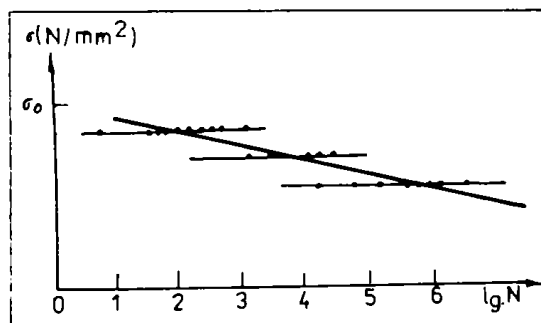


Fig.3.20. Exemplu de trasare a curbei lui Wohler.

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 1000 vehicule grele pe zi și o durată de exploatare de 10 ani se ajunge la  $3,6 \times 10^6$  cicluri, deci interesează în mod deosebit zona din curba de oboseală corespunzătoare unui interval de  $5 \times 10^5 \dots 5 \times 10^6$  cicluri. În aceste condiții sînt necesare doar două puncte, sau chiar numai un punct dacă este cunoscută forma curbei de oboseală.

Referitor la forma curbei de oboseală se pot reține următoarele ecuații:

$$\lg \bar{\sigma} = a - b \lg N \quad (3.15)$$

$$\bar{\sigma} = \frac{a - b \lg N}{c - d \lg N} \quad (3.16)$$

$$\bar{\sigma} = a - b \lg N \quad (3.17)$$

Ecuția 3.15 reprezintă mai ales curbele de oboseală ale metalelor și amestecurilor asfaltice, exprimînd faptul că logaritmul efortului unitar este direct proporțional cu logaritmul numărului de cicluri. Acest tip de ecuație nu se pretează pentru betonul de ciment și materialele tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

Ecuția 3.16 exprimă proporționalitatea dintre logaritmul numărului de cicluri și efortul unitar, fiind o funcție hiperbolică.

Ecuția 3.17 exprimă proporționalitatea dintre efortul unitar și logaritmul numărului de cicluri printr-o funcție liniară, dar ea nu poate fi aplicată decît într-un interval al numărului de cicluri, deoarece nu este verificată pentru ( $\bar{\sigma} = 0$  și  $N = \infty$ ).

Cu toate acestea, într-un anumit interval al numărului de cicluri ( $N = 1 \dots 10^7$ ), ecuația 3.17 dă o bună reprezentare pentru beton și materialele tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici (excepție făcînd nisipurile și pămînturile tratate cu lianți hidraulici și puzzolanici, pentru care se pot obține alte forme pentru curbele de oboseală: hiperbolă, dreaptă sau curbă în formă de S) [58].

Avînd în vedere dificultatea obținerii întregii curbe de oboseală se pune problema găsirii efortului unitar impus care conduce la ruperea epruvetei după un număr de  $10^6$  cicluri ( $\bar{\sigma}_e$ ), care se utilizează apoi pentru caracterizarea comportării materialului la oboseală. Pentru aceasta se procedează astfel:

- în cazul balasturilor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici pentru care s-a acceptat o curbă liniară, un punct al curbei se poate afla ușor ( $N = 1$ ;  $\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_0$ ). Pentru al doilea punct printr-o serie de încercări preliminare se determină  $\bar{\sigma}'_e$  (efort unitar care se presupune că ar permite ruperea epruvetei la  $10^6$  cicluri). Păstrînd constant  $\bar{\sigma}'_e$  se efectuează min. 40 determinări în urma cărora, prin corelație statistică, se determină valoarea medie a numărului de cicluri  $N'_e$ , obținîndu-se astfel al doilea punct al drepte (fig.3.21);

- pentru nisipuri tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici forma curbei de oboseală nefiind determinată este necesară stabilirea a două puncte în zona lui  $\bar{\sigma}_e$  ( $\bar{\sigma}'_s$ ;  $N'_s$ ) și ( $\bar{\sigma}'_e$ ;  $N'_e$ ), (fig.3.22).

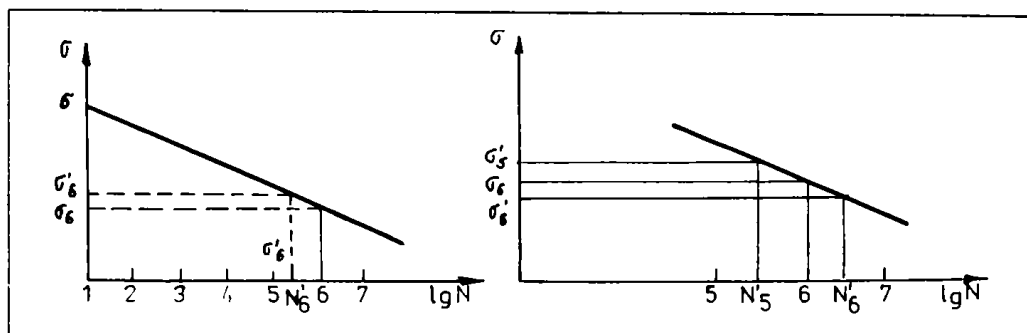


Fig.3.21. Trasarea curbei de oboseală pentru balasturi tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

Fig.3.22. Trasarea curbei de oboseală pentru nisipuri tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

În aceste condiții ecartul de variație al curbelor de oboseală, determinate prin raportul  $\sigma_6/\sigma_0$ , ale agregatelor naturale tratate cu diferiți lianți hidraulici sau puzzolanici este dat în fig.3.23 [62], [197].

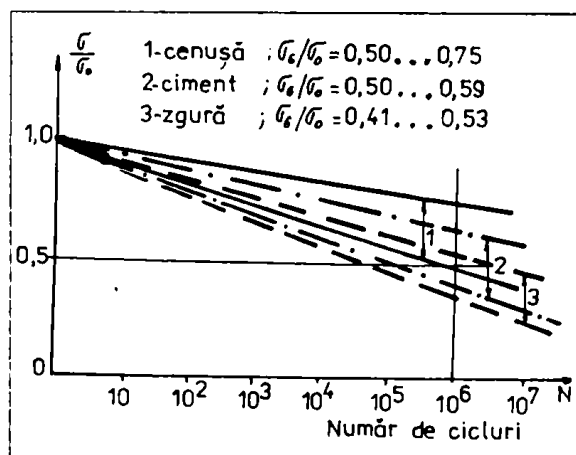


Fig.3.23. Curbele de oboseală ale agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

Se constată și în acest caz că eficiența cea mai ridicată o manifestă agregatele naturale tratate cu cenuși de termocentrală sulfocalcice, în raport cu cele tratate cu ciment sau zgură granulată.

#### 3.1.2.4. Caracterizarea rigidității materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici

Materialele tratate cu lianți hidraulici se caracterizează după întărire prin foarte mici deformații la întindere. Astfel deformațiile relative la întindere directă sînt de ordinul a  $35 \times 10^{-6} \dots 150 \times 10^{-6}$ . Pe de altă parte deformabilitatea materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici scade o dată cu vîrsta (de exemplu pentru un balast tratat cu zgură granulată: deformația relativă inițială este de  $150 \times 10^{-6}$  la 7 zile, micșorîndu-se apoi progresiv pînă la valoarea de  $80 \times 10^{-6}$ , la 360 zile) [33], [60].

În aceste condiții fisurarea straturilor rutiere realizate din aceste tipuri de materiale pare absolut inevitabilă. Contractia termică

împiedicată conduce la fisurare chiar la variații de câteva grade Celsius (coeficientul de dilatație termică fiind de  $10^{-5}$ ).

În timpul solicitării la oboseală, sub efectul sarcinilor repetate, apar de asemenea fisuri în material care se propagă ulterior, avînd ca efect o anumită pierdere a rigidității materialului. Aceasta se poate observa prin creșterea deformațiilor (deci micșorarea modulului de elasticitate). În fig.3.24 este prezentat un exemplu de evoluție a deformațiilor relative funcție de numărul de cicluri de încărcare pentru materiale tratate cu ciment, respectiv cu zgură granulată. Se pot distinge trei zone [58], [60]:

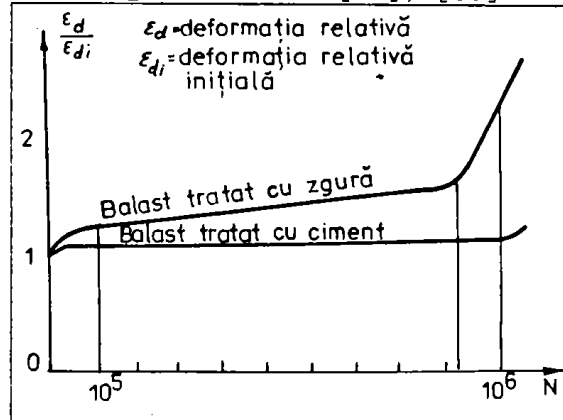


Fig.3.24. Evoluția deformației relative în timpul încercării la oboseală.

- în perioada întâi, pînă la circa  $5 \times 10^4$  cicluri deformația relativă crește foarte repede, cu circa 2...10 % pentru agregate naturale tratate cu ciment și cu circa 15...25 % pentru agregate naturale tratate cu zgură;

- în faza a doua (de propagare a fisurilor), care se situează în intervalul  $5 \times 10^4 \dots 9 \times 10^5$  cicluri (cea mai mare parte a duratei de exploatare a materialului), deformația relativă rămîne aproape constantă în cazul agregatelor naturale tratate cu ciment, în timp ce pentru cele tratate cu zgură creșterea deformației relative este mai importantă. Creșterile reduse ale deformațiilor relative atestă că în această perioadă propagarea fisurilor se face cu viteze mici;

- ultima fază începe cu circa  $5 \times 10^4$  cicluri înainte de rupere și se caracterizează prin atingerea unei valori critice pentru densitatea fisurilor, după care formarea fisurilor se face rapid pînă la rupere.

Viteza de propagare a fisurilor mai mică în cazul agregatelor naturale tratate cu ciment decît în cazul celor tratate cu zgură poate fi explicată prin caracterul mai viscoelastic al materialelor tratate cu ciment au o comportare aproape elastică.

Analizînd comportarea la oboseală a materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se pot reține următoarele concluzii:

- forma legilor de oboseală a acestor materiale este liniară, destul de orizontală, ceea ce arată că o ușoară diminuare a efortului unitar efectiv dintr-un strat rutier, ca urmare a unei supradimensionări, conduce la o creștere foarte mare a numărului de solicitări pînă la rupere, deci a duratei de exploatare (fig. 3.15). Astfel, o diminuare a efortului unitar efectiv cu 15...20 % conduce la creșterea duratei de exploatare teoretică de la  $10^6$  la  $10^7$  cicluri, sau creșterea grosimii unui strat rutier cu 10 % conduce la mărirea de 5 ori a duratei de exploatare a acestuia [33];

- forma curbelor de oboseală ale acestor materiale atestă că o mică subdimensionare sau o mică creștere a solicitărilor peste limita prevăzută, care au ca efect o sporire mică a efortului unitar efectiv,

conduc la reducerea semnificativă a duratei de exploatare a stratului rutier. Astfel, o diminuare a grosimii unui strat de la 25 la 20 cm conduce la creșterea efortului unitar sub osia de 130 kN cu 35 %, ceea ce este echivalent cu împărțirea numărului de cicluri pînă la rupere cu 100 [60];

- între efortul unitar efectiv obținut pentru solicitările caracterizînd un trafic ușor și efortul unitar efectiv obținut pentru solicitările produse de un trafic greu există mici diferențe, deci, implicit, grosimile straturilor rutiere pentru cele două cazuri sînt apropiate. Se poate reține că adaptarea grosimii straturilor din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici pentru trafic ușor este dificilă, deoarece reducerea grosimii stratului nu este proporțională cu reducerea traficului de la greu și foarte greu, la foarte ușor (aspect care este diferit în cazul unor straturi bituminoase);

- deformațiile înregistrate pentru agregatele naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici cresc în timpul încercării la oboseală, dar rămîn la valori reduse pînă în momentul ruperii, fapt care demonstrează încă o dată sensibilitatea acestor materiale la suprasarcini sau subdimensionare.

### 3.1.3. Influența factorilor de compoziție asupra calității materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici

Principalii factori care influențează caracteristicile fizico-mecanice ale agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici sînt următorii [33], [31], [51], [73], [144]:

- dozajul de ciment, care o dată cu creșterea sa conduce la îmbunătățirea, aproape în raport de proporționalitate, a rezistențelor mecanice. Fenomenul este mai sesizabil în cazul cimentului, deoarece în cazul lianților puzzolanici depășirea unor anumite limite conduce la scăderea pronunțată a rezistențelor mecanice datorită umflării (se impune stabilirea dozajelor optime prin încercări preliminare);

- dozajul de apă are o influență foarte mare asupra rezistențelor mecanice ale agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Astfel, pentru stabilizările cu ciment (fig.3.25) dozajul de apă recomandat pentru obținerea rezistențelor mecanice maxime se situează cu circa 1 % sub valoarea umidității optime de compactare Proctor modificat. După depășirea acestei valori, rezistențele mecanice scad foarte periculos (de ex. pentru o umiditate cu 1 % mai mare decît umiditatea optimă de compactare Proctor modificat rezistențele mecanice sînt cu 55...60 % sub valoarea maximă);

- gradul de compactare are de asemenea o influență importantă asupra rezistențelor mecanice. Astfel, pentru materiale tratate cu ciment micșorarea gradului de compactare de la 100 % la 95 % conduce la scăderea rezistenței la întindere din incovoiere 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 cît granulozitatea materialului se îndepărtează de zona de granulozitate prescrisă, mai ales în cazul unor agregate naturale bogate în nisip, cu atît rezistențele mecanice obținute sînt mai reduse. Aceste rezultate arată influența factorilor de compoziție ai agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici și puzzolanici asupra rezistențelor mecanice și, implicit, asupra calității dată prin durata de exploatare a straturilor rutiere astfel executate. Evidențierea relațiilor de compoziție pentru un anumit material se poate face global prin indicii de calitate elastic (ICE), care arată că durata de exploatare este cu atît mai mare cu cît rezistența la întindere este mai mare și cu cît, pentru o rezistență la întindere

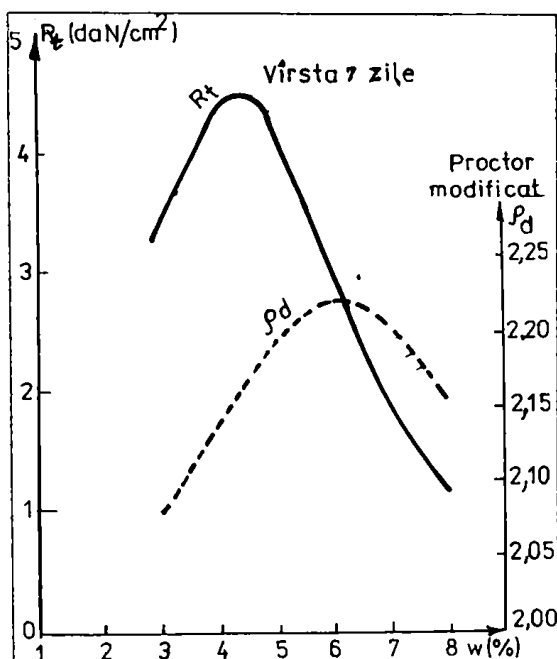


Fig.2.25. Influența umidității de compactare asupra rezistențelor mecanice.

constantă, modulul de elasticitate este mai redus. Caracteristica cea mai importantă dintre cele două rămâne întotdeauna prima (vezi pct.3.1.1.3.).

În acest context, unele experimentări efectuate în Franța au arătat că influența factorilor de compoziție asupra grosimii unui strat din balast tratat cu ciment, necesară pentru a suporta cele  $10^6$  cicluri impuse de indicele de calitate elastic este cea prezentată în tabelul 3.3 (grosimea necesară în cazul unui dozaj optim teoretic este de 30 cm).

Tabelul 3.3.

NR. CRT.	PARAMETRUL	NATURA VARIATIEI	CREȘTEREA GROSIMII NECESARE, în cm
1.	Granulozitatea	De la limita inferioară la cea superioară a zonei de granulozitate	3,0
2.	Dozaj de ciment	De la 3,5 la 3,0 %	3,0
3.	Grad de compactare	De la 100 la 95 la %	4,5
4.	Dozaj de apă	De la 1 % sub $w_{opt}$ Proctor modificat la 5 % peste această valoare	10,0

Aceasta arată că dacă se dorește obținerea unei calități corespunzătoare a straturilor din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici atunci trebuie acordată o atenție deosebită stăpînirii dozajului de apă și realizării gradului de compactare, deoarece mici variații ale dozajului de ciment și ale granulozității nu au efecte importante asupra duratei de exploatare. În realitate, diferenții parametrii de compoziție nu variază izolat, ci concomitent, motiv pentru care ar trebui adoptată în acest caz o grosime de circa 15 cm mai mare pentru a compensa toate erorile (deci cu 50 % din grosimea inițială). Acesta este motivul pentru care se recomandă, la dimensionarea structurilor rutiere mixte, adoptarea caracteristicilor minime ale materialelor și nu a celor medii [33].

### 3.2. Fisurarea din contracție a straturilor rutiere din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici

Contractia reprezintă micșorarea volumului straturilor rutiere realizate din beton sau din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în cazul întăririi în aer. Datorită faptului că micșorarea dimensiunilor straturilor rutiere este împiedecată în plan orizontal (în mod normal numai pe direcția lungimii stratului), apar eforturi interioare care pot atinge valori ridicate, ducând la fisurarea elementului.

Mărimea contracției și deci a eforturilor care apar depinde de mărimea elementului și de caracteristicile materialului din care este executat (rezistență la întindere, modulul de elasticitate, deformabilitate etc.), care la rândul lor pot fi influențate de o serie de factori. Prin stăpânirea acestor factori se poate ajunge teoretic la controlul fisurării datorită contracției.

#### 3.2.1. Factori care influențează fisurarea din contracție

Este foarte dificil de a izola un anumit factor pentru a-i analiza influența asupra fisurării, deoarece este puțin probabil să se poată executa două sectoare de drum diferite pe care un singur parametru să varieze.

În acest context, precizările referitoare la influența diferiților factori de compoziție sau de exploatare se bazează pe observații repetate asupra unor structuri rutiere mixte aflate în exploatare și pe unele încercări de laborator [18], [19], [20], [57], [67], [62], [201].

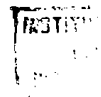
##### 3.2.1.1. Influența naturii și dozajului de liant

Referitor la natura lianților hidraulici sau puzzolanici utilizați pentru tratarea agregatelor naturale se pot concretiza următoarele observații;

- prin utilizarea lianților hidraulici sau puzzolanici clasici, fisurarea din contracție a straturilor rutiere nu poate fi împiedecată, chiar dacă funcție de liant ecartul dintre fisuri variază în limite largi (mai mic pentru ciment și mai mare pentru lianții puzzolanici). Acest fenomen este determinat de deformabilitatea mai redusă a agregatelor tratate cu ciment precum și de rigiditatea lor mai ridicată (vezi tabelul 3.4 și cap. 3.1.1);

- corelația dintre rezistența la întinere din încovoiere și modulul de elasticitate este mai favorabilă producerii fisurării în cazul agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici decât în cazul celor tratate cu lianți puzzolanici (excepție fac totuși cenușilor sulfocalcice sau calcice).

Referitor la dozajul de liant se poate observa (tabelul 3.4) că variația acestuia în limite prescrise nu conduce la modificarea esențială a caracteristicilor materialului care influențează fisurarea. În schimb trebuie reținut faptul că timpul de priză și viteza de întărire influențează direct mărimea ecartului dintre fisuri (din nou agregatele naturale tratate cu ciment sînt cele mai dezavantajate).



Tabelul 3.4.

MATERIAL	LIANT, în %	Rt, în daN/cm <sup>2</sup>	E, în daN/cm <sup>2</sup>	$\epsilon$
Agregate naturale tratate cu ciment (28 zile)	3,5	7,2	222 000	32.10 <sup>-6</sup>
	4,0	9,3	290 000	32.10 <sup>-6</sup>
	4,5	10,1	290 000	35.10 <sup>-6</sup>
Agregate naturale tratate cu zgură măcinată (90 zile)	8,0	8,1	262 000	32.10 <sup>-6</sup>
	12,0	11,0	267 000	40.10 <sup>-6</sup>
	15,0	11,8	263 000	40.10 <sup>-6</sup>
Agregate naturale tratate cu zgură granulată (90 zile)	6,0	8,1	105 000	80.10 <sup>-6</sup>
	8,0	11,6	134 000	90.10 <sup>-6</sup>
	10,0	13,4	152 000	90.10 <sup>-6</sup>

### 3.2.1.2. Influența naturii agregatului natural

Acest parametru intervine în principal prin intermediul valorii coeficientului de dilatație termică al agregatelor naturale, care pentru rocile silicoase este aproape dublu față de cel al rocilor calcaroase: 10...12.10<sup>-6</sup> °C<sup>-1</sup> față de 6...8.10<sup>-6</sup> °C<sup>-1</sup>.

Pe de o parte această explicație poate justifica comportarea diferită a unor straturi rutiere executate cu agregate naturale silicoase și calcaroase, dar pe de altă parte evaluarea influenței coeficientului de dilatație al agregatelor naturale în cadrul unor materiale compozite este greu de verificat, deoarece nu poate fi separată de influența liantului, mai ales în cazul în care acesta se găsește în amestec în cantități importante (de ex. agregate naturale tratate cu lianți puzzolanici). Se pot reține totuși unele variații ale coeficientului de dilatație termică pentru diferite agregate naturale tratate cu același dozaj de liant. Astfel, pentru un balast tratat cu aceeași cantitate de zgură granulată au fost măsurăți următorii coeficienți de dilatare termică [201]:

- agregate naturale din granit:  $\lambda = 11.10^{-6}$  °C<sup>-1</sup>;
- agregate naturale de balastieră, silicoase:  $\lambda = 11.10^{-6}$  °C<sup>-1</sup>;
- agregate naturale calcaroase:  $\lambda = 8.10^{-6}$  °C<sup>-1</sup>.

De asemenea, natura agregatelor naturale și structura suprafeței (care influențează legătura liant-granule) pot avea o anumită influență asupra deformației la rupere a materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, cu repercusiuni directe asupra fisurării.

### 3.2.1.3. Granulozitatea

Experimentările efectuate în Franța [201] au arătat că fisurarea datorită contracției în cazul nisipurilor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici este mai redusă decât în cazul altor agregate naturale tratate cu aceiași lianți (pasul de fisurare fiind de circa 20 m pentru nisipuri și de 7...12 m pentru alte agregate naturale). Aceasta se explică prin faptul că micșorarea dimensiunii maxime a granulei dintr-un amestec (D) are ca efect creșterea temperaturii necesare pentru producerea fisurării.

Pe de altă parte, reducerea dimensiunii maxime a granulei (D) p



permite, pentru aceleași rezistențe, obținerea unei rigidități mai reduse și deci creșterea deformabilității pînă la rupere (fig.3.26).

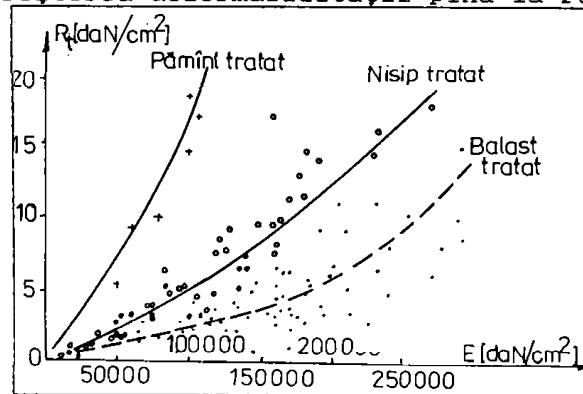


Fig.3.26. Relația între rezistența la întindere și modulul de elasticitate pentru materiale tratate.

#### 3.2.1.4. Influența gradului de compactare

Compactarea se răsfrînge direct asupra rezistenței la întindere și a modulului de elasticitate a materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Reducerea gradului de compactare printr-o slabă îndesare se răsfrînge asupra rezistențelor mecanice și implicit asupra fisurării (care este mai redusă), în timp ce reducerea gradului de compactare ca urmare a unei modificări a granulozității nu are o influență aparte asupra fisurării. Totuși, în condiții de calitate impuse, cînd se dorește obținerea unui material monolit, nu se poate accepta reducerea gradului de compactare și în consecință fisurarea din contracție nu poate fi influențată prin acest parametru.

#### 3.2.1.5. Influența umidității

Creșterea umidității are ca efect micșorarea contracției în perioada următoare punerii în operă, dar conduce la o scădere a rezistențelor mecanice (vezi pct.3.1.3). Deci pentru obținerea unei densități suficiente și evitarea unor deformații permanente după punerea în operă, sub efortul circulației, dozajul de apă trebuie bine stăpînit. În aceste condiții influențarea fisurării prin creșterea umidității la punerea în operă este nerecomandată. De asemenea, nu trebuie neglijate observațiile efectuate asupra betoanelor de ciment, care atestă că prin creșterea raportului apă/ciment se obține de fapt o sporire a contracției, în timp ce menținerea materialului într-un mediu umed conduce la contracții mai mici decît în cazul păstrării în mediu umed [6].

#### 3.1.1.6. Influența părților fine argiloase

Faptul că pămînturile tratate cu lianți hidraulici se comportă bine la fisurare (fig.3.26) a condus la ideea că adaosurile de părți fine argiloase ar ameliora fenomenul de fisurare. Această soluție aduce însă cu sine o serie de inconveniente mult mai importante decît fisurarea, cum sînt:

- sensibilitatea straturilor rutier la apă și riscul deformațiilor permanente după priza liantului;

- sensibilitatea la îngheț;
- influența părților fine argiloase asupra prizei lianților hidraulici (apar contracții mai mari pe termen scurt).

În concluzie nu este indicată încercarea ameliorării fisurării prin adaos de părți fine argiloase în amestec.

### 3.2.1.7 Influența perioadei de punere în operă

Perioada de punere în operă și condițiile climaterice ale regiunii influențează fisurarea, în principal, prin ecartul de temperatură care conduce la ruperea datorită contracției. Astfel pentru aceeași zonă și același material, stratul executat în luna iulie a fisurat după prima iarnă, în timp ce stratul pus în operă în luna noiembrie a rămas nefisurat [201].

În aceste condiții se poate remarca faptul că fenomenul de fisurare din contracție a straturilor din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici nu poate fi împiedicat, ci cel mult încetinit prin modificarea unor factori de compoziție (tabelul 3.5).

Tabelul 3.5.

Caracteristici fizico-mecanice	Factori de compoziție	Influența asupra fisurării
Micșorarea coeficientului de dilatație termică	Natura agregatelor naturale	- creșterea ecartului de temperatură care antrenează fisurarea; - micșorarea deschiderii totale a fisurilor.
Micșorarea rezistenței la întindere	Natura și dozajul de liant	- micșorarea pasului dintre fisuri; - micșorarea deschiderii totale a fisurilor.
Micșorarea modulului de elasticitate (pentru o rezistență la întindere dată)	Natura liantului. Dimensiunea maximă a granulelor (D)	- creșterea ecartului de temperatură care antrenează fisurarea; - micșorarea deschiderii fisurilor la termen scurt.
Creșterea deformabilității	Natura liantului. Dimensiunea maximă a granulelor (D).	- creșterea ecartului de temperatură care antrenează fisurarea; - micșorarea deschiderii fisurilor.

Având în vedere că apariția fisurării din contracție este o certitudine pentru straturile rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se pune problema cunoașterii, pe cât posibil, a fenomenului pentru a-l putea controla și stăpîni.

### 3.2.2. Modelarea fisurării din contracție

Contracția straturilor rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici este alcătuită din contracția din perioada de priză și contracția termică, datorată variațiilor de temperatură zilnice sau anuale. Contracția din perioada de priză (în cazul cînd există) poate produce fisurarea, dar fisurile devin vizibile doar după suprapunerea contracției termice. Aceasta constituie cauza principală a apariției fisurilor transversale echidistante în straturile rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

În aceste condiții, studiul modului de apariție a fisurării în straturile rutiere executate din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se poate efectua prin următoarele mijloace:

- pe baza unor relații de calcul deduse pornind de la unele ipoteze simplificatoare;
- încercări de laborator specifice;
- urmărirea comportării în exploatare a unor structuri rutiere. Din păcate în acest mod se poate evidenția mai greu evoluția fisurării în stratul (straturile) din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici datorită necesității protejării sale prin execuția unor straturi bituminoase (vezi cap.1). Fenomenul se pune în evidență doar prin apariția fisurilor la nivelul suprafețelor de rulare (vezi cap.3.3).

### 3.2.2.1. Teoria simplificată a fisurării din contracție

Fără a uita că fisurarea datorită contracției este un fenomen complex și aleator, se poate evidenția evoluția acestui fenomen cu ajutorul unor relații de calcul acceptabile în următoarele ipoteze:

- materialul din stratul rutier are o comportare elastică (caracterizat prin modulul de elasticitate și rezistența la întindere);
- fisurarea se datorează contracției termice și netermice;
- nu apar gradiente de temperatură între fețele stratului rutier;
- fisurile apărute sînt regulate și echidistante;
- nu există alunecare între stratul rutier analizat și suportul său. La interfață apare coeficientul de frecare  $\mu$ .

În aceste condiții, calculul distanței dintre fisuri se face ținînd seama de forțele care solicită o dală de lungime (L) și anume forțele (f) exercitate de stratul inferior și eforturile unitare ( $\sigma$ ) din dală datorate contracției (fig.2.27). La limită se poate scrie egalitatea:

$$\sigma_t \cdot b \cdot h = \mu \cdot b \cdot h \cdot L / 2 \cdot \gamma \quad (3.18)$$

în care:

$\sigma_t$  este efortul unitar de întindere exercitat în centrul dalei, în  $\text{kN/m}^2$ ;

h - grosimea dalei, în m;

$\mu$  - coeficient de frecare;

$\gamma$  - greutatea volumică a materialului din stratul rutier, în  $\text{kN/m}^3$ ;

L - lungimea dalei în m;

b - lățimea dalei, în m.

În concluzie, la limită, distanța între fisuri va fi:

$$L = \frac{2R_t}{\mu \cdot \sigma} \quad [m] \quad (3.19)$$

Calculul deschiderii unei fisuri ( $\delta$ ) se efectuează ținînd seama că această valoare este rezultatul a două variații de lungime:

- pe de o parte, contracția plăcii, care reazemă fără frecări pe suport:

$$\delta_1 = \epsilon_0 \cdot L \quad [mm] \quad (3.20)$$

în care:

$\epsilon_0$  este contracția axială a materialului din dală, în  $\text{mm/m}$ ;

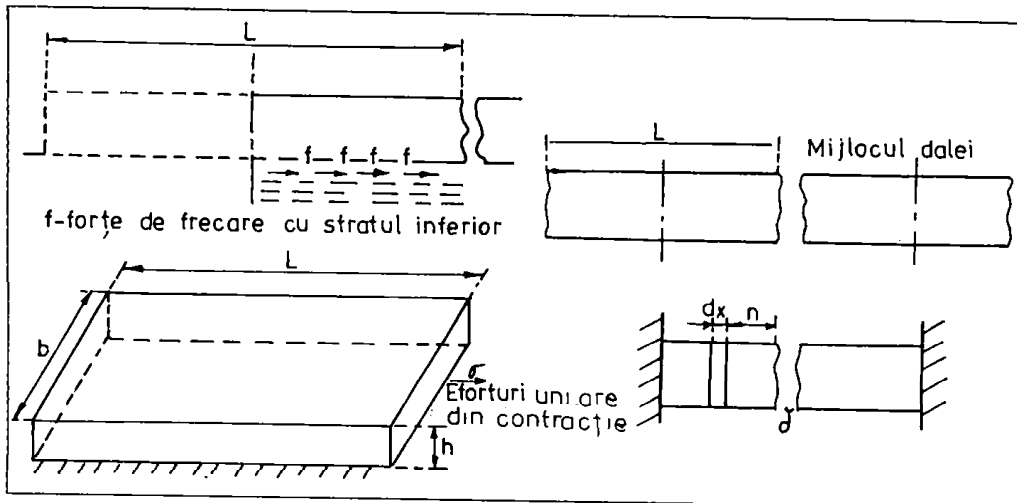


Fig.3.27. Schema forțelor care solicită dala. Fig.3.28. Schematizarea fizică a dalei fisurată.

- pe de altă parte, alungirea plăcii datorată forțelor de frecare, egală cu:

$$\sigma_2 = 2 \int_0^{L/2} \frac{\epsilon_x}{E} dx = 2 \int_0^{L/2} \frac{\mu \gamma x}{E} x dx = \frac{\mu \gamma L^2}{4E} \quad [m] \quad (3.21)$$

în care:

E este modulul de elasticitate al materialului analizat, iar celelalte notații au semnificațiile sus - menționate.

În final se poate reține următoarea expresie pentru deschiderea

$$\sigma = \sigma_1 - \sigma_2 = \epsilon_c L - \frac{\mu \gamma L^2}{4E} \times 1000 \quad [mm] \quad (3.22)$$

fisurii:

După un timp, ca urmare a solicitărilor la care este supus stratul rutier de către trafic și a încovoierii dalei de către gradientele de temperatură, se poate admite că alungirea dalei datorită frecărilor cu stratul suport este nulă. Ținând cont și de relația 3.19, deschiderea fisurii este dată de:

$$\sigma = \frac{2\epsilon_c R_t}{\mu \gamma} \quad [mm] \quad (3.23)$$

Aplicînd aceste relații în cazul unui balast tratat cu ciment ( $\mu = 1...4$  și  $\gamma = 2,27 \text{ kN/m}^3$ ), pentru care se consideră că distanța dintre fisuri este de 10 m se găsește  $R_t = 1...4 \text{ daN/cm}^2$ . Aceasta arată că începerea fisurării se produce la o vîrstă relativ redusă. Pe de altă parte, considerînd  $R_t = 5,0 \text{ daN/cm}^2$  și  $\gamma = 2,27 \text{ kN/m}^3$ , corespunzătoare unui balast tratat cu zgură, se ajunge, pentru un  $\mu = 1...4$ , la lungimi de dală de circa 400...100 m, ceea ce este mult diferit de constatările efectuate pe teren ( $L = 10...20 \text{ m}$ , pentru un astfel de material) [67].

Rezultă că, ipotezele simplificatoare acceptate, precum și faptul că acest calcul nu ia în considerare deformabilitatea diferită a materialelor obținute prin tratarea agregatelor naturale cu lianți

hidraulici sau puzzolanicici (mai mare în cazul nisipurilor decît a balasturilor) implică o anumită nesiguranță a relațiilor obținute. În acest context, pentru obținerea unor informații suplimentare referitoare la starea de eforturi într-un strat rutier supus la o contracție împiedicată au fost concepute unele aparate pentru încercări de laborator specifice [67], [201], [57], [180].

### 3.2.2.2. Încercări de laborator

În general, încercările de laborator concepute pentru evidențierea fisurării unor materiale datorită contracției pornesc de la ipoteza că materialul cercetat are o comportare elastică, coeficientul său de dilatație termică nedepinzînd de timp și temperatură. În acest mod, o scădere de temperatură, față de temperatura de punere în operă, conduce la o scurtare a dalei, calculată cu relația următoare:

$$\epsilon_d = \lambda \times \Delta\theta \quad (3.24)$$

în care:

$\epsilon_d$  este scurtarea relativă a dalei;

$\Delta\theta$  - variația de temperatură, în °C;

$\lambda$  - coeficientul de dilatație termică, în °C<sup>-1</sup>.

Comportarea elastică liniară a materialului pînă la rupere are ca efect, în timpul unei contracții împiedicate, apariția în dală a unor eforturi unitare ( $\sigma_t$ ), calculate cu relația următoare:

$$\sigma_t = E \cdot \lambda \cdot \Delta\theta \quad [\text{daN/cm}^2] \quad (3.25)$$

în care:

E este modulul de elasticitate al materialului, în daN/cm<sup>2</sup>.

În aceste condiții, dala fisurează cînd efortul unitar  $\sigma_t$  atinge valoarea rezistenței la întindere a materialului ( $R_t$ ). Pentru aceasta va fi nevoie de ecartul de temperatură  $\Delta\theta_f$ :

$$\Delta\theta_f = \frac{R_t}{E \cdot \lambda} \quad [^\circ\text{C}] \quad (3.26)$$

În realitate, variațiile de temperatură lente conduc la variații ale contracției termice foarte lente. Vizavi de acest mod de încărcare nu se poate vorbi despre o comportare elastică a materialului și în consecință ecartul de temperatură care produce practic fisurarea va fi mai mare decît cel calculat cu relația (3.26).

Încercarea de fisurare prin contracție împiedicată [57], [67], [201], constă în introducerea unor epruvete cilindrice (fig. 3.3 b) într-un dispozitiv de fisurare, plasat la rîndul său într-o incintă termostatică în interiorul căreia temperatura scade liniar cu 0,5 °C/h (fig. 3.29). Incinta are un volum de 800 L, cu dimensiunile de 1000 x 900 x 900 mm, în interiorul căreia temperatura se reglează automat cu o precizie de 0,1 °C.

Epruveta fiind fixată între platanele aparatului (pe tot timpul încercării lungimea ei va rămîne constantă), sub efectul contracției, la o anumită variație de temperatură, aceasta fisurează.

Păstrarea constantă a lungimii epruvetei se realizează prin aplicarea unor eforturi de întindere, cu ajutorul unei prese pneumatice, a căror valoare se reglează instantaneu, funcție de mărimea contracției epruvetei (fig. 3.29).

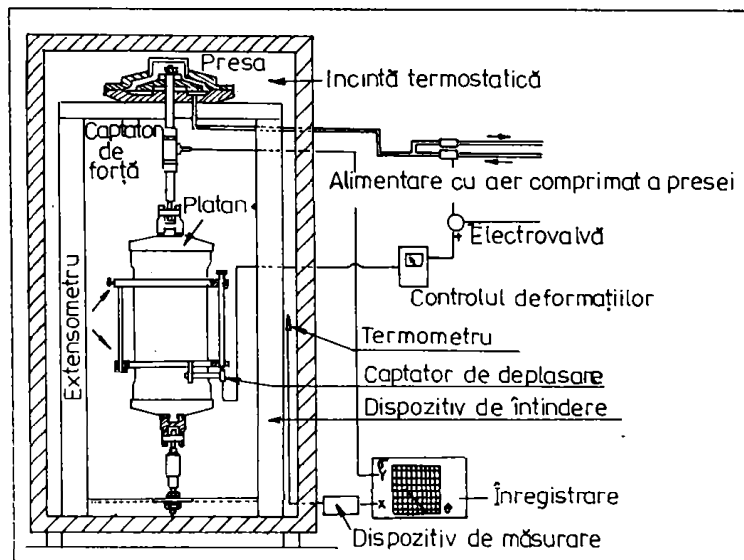


Fig.3.29. Schema de principiu a aparatului.

Pentru măsurarea deformațiilor epruvetei se recurge la un sistem extensometric compus din două inele fixată pe treimea mijlocie a epruvetei. Citirea deformațiilor se realizează cu ajutorul a trei captatori de deformații dispuși unul față de altul cu un unghi de  $120^\circ$ . Când epruveta se contractă se produce un semnal, care deschide electrovalva, permițând o creștere a solicitării de întindere pentru a combate deformația (acest sistem de păstrare constantă a înălțimii epruvetei are un pas de rezoluție de  $2 \times 10^{-9}$ ).

Toate măsurătorile sînt înregistrate într-un grafic XY (în abscisă variațiile de temperatură, iar, în ordonanță eforturile unitare). Astfel, pentru balasturi tratate cu ciment sau cu zgură granulată, din curbele tip de fisurare (fig.3.30) se constată că nu sînt necesare variații de temperatură mai mari de  $6^\circ\text{C}$  pentru a produce fisurarea.

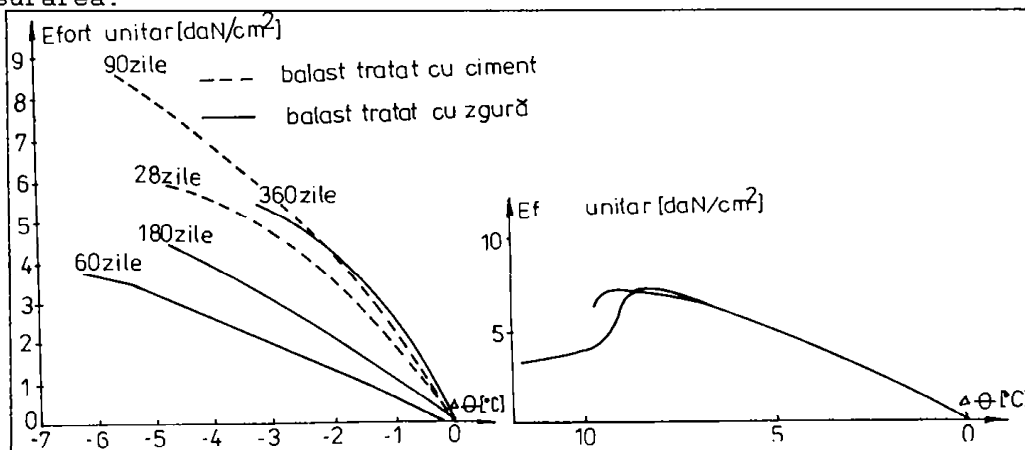


Fig. 3.30. Curbele tip de fisurare ale agregatelor naturale tratate cu ciment sau zgură.

Fig. 3.31. Curbele tip de fisurare ale nisipurilor tratate cu zgură.

Pentru nisipurile tratate cu zgură (fig. 3.31) variațiile de

temperatură care produc fisurarea sînt de 10...15 °C. Se remarcă relaxarea materialului după atingerea unor eforturi unitare de circa 7 daN/cm<sup>2</sup>, ruperea producîndu-se după o creștere în continuare a gradientului de temperatură.

Rezultatele obținute prin încercarea de fisurare completează observațiile efectuate de autor (vezi pct. 3.4) pe structuri rutiere mixte aflate în exploatare, care arată că straturile rutiere din nisipuri tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici fisurează mai greu decît cele din balasturi tratate cu aceleași tipuri de lianți.

Încercarea pentru determinarea curgerii lente liniare (fluaaj) permite studierea comportării visco - elastică a agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

Încercarea se poate efectua prin tracțiune directă sau, în mod frecvent, prin încovoiere. Astfel, în Franța [201] determinarea curgerii lente liniare se efectuează pe o epruvetă, încastrată la baza mare într-un suport vertical și încărcată în capătul opus cu o sarcină  $F$ , printr-o greutate suspendată  $P$  (fig.3.32). Sarcina  $F$  trebuie să asigure apariția în material a unor eforturi unitare  $\bar{\sigma} = 0,50 \cdot R_t$  (pentru care se consideră că nu începe microfisurarea), urmînd să se măsoare săgeata la capătul liber al epruvetei ( $f$ ), funcție de timp. Înregistrarea săgeții  $f$  permite trasarea evoluției deformației relative ( $\epsilon/\epsilon_1$ ) funcție de timp ( $t$ ) și obținerea așa - numitei curbe de fluaaj a materialului (fig.3.33).

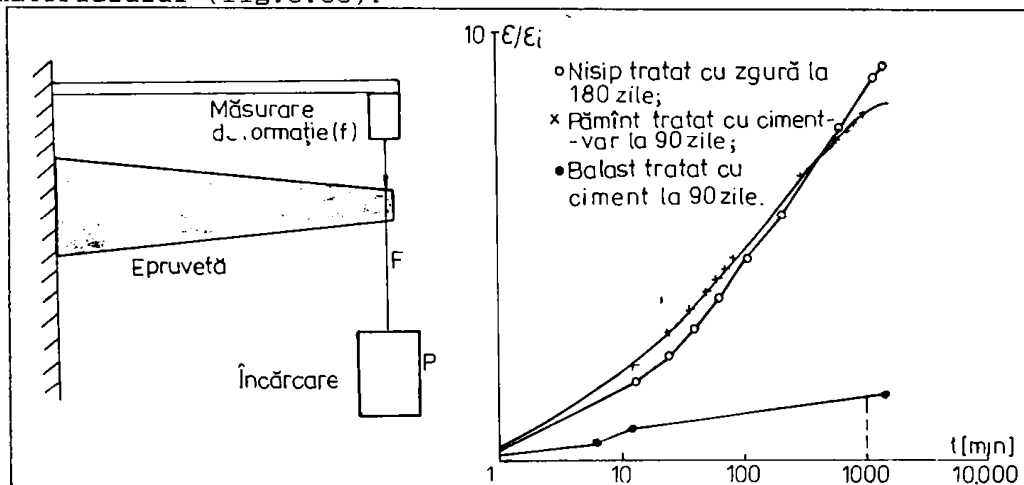


Fig.3.32. Schema de principiu a aparatului.

Fig.3.33. Curbe de fluaaj pentru materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

Se constată că în aceste condiții, fluaajul unui balast tratat cu ciment, la 90 zile, este aproape inexistent, în timp ce pentru pămînturi sau nisipuri tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, deformațiile cresc în timp, fiind de 5...8 ori mai mari decît cea inițială. Aceasta explică faptul că, în straturi rutiere, nisipurile și pămînturile tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se relaxează înainte de rupere, sub efectul solicitărilor produse de contracția termică. De asemenea, fluaajul nisipurilor tratate justifică fisurarea lor mai redusă (ca urmare a contracției termice), în raport cu balasturile tratate cu aceleași tipuri de lianți.

Determinarea contracției în laborator pentru un anumit ecart de temperatură ( $\Delta\theta$ ) permite stabilirea coeficientului de dilatație termică ( $\lambda$ ) cu relația 3.24 și (dacă se cunoaște și modulul de elasticitate al materialului) efortul unitar care apare în material în cazul unor contracții împiedicate ( $\bar{\sigma}_t$ ), cu relația 3.25. Comparînd efortul unitar

Încu rezistența la întindere a materialului  $R_t$  se poate analiza dacă materialul respectiv are fisura sau nu sub efectul gradientului de temperatură  $\Delta\theta$ , în condițiile unor contracții împiedicate.

Pornind de la aceste observații autorul a măsurat în laborator cu ajutorul dispozitivului din fig.3.34, contracțiile unui nisip tratat cu 25 % puzzolană naturală, activată cu 3 % ciment, pentru care au fost determinați anterior și modulii de elasticitate (vezi tabelul 3.1).

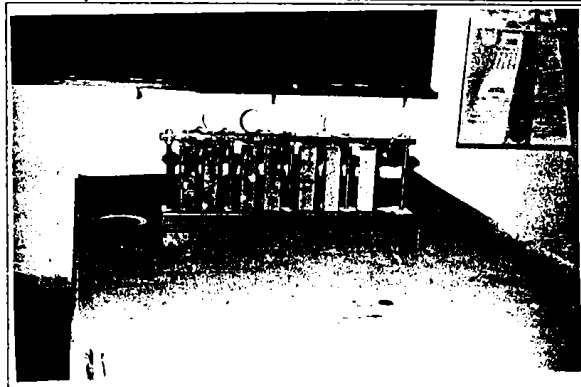


Fig.3.34. Dispozitiv pentru determinarea contracției în laborator.

Astfel, pentru gradiente de temperatură de 5; 10 și 20 °C rezultatele obținute pe epruvete prismatice la 28 zile sînt prezentate în tabelul 3.6. Epruvetele prismatice cu dimensiunile 16 x 4 x 4 cm au fost compactate la caracteristicile de compactare Proctor modificat, prin presare și păstrate în atmosferă umedă pînă la încercare.

Se constată că în condițiile acceptării comportării ideal elastice a materialului (deci valabilitatea relațiilor 3.24...3.26), nisipul tratat cu puzzolană - var nu va fisura decît după depășirea gradientului de temperatură de 10 °C.

În concluzie, în condiții normale de climă pentru țara noastră, care conduc la variații de temperatură (cel puțin anuale) mai mari de 10 °C, fisurarea unor straturi rutiere realizate cu astfel de materiale este inevitabilă (cu atît mai mult cu cît balasturile tratate cu lianți hidraulici fisurează și mai ușor datorită contracției) [57], [67], [201].

În acest context se pune problema găsirii modelării adecvate pentru studiul transmiterii fisurilor prin straturile bituminoase superioare și optimizarea soluțiilor tehnice pentru prevenirea sau măcar încetinirea apariției fisurilor din contracție din straturile din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, la nivelul suprafeței de rulare. Tabelul 3.6.

NR. CRT.	CARACTERISTICA	GRADIENT DE TEMPERATURA ( $\Delta\theta$ ), în °C		
		5	10	20
1.	Contractia	$55 \cdot 10^{-6}$	$100 \cdot 10^{-6}$	$240 \cdot 10^{-6}$
2.	Coeficientul de dilatație termică, în °C <sup>-1</sup>	$11 \cdot 10^{-6}$	$10 \cdot 10^{-6}$	$12 \cdot 10^{-6}$
3.	Efortul unitar de întindere, în daN/cm <sup>2</sup>	$1,65 < R_t$	$3,0 < R_t$	$7,2 < R_t$

Notă. Modulul de elasticitate la 28 zile s-a considerat 30 000 daN/cm<sup>2</sup> și rezistența la întindere 3,3 daN/cm<sup>2</sup> (tabelele 3.1 și 2.17).



### 3.3. Transmiterea fisurilor din contracție prin straturile rutiere bituminoase superioare

Urmărirea comportării în exploatare a structurilor rutiere mixte a condus la constatarea că în general indiferent de grosimea straturilor rutiere bituminoase și în mod deosebit atunci când această grosime este sub 15...18 cm (cazul cel mai frecvent), fisurile datorate contracției care apar în straturile rutiere obținute din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici ajung la nivelul suprafeței de rulare [5], [18], [19], [20], [32], [65], [179], [201].

#### 3.3.1. Observații pe sectoare experimentale privind transmiterea fisurilor din contracție prin straturi rutiere bituminoase

Urmărirea în exploatare a unor structuri rutiere mixte, cu scopul final de a compara rezultatele obținute, și a lua decizii adecvate, este dificilă datorită multitudinii de factori (trafic, climă, materiale) care variază, de multe ori semnificativ de la un sector la altul.

În Franța, făcându-se abstracție de o serie de factori care influențează fisurarea și transmiterea fisurilor (trafic, tip de agregate naturale, natura liantului utilizat, grosimea straturilor din materiale tratate, legătura dintre straturi etc.) și considerând ca factori de observație: timpul, numărul total de fisuri pe 100 m ( $N_{tf}$ ) și grosimea straturilor bituminoase ( $H_{MA}$ ), s-au obținut rezultatele din fig. 3.35.

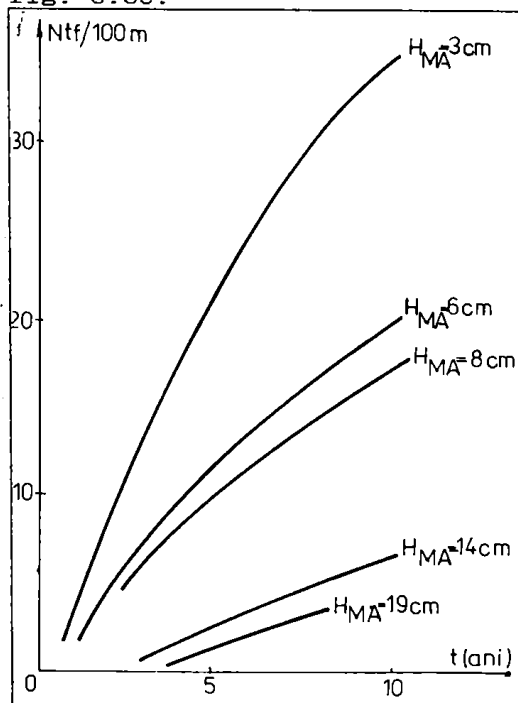


Fig.3.35. Evoluția numărului mediu de fisuri transversale funcție de timp și grosimea straturilor bituminoase ( $H_{MA}$ ).

Observațiile au fost efectuate pe circa 20 sectoare, a căror straturi bituminoase au o grosime de 3...15 cm, executate pe straturi de agregate naturale tratate cu diferiți lianți (ciment, zgură, cenușă, puzzolane naturale) cu o grosime de 21...61 cm. Lungimea sectoarelor a fost de 0,1...21,0 km. bituminoase.

Se constată că, indiferent de grosimea straturilor bituminoase, fisurile transversale din straturile inferioare ajung la nivelul suprafeței de rulare. Cu cât grosimea straturilor bituminoase este mai redusă cu atât propagarea este mai rapidă și numărul de fisuri transversale apărute la nivelul suprafeței de rulare este mai mare. În cazul grosimilor reduse ale straturilor bituminoase, nu trebuie neglijată posibilitatea fisurării, pentru un anumit trafic cumulat, datorită oboselii, a stratului din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici și puzzolanici, cu efecte

aproape imediate și asupra numărului de fisuri apărute la nivelul suprafeței de rulare.

Alte studii efectuate în Franța [201], au permis evidențierea dezvoltării geometrice a fisurării (spațiul dintre fisuri și lungimea acestora), funcție de timpul scurs de la data execuției structurii rutiere (urmărirea evoluției exprimată funcție de numărul cumulat de osii fiind mai dificilă). Astfel în fig. 3.36 este prezentată evoluția distanței dintre fisuri, care s-a constatat că nu variază cu o viteză constantă în timp, ci în două (sau chiar trei perioade), cu variația mai mare la început.

Oricum evoluția fisurării și implicit micșorarea pasului între fisuri depinde și de alți factori. Luând în considerare de exemplu grosimea straturilor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici s-a constatat:

- distanța minimă dintre fisuri este de circa 3 m pentru o grosime a stratului fisurat de 20 cm;
- distanța minimă dintre fisuri este de circa 6 m pentru o grosime a stratului inferior de min. 30 cm.

Referitor la lungimea medie a fisurilor (raportată la lățimea părții carosabile) se evidențiază faptul că, în general, fisurarea se consideră încheiată după circa 8...10 ani (fig.3.37). La sfârșitul acestui interval de timp fisurile apar continue, străbătând întreaga lățime a părții carosabile, la intervale regulate.

Pentru evidențierea vitezei de transmitere a fisurilor pentru structurile rutiere mixte aflate în exploatare în sud-vestul țării noastre, autorul a luat în studiu unele străzi din municipiul Timișoara (bd. Take Ionescu și bd. V. Pârvan). Structura rutieră mixtă a acestor străzi este alcătuită din agregate naturale netratate cu lianți în stratul de fundație, un strat de bază din beton de ciment B 200 de 20 cm grosime (executat fără tăierea rosturilor de contracție) și o îmbrăcăminte bituminoasă în două straturi de 10 cm grosime.

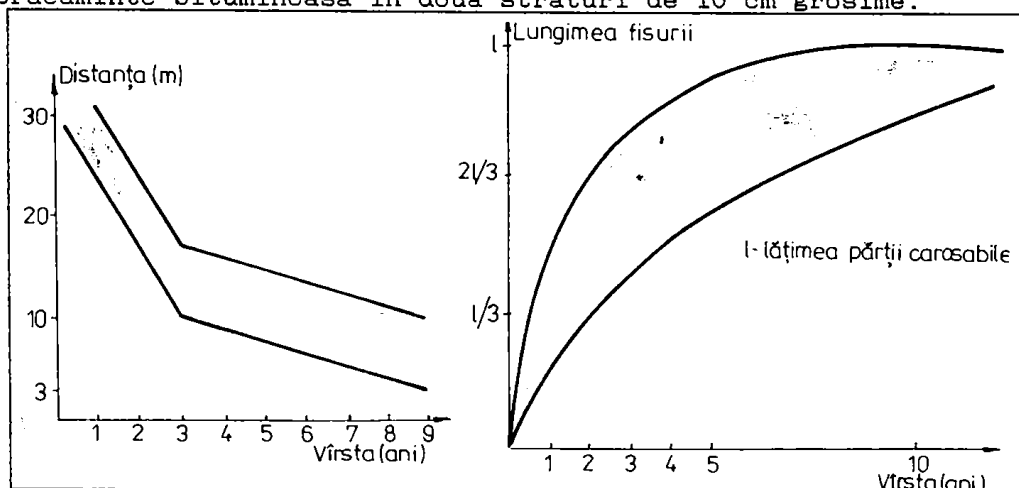


Fig.3.36. Curbele tip de evoluție a pasului de fisurare în timp.

Fig.3.37. Evoluția lungimii medii a fisurilor în timp.

În primăvara anului 1989 pe suprafața de rulare a celor două străzi existau fisuri transversale, care se repetau la fiecare 2...6 m. În același an, ca urmare și a altor defecțiuni apărute (gropi, mici fâgase), structura rutieră de pe bd. Pârvan a fost acoperită cu un covor asfaltic de 3 cm grosime. În aceste condiții observațiile efectuate de autor conduc la următoarele concluzii:

- straturile rutiere ale structurilor rutiere de pe bd. Vasile Pârvan lucrează cu legături intime la interfețe, condiții în care transmiterea fisurilor spre suprafață se produce practic în aceeași secțiune transversală;

- cu toate că iernile din perioada 1989 - 1992 au fost destul de blânde transmiterea fisurilor prin stratul bituminos de 3 cm grosime s-a produs rapid. Astfel:

. în primăvara anului 1990 se sesizau deja fisuri transversale care nu străbăteau întreaga lățime a părții carosabile situată la o distanță medie de 23 m;

. în primăvara anului 1991 distanța medie dintre fisuri scăzuse la 11 m, iar în martie 1992 distanța medie dintre fisuri era de 6,5 m. În mai 1993 fisurarea se putea considera încheiată (distanța medie dintre fisuri ajungând la 4,50 m);

- în tot acest interval de timp nu s-a remarcat o descreștere a distanței dintre fisuri pentru structura rutieră situată pe bd. Take Ionescu, cu toate că starea acestora s-a deteriorat continuu (ramificații, tasări locale, chiar finanțări în zona unor fisuri);

- s-a remarcat că dacă iarna (sub efectul contracției), fisurile se deschid pînă la 8...15 mm, vara sub efectul traficului și al căldurii acestea se închid aproape total (1...4 mm).

• În concluzie fisurile transversale datorate contracției straturilor rutiere tratate cu lianți hidraulici sau puzzolani în condiții climatice normale și atunci cînd straturile structurii rutiere lucrează cu legături de interfețe, se transmit printr-un covor asfaltic de 3 cm în totalitate pînă la nivelul suprafeței de rulare, după 3...5 ierni. Mai mult, pentru grosimi curente ale straturilor bituminoase, transmiterea fisurilor este inevitabilă (fig. 3.35).

### 3.3.2. Modelarea transmiterii fisurilor prin straturile bituminoase

• Propagarea fisurilor dintr-un strat inferior printr-o îmbrăcămintă bituminoasă poate să se producă în mai multe moduri (fig. 3.38), [50], [83], [114]:

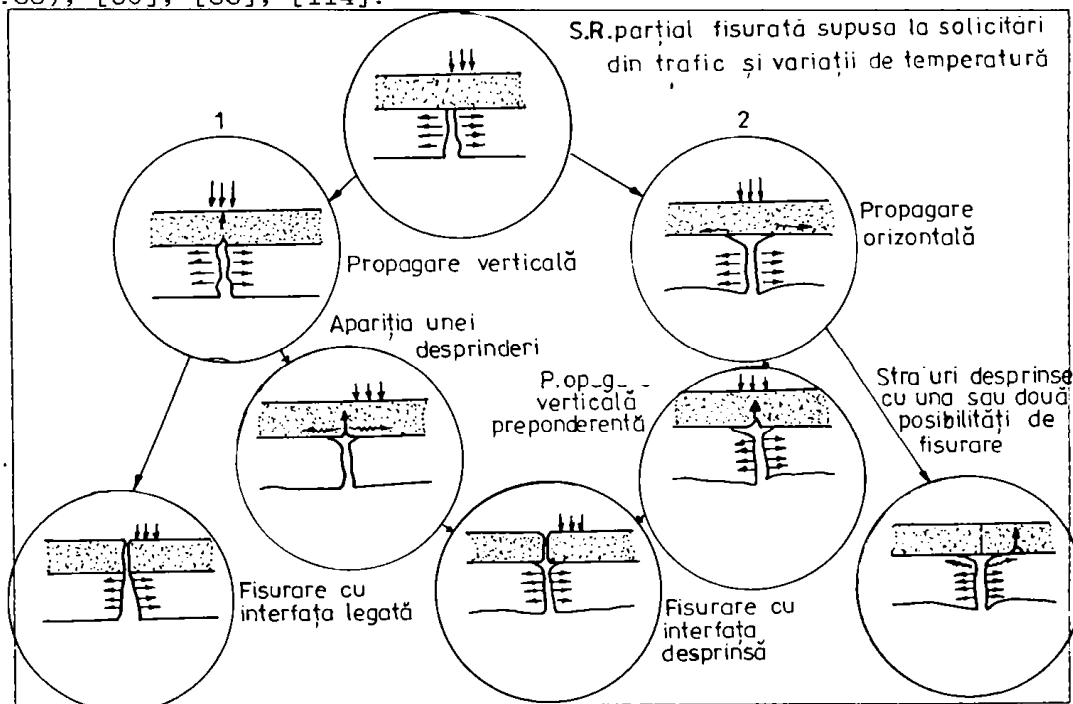


Fig.3.38. Posibilități de propagare a fisurilor prin straturile rutiere bituminoase (S.R. - structură rutieră).

- în cazul unei legături perfecte între stratul bituminos și stratul fisurat, fisura se va propaga direct pe verticală. În cursul acestei propagări legătura dintre straturi poate să rămână perfectă sau să se producă o desprindere, caz în care figura propagându-se conduce și la o înrăutățire a legăturii dintre straturi pe o anumită suprafață;

- în cazul unei legături slabe la suprafață, propagarea fisurii nu începe decât după o desprindere a straturilor în zona fisurii inițiale. Procesul de propagare se continuă fie în dreptul fisurii inițiale, fie la o anumită distanță de fisură, nefiind exclusă posibilitatea transmiterii fisurii prin ambele moduri (rezultă apariția unei fisuri duble în zona fisurii inițiale sau multiple la nivelul suprafeței de rulare).

În aceste condiții se poate concluziona că modurile de transmitere a fisurii prin straturi bituminosase este foarte variat. De asemenea, trebuie reținut faptul că desprinderea straturilor analizate are un efect pozitiv asupra întâzierii propagării fisurilor spre suprafață, dar în timp conduce la degradarea accentuată a zonei din preajma fisurilor (ramificații, faianțări, gropi etc.).

Având în vedere constatările sus-menționate se impune conceperea și utilizarea unor modele de calcul specifice pentru controlarea situației date și eventual pentru găsirea unor soluții operaționale de intervenție împotriva apariției fisurilor din straturile inferioare la nivelul suprafeței de rulare.

### 3.3.2.1. Principii ale mecanicii ruperii utilizabile la studiul fisurării

Literatura de specialitate [50], [83], [114], [201] arată că pentru masivele comportând fisuri plane există trei moduri independente de propagare a fisurilor (fig.3.29), caracterizate fiecare prin relații de calcul specifice (relațiile lui Irwin), astfel (fig.3.40):

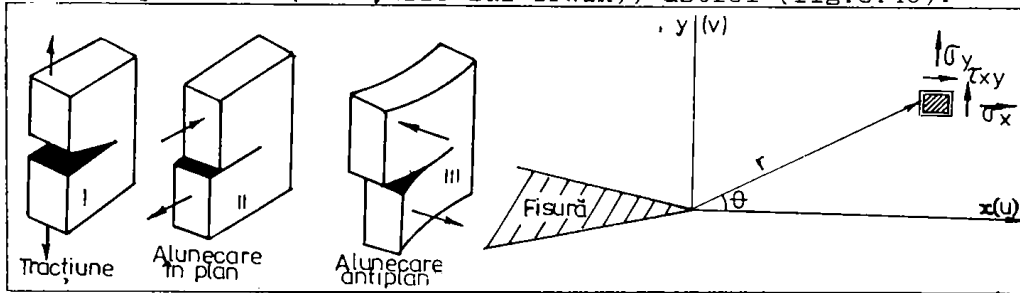


Fig.3.29. Modurile de rupere ale materialelor.

Fig.3.30. Schema de calcul a eforturilor unitare și deplasărilor.

- pentru modul I:

$$u = \frac{k_1}{2G} \left( \frac{r}{2\pi} \right)^{1/2} \cos \frac{\theta}{2} [k - \cos \theta] \quad (3.27)$$

$$v = \frac{k_1}{2G} \left( \frac{r}{2\pi} \right)^{1/2} \sin \frac{\theta}{2} [k - \cos \theta] \quad (3.28)$$

$$\bar{\sigma}_x = \frac{k_1}{(2\pi r)^{1/2}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (3.29)$$

$$\bar{\sigma}_y = \frac{k_1}{(2\pi r)^{1/2}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (3.30)$$

$$\tau_{xy} = \frac{k_1}{(2\pi r)^{1/2}} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \quad (3.31)$$

- pentru modul II:

$$u = \frac{k_2}{2G} \left( \frac{r}{2\pi} \right)^{1/2} \sin \frac{\theta}{2} [2 + k + \cos \theta] \quad (3.32)$$

$$v = \frac{k_2}{2G} \left( \frac{r}{2\pi} \right)^{1/2} \sin \frac{\theta}{2} [2 - k - \cos \theta] \quad (3.33)$$

$$\bar{\sigma}_x = - \frac{k_2}{(2\pi r)^{1/2}} \sin \frac{\theta}{2} \left[ 2 + \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \right] \quad (3.34)$$

$$\bar{\sigma}_y = \frac{k_2}{(2\pi r)^{1/2}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2}, \quad (3.35)$$

$$\tau_{xy} = \frac{k_2}{(2\pi r)^{1/2}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (3.36)$$

- pentru modul III:

$$\bar{\sigma}_{yz} = \frac{k_3}{(2\pi r)^{1/2}} \cos \frac{\theta}{2} \quad (3.38)$$

$$\bar{\sigma}_{xz} = \frac{k_3}{(2\pi r)^{1/2}} \sin \frac{\theta}{2} \quad (3.37)$$

în care:

G este modulul de elasticitate tangențial ( $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ );

k = 3-4μ, în starea de deformare plane;

r și θ - raza și unghiul în coordonate polare;

K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub> - factorii intensității eforturilor unitare. Ei depind de tipul solicitării, de geometria fisurii și de forma masivului.

În conformitate cu legile mecanicii ruperii, pentru  $r = 0$ , relațiile anterioare comportă o singularizare pentru eforturile unitare din jurul vârfului fisurilor, de forma  $\bar{\sigma} = K/\sqrt{r}$ , care arată că efortul unitar tinde spre infinit când raza tinde spre zero (legea principală a mecanicii ruperii).

Cele mai frecvente abordări ale fisurării straturilor bituminoase ca efect al fisurilor existente în straturile inferioare din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolaniți acceptă că ruperea se produce ca urmare a unor solicitări corespunzătoare modului I (fig. 3.39) [83], [133], [201]. În aceste condiții, coeficientul intensității eforturilor unitare se poate determina, pentru vârful fisurii cu relații de calcul analitice, urmând ca eforturile unitare în punctul respectiv să fie determinate cu relațiile 3.29...3.31. De exemplu, pentru o placă de lungime infinită supusă la întindere printr-o solicitare uniform distribuită ( $p$ ) exercitată pe lățimea acesteia ( $b$ ), coeficientul intensității eforturilor unitare la capătul unei fisuri care se propagă pe lățimea plăcii ( $a < b$ ) este de forma [114]:

$$K = p \cdot \sqrt{a/b} \cdot f(a/b) \quad (3.39)$$

în care :

$$f(a/b) = \left[ \frac{2b}{\Pi a} \operatorname{tg} \frac{\Pi a}{2b} \right]^{1/2} \times \frac{0,752 + 0,37(1 - \sin \frac{\Pi a}{2b})^3 + 2,02(a/b)}{\cos(\Pi a/2b)} \quad (3.40)$$

Interesantă este determinarea eforturilor unitare în jurul vârfului fisurii cu un program de calcul cu elemente finite, care să permită o modelare fidelă a realității. Se pare că [22], [44] răspunsul la această întrebare îl dă modelarea structurii rutiere ca în fig. 3.41, în cadrul căreia în zona vârfului fisurii se face o discretizare fină prin elemente finite cu 4 laturi și 8 noduri.

În aceste condiții, cunoscând eforturile unitare în puncte din jurul capătului fisurii și unghiurile  $\theta$  corespunzătoare se pot calcula în punctele respective coeficienții de intensitate ai eforturilor ( $K$ ). Aceștia pot fi utilizați ulterior pentru studiul propagării fisurilor prin straturile bituminoase, studiu care poate urmări:

- condițiile în care începe fisurarea;
- direcția de propagare a fisurilor;
- viteza de propagare a fisurilor.

Rezultate concrete în acest sens au fost obținute în special pentru ultimele direcții de cercetare enunțate [83], [114].

### 3.3.2.2. Determinarea sensului de propagare a fisurilor

Dintre criteriile destinate studierii propagării fisurilor prin structuri metalice au fost reținute două care se pot adapta la condițiile de lucru ale structurilor rutiere [114]. Calculul presupune determinarea stării de eforturi în structura rutieră cu ajutorul metodei elementelor finite (vezi modelarea din fig. 3.41) și aplicarea unuia din următoarele criterii:

- criteriul lui Erdogan și Sih, care presupune aplicarea unei relații simple, dedusă pentru un mod mixt de rupere (I și II), de forma următoare:

$$K_1 \sin \theta + K_2 (3 \cos \theta - 1) = 0 \quad (3.41)$$

în care:  $\theta$  este soluția ecuației, care marchează direcția după care eforturile unitare nu devin maxime (direcția de propagare a fisurii).

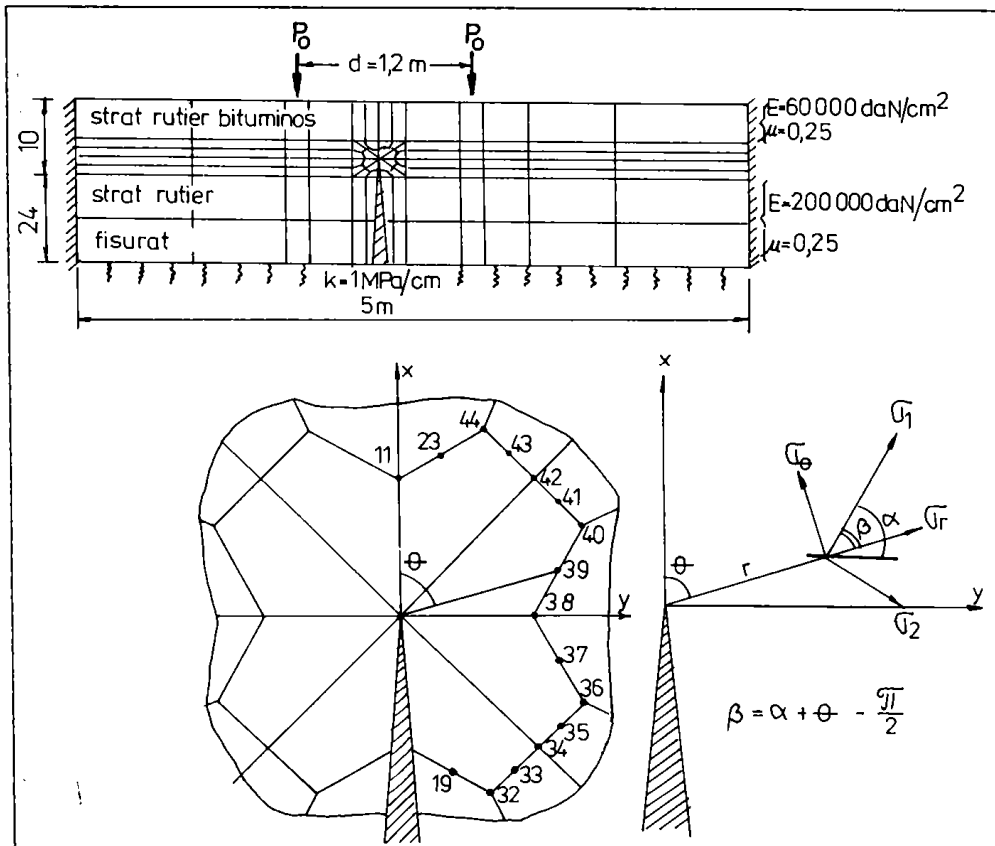


Fig.3.41. Exemplu de modelare a structurii rutiere.

- criteriul densității energiei de deformare are la bază, la rîndul său, două ipoteze:

- . sensul de propagare a fisurii corespunde direcției după care densitatea energiei potențiale ( $P$ ) este maximă;
- . intensitatea critică ( $S_c$ ) a acestui cîmp determină inițierea propagării fisurii.

În aceste condiții, dacă  $P$  reprezintă energia potențială pe unitatea de volum și  $S$  intensitatea cîmpului energiei de deformare, aceste ipoteze se pot scrie astfel:

$$\frac{\partial P}{\partial \theta} = 0 \quad \text{și} \quad \frac{\partial^2 P}{\partial \theta^2} < 0 \quad (3.42)$$

pentru  $\theta = \theta_0$  (direcția de propagare a fisurii).

Deoarece :

$$P = - \frac{S}{r} \quad (3.43)$$

Aceste condiții, pentru  $\theta = \theta_0$ , devin de forma:

$$\frac{\partial S}{\partial \theta} = 0 \quad \text{și} \quad \frac{\partial^2 S}{\partial \theta^2} > 0 \quad (3.44)$$

în care pentru modul mixt de rupere I și II, expresia intensității câmpului energiei de deformare este dată prin expresia analitică:

$$S = \frac{1}{16G} \{ [(3-4\mu - \cos\theta)(1+\cos\theta)] K_1^2 + 4\sin\theta[\cos\theta - (1-2\mu)] K_1 K_2 + 4[(1-\mu)(1-\cos\theta) + (1+\cos\theta)(3\cos\theta-1)] K_2^2 \} \quad (3.45)$$

în care notațiile au semnificațiile menționate anterior.

Testarea posibilităților de utilizare a acestor criterii de propagare a fisurilor în sectorul rutier au fost efectuate pe o structură rutieră de tipul celei prezentate în fig.3.41 [114]. Structura rutieră alcătuită din stratul din agregate naturale tratate cu ciment fisurat și stratul bituminos în curs de fisurare sînt plasate pe un masiv Westergaard cu un modul de reacție de 10 daN/cm<sup>3</sup>. Pentru calcul se consideră cîte o jumătate din dalele adiacente fisurii, iar deplasările orizontale ale marginilor verticale ale modelului de calcul sînt interzise. Structura rutieră s-a discretizat în 106 elemente finite cu 4 laturi, dintre care cele din jurul discontinuității au o formă specială pentru a urmări fenomenul de concentrare a eforturilor unitare din capătul fisurii. De asemenea, discretizarea ține cont de eterogenitatea structurii rutiere.

Încărcarea structurii rutiere se face sub forma unei presiuni uniform distribuite  $p_0$ , corespunzătoare solicitărilor transmise structurii de către roțile unor osii duble, care se situează la distanțe egale față de fisură.

Pentru această situație concretă s-a ajuns la următoarele rezultate:

- pentru aplicarea criteriului lui Erdogan și Sih s-a procedat la calculul eforturilor principale  $\sigma_1$  și  $\sigma_2$  pentru o stare plană de deformare și s-a considerat că fisura se propagă după direcția corespunzătoare efortului unitar  $\sigma_\theta$  maxim. Eforturile  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$  și  $\tau_{r\theta}$  se pot calcula cu relațiile următoare [50], [114], [43]:

$$\sigma_r = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\beta \quad (3.46)$$

$$\sigma_\theta = -\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\beta \quad (3.47)$$

$$\tau_{r\theta} = -\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\beta \quad (3.48)$$

Pentru a ține seama și de legea principală a mecanicii rupeii (vezi pct.

3.3.2.1) se alege o rază de referință  $r_0 = 1$  și se determină eforturile unitare pe circumferința cercului de referință, astfel:

$$\sigma_{\theta 0} = \sigma_\theta \frac{\sqrt{r}}{r_0} \quad (3.50)$$



$$\sigma_{r0} = \sigma_r \frac{\sqrt{r}}{r_0} \quad (3.49)$$

$$T_{r00} = T_{r0} \frac{\sqrt{r}}{r_0} \quad (3.51)$$

În acest fel reprezentînd grafic efortul  $\sigma_{r0}$  pentru punctele din jurul fisurii (fig.3.41) se găsește unghiul  $\theta_0$ , corespunzător efortului  $\sigma_{r0}$  maxim, care definește direcția de propagare a fisurii.

Pentru situația prezentată în fig. 3.41 s-a obținut  $\theta_0 = 115^\circ$ , iar pentru cazul unei singure încărcări pe plasată în același plan cu fisura s-a găsit  $\theta_0 = 120^\circ$ ;

- pentru aplicarea criteriului energiei de deformație s-au determinat valorile  $K_1$  și  $K_2$  plecînd de la eforturile unitare calculate pe axa Ox (punctele 11 și 12) și Oy (punctele 38 și 54) în conformitate cu discretizarea prezentată în fig.3.41.

Aplicînd apoi relațiile de calcul 3.44 și 3.45 se găsește unghiul  $\theta_0 = 125^\circ$  pentru situația prezentată în fig.3.41.

Rezultă că există o bună concordanță între rezultatele obținute prin aplicarea celor două criterii pentru propagarea fisurilor prin straturile bituminoase. Se găsește că fisura se propagă spre interfața dintre cele două straturi, lărgindu-se și producînd în același timp o dezlipire a celor două straturi, ambele cu efecte asupra înaintării fisurii spre suprafață.

### 3.3.2.3. Determinarea timpului de propagare a fisurii

Pentru determinarea timpului de propagare a fisurilor din straturile rutiere tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, pri straturile bituminoase superioare se acceptă aplicarea legii lui Paris [50], [83], [201]:

$$\frac{\Delta f}{\Delta N} = A (\Delta K_1)^m \quad (3.52)$$

în care:

$\Delta f$  este creșterea lungimii fisurii pentru o creștere a numărului de cicluri cu  $\Delta N$ ;

$\Delta K_1$  - variația factorului intensității eforturilor unitare pentru modul I de rupere, pentru un ciclu de încărcare trecerea un vehicul sau a unui ciclu termic zilnic), sau altfel spus  $\Delta K_1 = K_1(\bar{\sigma}_{me} - K_1(\bar{\sigma}_{min}))$ ;

$m$  - coeficient al materialului care depinde de comportarea acestuia vizavi de fisurare;

$A$  - coeficient de proporționalitate.

În timp ce coeficientii  $m$  și  $A$  rămîn, pentru un caz dat, constanți factorul de intensitate al eforturilor unitare  $K_1$  variază o dată înălțimea fisurii  $f$  și se determină prin calcule cu elemente finite. După determinarea legii de variație  $K_1(f)$  se poate integra legea Paris și stabili numărul de cicluri pînă la obținerea unei fisuri înălțimea  $f$ , sau numărul de cicluri pînă la fisurarea completă  $N(h)$ .

Acest procedeu de calcul poate fi aplicat pentru două tipuri de solicitări:

- solicitări de origine termică, cînd se stabilește numărul

- solicitări legate de trafic, când se determină numărul total de cicluri de încărcare care produce ruperea;

a) Studiul solicitărilor termice se începe prin calcularea factorului de intensitate a eforturilor unitare. Pentru aceasta se apelează la modelarea structurii rutiere din fig.3.42 și se ține cont de faptul că viteza redusă de aplicare a încărcărilor (cicluri termice zilnice) conferă îmbrăcămintei bituminoase o foarte mică rigiditate (se lucrează de regulă cu raportul  $E_2/E_1=200$ ). Prin urmare deformațiile stratului inferior nu sînt deloc, sau foarte puțin, combătute prin stratul bituminos.

În aceste condiții deschiderea fisurii la baza stratului bituminos rămîne aproape constantă indiferent de mărimea acesteia, ipoteză de la care se pleacă pentru calcularea lui  $K_1$  (fig.3.42). Astfel, în starea de deformații plane, pentru un unghi  $\theta = N$  pornind de la relația 3.28 se obține:

$$v = \frac{4K(1-\mu)}{G} \times \left(\frac{r}{2\pi}\right)^{1/2} \quad (3.53)$$

$$K = \frac{e \cdot G}{4} (1-\mu) \times \left(\frac{f}{2\pi}\right)^{1/2} \quad (3.54)$$

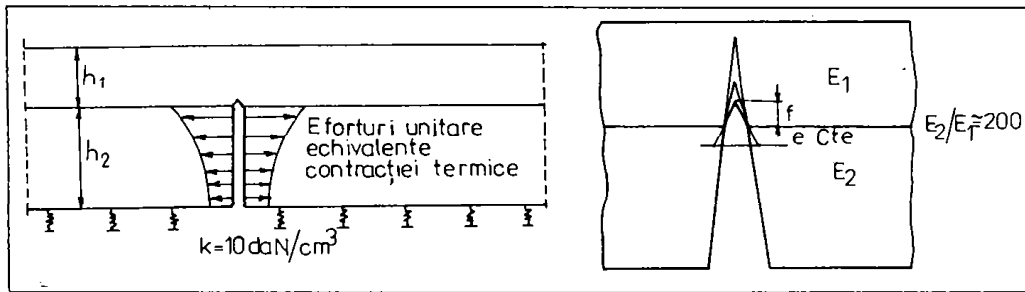


Fig.3.42. Modelarea structurii rutiere pentru solicitările termice.

Dacă deschiderea ( $e$ ) este independentă de înălțimea fisurii ( $f$ ) ea este totuși proporțională cu variația de temperatură atmosferică (reflectată în temperatura suprafeței îmbrăcămintei):

$$e = A x \theta_s x e^{-\gamma h} \quad (3.55)$$

în care:

$h$  este grosimea îmbrăcămintei bituminoase, în m;

$\gamma = \omega/2D$  ( $\gamma = 7,5 \text{ m}^{-1}$ );

$\omega$  - frecvența, în  $\text{s}^{-1}$ ;

$D$  - difuzia termică, în  $\text{m}^2/\text{s}$ ;

$\theta_s$  - temperatura suprafeței îmbrăcămintei, în  $^{\circ}\text{C}$ ;

$A$  - coeficient de proporționalitate, funcție de caracteristicile structurii rutiere, altele decît  $h$ .

Se găsește astfel:

$$K = A \cdot \theta_s \cdot e^{-\gamma h} \cdot \frac{G}{4(1-\mu)} \cdot \left(\frac{f}{2\pi}\right)^{-1/2} \quad (3.56)$$

Variația lui  $K$  se obține pentru un ecart zilnic de temperatură ( $\Delta\theta_s$ ) prin aplicarea relației 3.56 de două ori. Cunoșcînd variația lui  $K$  se poate integra legea lui Paris 3.52, obținîndu-se în final ecuația următoare:

$$\frac{1}{1+m/2} \cdot [f^{(1+m/2)} - f_0^{(1+m/2)}] = B(N-N_0) \cdot e^{-m \cdot h} \quad (3.57)$$

iar pentru  $f = h$ ;  $f_0 = 0$  și  $N_0 = 0$  se obține numărul de zile necesare pentru propagarea fisurii sub efectul variațiilor de temperatură până la nivelul suprafeței de rulare:

$$N = \frac{1}{B(1+m/2)} \cdot e^{m \cdot h} \cdot h^{(1+m/2)} \quad (3.58)$$

în care:

$$B = C \cdot [A \Delta \theta] \cdot \frac{G}{4(1-\mu)} \cdot \sqrt{2F}^m \quad (3.59)$$

Se constată că numărul de cicluri până la rupere este influențat de două constante:

- $m$  care este exponentul legii lui Paris. Inițial Paris a propus pentru acest coeficient o singură valoare  $m = 4$  [50]. Experimentările efectuate anterior au arătat că variația lui  $m$  pentru calculul structurilor rutiere de la 3 la 4 are o mică influență asupra rezultatelor obținute [83];

- $B$  constantă multiplicativă.

Se consideră că determinarea constantelor  $m$  și  $B$  se poate efectua prin corelație statistică, în urma urmării influenței grosimii stratului bituminos asupra timpului în care fisura se transmite până la suprafață [83], [201].

În acest sens se pot preciza rezultatele din tabelul 3.7, obținute pentru  $m = 3$  și pentru diferite grosimi ale stratului bituminos, care cresc de la  $h_1$  la  $h_f$ .

Tabelul 3.7.

$h_f$ , în cm	4	6	8	10	12	14	16	18	20
4	-	4.3	14	38	94	217	476	1002	2046
6	-	-	3.2	8.8	22	50	110	232	473
8	-	-	-	2.7	6.8	16	34	72	147
10	-	-	-	-	2.5	5.7	12	26	54
12	-	-	-	-	-	2.3	5	11	22
14	-	-	-	-	-	-	2.2	4.6	9.4
16	-	-	-	-	-	-	-	2.1	4.9
18	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Notă.** Creșterea grosimii stratului bituminos de la 3 la 14 cm conduce la multiplicarea timpului de transmitere a fisurii de 16 ori.

b) Studiul solicitărilor din trafic presupune de asemenea determinarea variației factorului de intensitate a eforturilor unitare ( $\Delta K$ ), pentru diferite înălțimi ale fisurii ( $f$ ), cu ajutorul unui model cu elemente finite de tipul celui din fig.3.43. Pentru fiecare  $f$  considerat, cu factorul de intensitate al eforturilor unitare determinat ( $x$  din fig.3.43 fiind variabil, se integrează legea lui Paris și se determină numărul de cicluri până la rupere:

ianți hidraulici sau puzzoianici este de circa 35 daN/cm<sup>2</sup> (în cazul

$$\int_{\epsilon_0}^{\epsilon} \frac{df}{(\Delta K)^{m/2}} = C(N-N_0) \quad (3.60)$$

Determinarea factorului de intensitate a eforturilor unitare se face prin extrapolare pentru  $r=0$ , pornind de la eforturile unitare sau deplasările calculate în jurul fisurii.

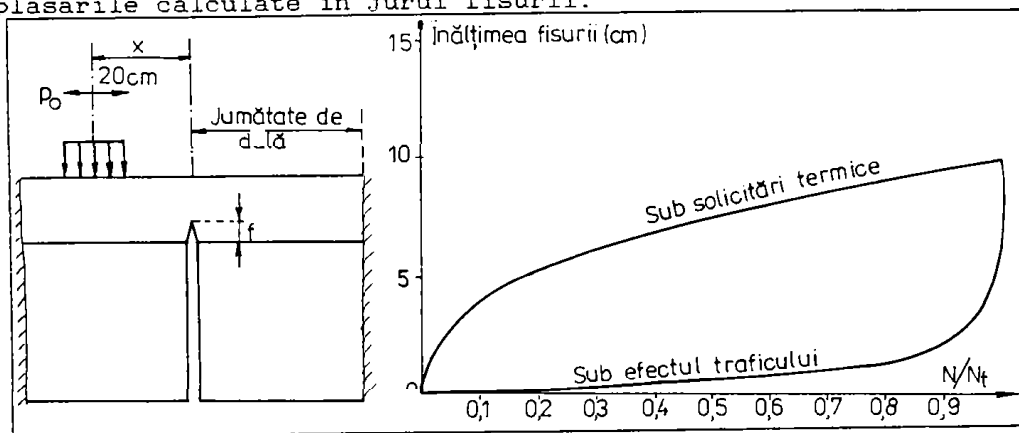


Fig.3.43. Model de calcul pentru calculul solicitărilor din trafic.

Fig.3.44. Evoluția fisurii în funcție de solicitările din trafic și termice.

Experimentările efectuate în acest sens au arătat că reducerea grosimii straturilor bituminoase de la 14 la 10 cm, respectiv la 6 cm conduce la divizarea timpului de apariție a fisurilor la suprafața cu 65, respectiv cu 2500 [83], [201].

Pe de altă parte, legile care arată evoluția fisurării prin straturile bituminoase sînt total diferite funcție de solicitări. Astfel, pentru solicitările termice se remarcă o evoluție mai rapidă a fisurării în prima perioadă de aplicare a încărcărilor ciclice, în timp ce în cazul solicitărilor din trafic, evoluția mai rapidă se remarcă înaintea fisurării complete (fig. 3.44).

#### 3.3.2.4. Aplicarea programului SAP 90 pentru calcularea direcției de propagare a fisurilor.

Utilizînd programul SAP 90 autorul a urmărit testarea posibilităților de aplicare ale programului pentru calculul structurilor rutiere fisurate. În acest scop s-a considerat modelarea unei structuri rutiere ca și în exemplul prezentat în fig.3.41, caz pentru care s-au calculat eforturile unitare și deplasările în zona fisurii pentru a se putea aplica criteriul lui Erdogan și Sih privind propagarea fisurilor. Singura diferență de modelare constă în acceptarea unor elemente finite cu patru laturi și patru noduri în jurul fisurii, față de elementele cu 8 noduri descrise la pct.3.3.2.2 (fig.3.45).

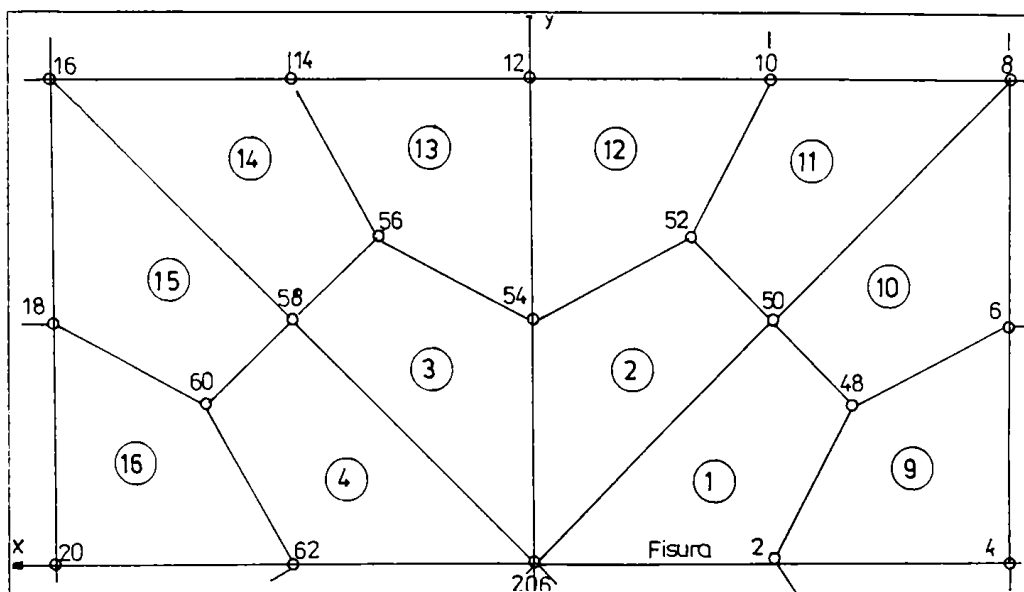


Fig.3.45. Modelarea structurii rutiere în zona capătului fisurii.

Programul de calcul oferă eforturile unitare  $\bar{\sigma}_x$ ,  $\bar{\sigma}_y$ ,  $\bar{\sigma}_{xy}$  în nodurile discretizării, eforturile principale  $\bar{\sigma}_1$  și  $\bar{\sigma}_2$  și unghiul pe care îl face efortul principal  $\bar{\sigma}_1$  cu orizontala ( $\theta$ ). În aceste condiții, aplicând relația 3.47 (vezi fig.3.41) s-a calculat efortul unitar  $\bar{\sigma}_\theta$  și cu relația 3.50 efortul unitar  $\bar{\sigma}_{\theta_0}$  prin a cărui reprezentare în nodurile din jurul capătului fisurii s-a obținut direcția propagării acesteia (direcția corespunzătoare lui  $\bar{\sigma}_{\theta_{0max}}$ ).

Datele inițiale sînt următoarele:

-coordonatele nodurilor pe baza cărora programul face discretizarea structurii rutiere;

-numărul materialelor utilizate (două) și caracteristicile elastice;

-restricțiile impuse și modelarea suportului de tip Westergaard (conform fig.3.41);

-încărcările propuse pentru calculul (roată de 5 000 daN centrată pe fisură sau două roți de 5 000 daN dispuse simetric față de fisură, la 120 cm una față de alta), (fig.3.41);

-grosimea plăcii (1 cm).

Funcție de încărcare (mărimea și poziția acesteia față de direcția fisurii), modulul de reacție  $k$  al terenului de fundare considerat și grosimea plăcii s-au efectuat o serie de aplicări ale programului care au condus la rezultatele centralizate în tabelul 3.8.

Se constată că datorită discretizării mai grosiere (elemente cu 4 noduri, față de elemente cu 8 noduri) aflarea direcției de propagare a fisurii nu are aceeași exactitate ca și în calculul prezentat la pct.3.3.2.2. dar intervalele găsite includ soluțiile obținute prin programe specifice (de exemplu ROSALIE și BIFIS utilizate în Franța), [83], [114], [201].

Astfel,  $\theta = 120^\circ$  și  $\theta = 125^\circ$  găsite anterior sînt incluse de intervalul  $\theta = 116.4...135^\circ$  găsit de autor ca probabil pentru propagarea fisurii.

În concluzie se poate presupune că utilizarea unor programe de calcul aflate în dotarea Facultății de Construcții din Timișoara (SAP 90 sau COSMOS) pentru calcularea structurilor rutiere fisurate este adecvată, autorul urmînd să se preocupe în continuare de implementarea unor astfel de programe în sectorul rutier.

Tabelul 3.8.

Varianta	Incărcarea	k. în daN/cm <sup>3</sup>	Direcția lui $\theta_{00max}$ , în °	Observații
1	Centrată	10	116.4	Schimbarea rigidității suportului (de la k = 10 daN/cm <sup>3</sup> la k = 15 daN/cm <sup>3</sup> ) conduce la micșorarea eforturilor unitare în jurul fisurii, dar nu influențează direcția de propagare a acesteia.
2	Centrată	15	116.4	
3	Simetrică	10	135	
4	Simetrică	15	135	

### 3.4. Comportarea în exploatare a unor structuri rutiere mixte realizate în sud-vestul României

Structurile rutiere mixte luate în considerare se găsesc pe unele drumuri naționale din sud-vestul țării și pe unele străzi din municipiul Timișoara (fig.3.45). Structurile rutiere menționate în fig.3.45 sînt amplasate pe următoarele drumuri:

- structurile rutiere "a" și "b" sînt executate pe DN 79A, Ineu - Chișineu Criș, km 80+000...94+000, prima constituind structura de rezistență a drumului pe lățimea existentă la data modernizării, iar a doua, structura proiectată pentru executarea supralărgirilor părții carosabile. Dimensionarea acestora s-a făcut pentru un modul de deformare  $E_{ech} = 500 \text{ daN/cm}^2$ .

- structura "c" se află pe DN 6, Lugoj-Timișoara, fiind proiectată pentru executarea celei de a doua benzi de circulație pe fiecare sens, la intrarea în Timișoara. Modulul de deformare este  $E_{ech} = 575 \text{ daN/cm}^2$  și este egal cu cel al structurii rutiere suple de pe benzile centrale;

- structura "d" a fost proiectată pentru același scop dar pe DN 69 km 3+000 ...8+000 (la intrarea în municipiul Timișoara). Modulul de deformare pentru care a fost calculată structura rutieră este  $E_{ech} = 575 \text{ daN/cm}^2$  și este egal cu cel al structurii rutiere suple de pe benzile centrale;

- pentru unele străzi din municipiul Timișoara structura rutieră este de tipul celei prezentate în fig.3.45.e (bd. Take Ionescu și bd. V. Pârvan).

#### 3.4.1. Comportarea în exploatare a structurilor rutiere mixte, fără straturi cu rol de preluare a fisurilor din contracție

Structurile rutiere studiate care se încadrează în această categorie sînt prezentate în fig.3.45.a; b și c. Structurile rutiere din agregate naturale tratate cu lianți puzzolanici sau hidraulici s-au executat în felul următor:

- straturile din balast tratat cu zgură și var (dozaj: balast 73 %; zgură granulată de Hunedoara 25 % și var 2 %) s-au executat la fața locului, prin așternerea materialelor și amestecarea acestora prin treceri succesive cu lama autogrederului. Compactarea s-a realizat cu 15...18 treceri ale compactatorului cu rulouri netede;

- betonul de ciment B 200 (fig.3.45.c) a fost preparat în instalații fixe, pus în operă manual și compactat cu o grindă vibratoare.

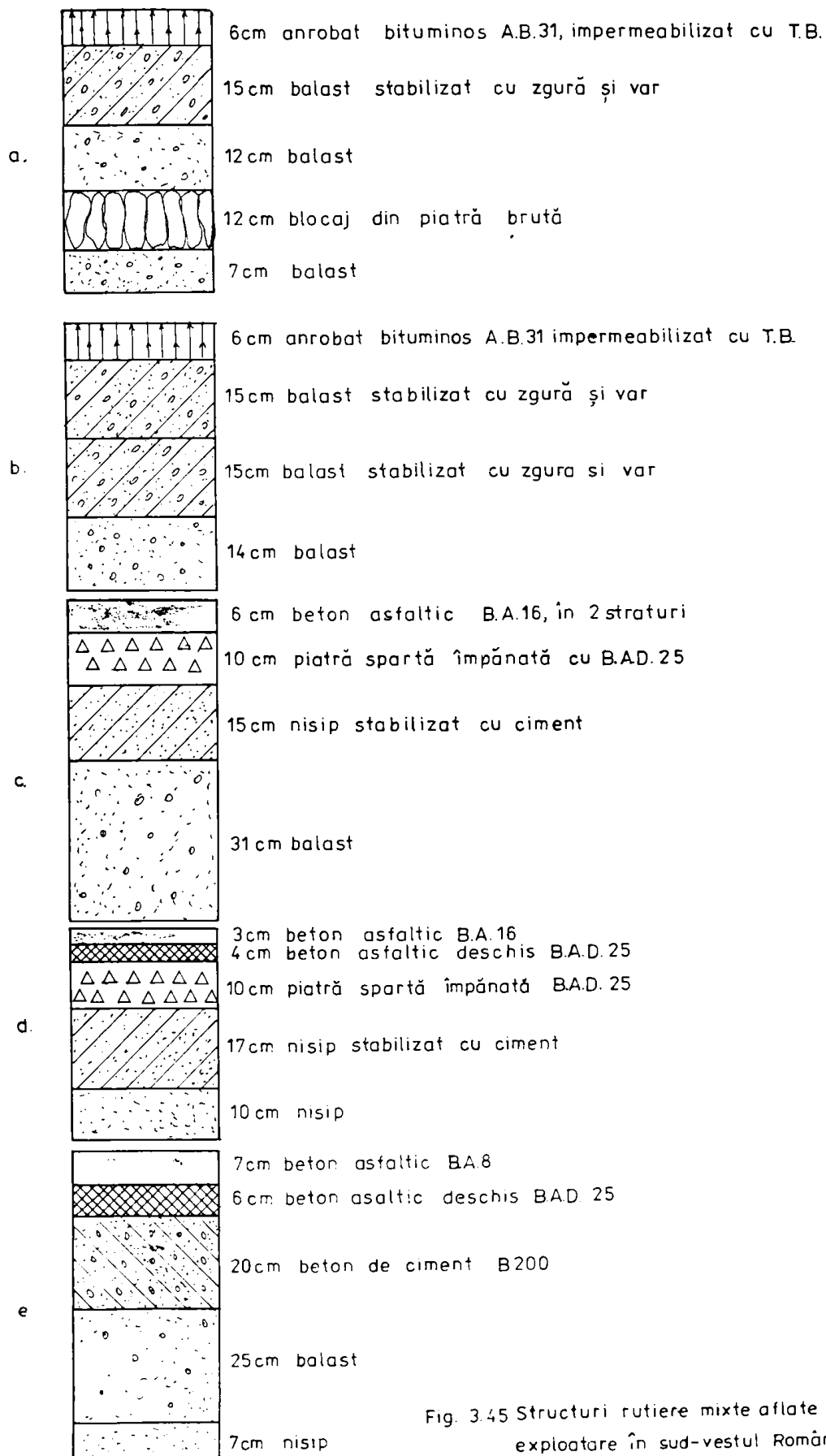


Fig. 3.45 Structuri rutiere mixte aflate în exploatare în sud-vestul României

Observațiile efectuate asupra structurilor rutiere realizate pe DN 79 A, Ineu-Chișineu Criș au scos în evidență existența unor fisuri transversale pe toată lățimea părții carosabile, la intervale de 6...8 m. De asemenea, în axă și la suprafața de contact dintre structura rutieră executată pe partea carosabilă dinainte de modernizare și cea executată pentru supralărgiri, s-au constatat fisuri și crăpături longitudinale, cu lungimi care ating câteva sute de metri, și cu deschideri de 3...6 cm. Alte defecțiuni constatate sînt: faianțări, fisuri multiple pe direcții diferite, gropi etc.

Prin extragerea a trei carote din structura rutieră (km 92+100; 92+780 și 93+930) s-a constatat o legătură intimă dintre stratul de mixtură asfaltică și materialul tratat cu zgură-var, precum și faptul că atît fisurile transversale cît și cele longitudinale, care se observă la nivelul suprafeței de rulare străbat, întreaga grosime a stratului de fundație.

Încercările de laborator efectuate asupra celor trei carote extrase din structura rutieră au condus la rezultatele din tabelul 3.8 [19].

Analizarea rezultatelor încercărilor de laborator conduce la concluzia că apariția defecțiunilor constatate nu are drept cauză calitatea mixturii asfaltice (caracteristicile acesteia, fiind în general corespunzătoare, iar punctul de înmuiere I.B. poate apărea normal pentru o mixtură asfaltică aflată mulți ani în exploatare).

Tabelul 3.8.

Nr. crt	Caracteristica	Proba 1	Proba 2	Proba 3
1.	Rc la 22°C, în N/mm <sup>2</sup>	5,1	5,3	5,2
2.	Rc la 50°C, în N/mm <sup>2</sup>	1,6	1,7	1,5
3.	Densitatea aparentă, în kg/m <sup>3</sup>	2.320	2.210	2.290
4.	Absorbția de apă, în %	1,6	3,6	4,7
5.	Umflarea, în %	1,2	1,7	0,6
6.	Stabilitatea Marshall, în daN	656	850	750
7.	Indicele de curgere, în mm	2,3	2,2	2,2
8.	Conținut în bitum. mm	4,6	4,0	5,5
9.	Granulozitatea	bună	bună	bună
10.	I.B. al bitumului extras, în °C	64	67	63
11.	Rezistența la compresiune a balastului stabilizat, pe epruvete cubice, în daN/cm <sup>2</sup>	91	107	84

În acest context, s-a stabilit că fisurile transversale la intervale regulate, au drept cauză fisurarea din contracție a stratului din balast stabilizat cu zgură și var (rezistențele mecanice determinate pe epruvete tăiate din acest material atestă acest lucru), care sub efectul traficului și al variațiilor de temperatură (favorabil acționînd și legătura dintre straturi) s-a transmis prin stratul superior pînă la nivelul suprafeței de rulare.



Fisurile longitudinale la 1,0...1,5 m de marginea părții carosabile s-a constatat că materializează suprafața dintre cele două structuri rutiere (a și b din fig.3.45) și au ca și cauză principală tasarea mai mare a supralărgiri (efect "normal" ținând cont de problemele legate de compactarea straturilor rutiere în casete).

Fisurile și crăpăturile longitudinale din axa drumului apar la suprafața de contact a straturilor din balast stabilizat cu zgură și var, realizate separat pe lățimea celor două benzi de circulație.

Deschiderea de 3...6 cm a acestor crăpături este accentuată de capacitatea portantă insuficientă a structurii rutiere [9], care a fost calculată pentru un  $E_{sch\text{ ef}} = 650 \text{ daN/cm}^2$  (1750 vehicule etalon A 13 la nivelul anului 1985). Celelalte defecțiuni (în special faianțările și fisurile multiple pe direcții diferite) atestă aceeași capacitate portantă insuficientă a structurii rutiere.

Deschiderea fisurilor longitudinale din axa drumului este amplificată prin prezența în patul drumului a unei argile prăfoase cu caracteristicile menționate în tabelul 3.9 (prelevarea probelor s-a efectuat de la aceleași poziții km ca și a materialelor din straturile rutiere).

Tabelul 3.9.

Nr. crt.	Caracteristica	Proba 1	Proba 2	Proba 3
1.	Granulozitatea: .praf, în % .argilă, în % .nisip, în %	45 % 41 % 14 %	44 % 46 % 10 %	41 % 38 % 21 %
2.	Indicele de plasticitate, în %	24 %	24 %	22 %
3.	Modulul de deformație edometric, în daN/cm <sup>2</sup>	90	82	105

În anotimpuri secetoase pământuri de fundare de acest tip în urma contracțiilor puternice, pot conduce la fisurarea longitudinală sau după altă direcție a structurii rutiere. Pentru cazul sus-menționat, autorul consideră că fenomenele de contracție care se produc de regulă într-un astfel de pământ de fundare nu au fost determinate pentru fisurarea longitudinală, ci au contribuit la accentuarea fenomenului. În sprijinul acestei afirmații se aduce faptul că pe întreaga lățime a părții carosabile nu mai sînt sesizabile alte fisuri longitudinale decît cele enunțate anterior, fenomen care ar fi trebuit să apară în cazul factorului determinat "teren de fundare".

Avînd în vedere rezultatele studiilor efectuate s-a propus ranforsarea structurii rutiere cu o soluție care să împiedice transmiterea fisurilor de contracție în noile straturi bituminoase și să aducă capacitatea portantă efectivă la nivelul solicitărilor din trafic (10 cm macadam penetrat cu nisip bituminos + 4 cm B.A.D. 25 și 3 cm B.A. 16).

Ținînd cont de concluziile studiului prezentat anterior s-a procedat la urmărirea comportării în exploatare a unei structuri de tipul celei din fig.3.45.e prezentă pe unele străzi din municipiul Timișoara.

S-au constatat următoarele aspecte:

- fisurile transversale de contracție apărute în stratul din beton de ciment (fără rosturi tăiate) la intervale regulate de 4...6 m se transmit prin straturile bituminoase pînă la nivelul suprafeței de rulare;

- viteza de transmitere a fisurilor este suficient de mare, pentru ca fisurile să se repara la nivelul suprafeței de rulare printr-un covor

asfaltic de 3 cm grosime, după 3...5 ani de exploatare în condiții climaterice blîndă (vezi pct. 3.3.1);

- legătura dintre straturi și în special dintre straturile bituminoase și betonul de ciment este, în general, realizată fapt ce grăbește transmiterea fisurilor; în aceste condiții fisura se transmite prin apropierea zonei fisurate a straturilor vechi;

- deschiderea fisurilor poate fi de 3...15 mm în timpul iernii și se închid aproape în totalitate în timpul verii (datorită fenomenelor de contracție și dilatație care se manifestă o dată cu variația temperaturii stratului față de temperatura de punere în operă);

- ca urmare a traficului intens și greu în zona rosturilor astfel formate apar o serie de defecțiuni care atestă cedarea stratului de beton (denivelări transversale în lungul rosturilor, fisuri multiple pe direcția transversală în zona rostului, început de faianțări, defecțiuni care sînt mai evidente pe timp friguros (bd. Take Ionescu din municipiul Timișoara);

- în anumite zone (bd. Take Ionescu ) fisurile transversale la distanțe mai reduse decît cele din contracție (2...3 m) și fisuri longitudinale decupează structura rutieră în blocuri de mari dimensiuni, fapt care atestă de asemenea cedarea stratului din materiale stabilizate cu lianți hidraulici la oboseală.

Observațiile anterior reținute sînt menționate în literatura de specialitate [33], care arată că structuri rutiere cu stratul de bază de circa 20 cm din materiale tratate cu lianți hidraulici, acoperite cu straturi bituminoase de 9...10 cm grosime cedează foarte repede (după 5...6 ani) la solicitările unui trafic intens și greu. Rezultă încă o dată sensibilitatea straturilor rutiere din materiale stabilizate cu lianți hidraulici la subdimensionare.

Observațiile efectuate pe astfel de structuri rutiere [33] au pus în evidență două forme de producere a defecțiunilor:

- fără pierderea coeziunii materialului, care este numai decupat în blocuri de mari dimensiuni, prin fisuri longitudinale din oboseală și fisuri transversale mai dese decît fisurile din contracție. Se sesizează de asemenea o creștere a deflexiunii, în timp ce uniformitatea suprafeței de rulare este păstrată (DN 79 A , Ineu-Chișinău Criș pe unele sectoare și eventual bd. Take Ionescu);

- cu pierderea coeziunii materialului stabilizat cu lianți hidraulici, care revine la caracteristicile unui agregat natural netratat. În acest ca defecțiunile sezizabile sînt: creșterea deflexiunii, scăderea produsului " R.d " sub 15 000, faianțările și făgașele. Se pare că la acest mod de comportare ajung agregatele naturale stabilizate cu lianți hidraulici de calitate mediocră (umiditate la fabricare foarte mare, slaba compactare, trafic în perioada de priză etc). De cele mai multe ori la astfel de straturi rutiere nu se observă fisuri din contracție.

Spre deosebire de aceste sructuri (cu straturi din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici de circa 20 cm grosime), cele realizate din straturi din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici cu o grosime mai mare a straturilor bituminoase (peste 15 cm) au o comportare corespunzătoare la trafic greu [33]. De asemenea, comportări bune în exploatare au structurile rutiere cu straturi din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici de 40 cm, acoperite cu straturi bituminoase de 8...12 cm grosime (cu cît grosimea stratului din materiale tratate cu lianți hidraulici (puzzolanici) este mai mare, cu atît distanța dintre fisuri este mai mare, vezi pct.3.3.1).

### 3.4.2. Comportarea în exploatare a unor structuri rutiere inverse (structuri rutiere mixte înglobînd straturi pentru prevenirea transmiterii fisurilor din contracție)

Dintre structurile studiate, structurile rutiere menționate în fig.3.45.c și d se încadrează în această categorie. Se constată existența unui strat de fundație cu rigiditate ridicată din nisip stabilizat cu 9 % ciment, peste care s-a executat un strat din piatră spartă împănată cu B.A.D.25, cu rolul declarat de a împiedica transmiterea fisurilor din contracție prin straturile bituminoase ale îmbrăcămintei.

Nisipul stabilizat cu ciment a fost preparat în instalații fixe (I.N.S.-uri) și compactat cu o grindă vibratoare. Structurile rutiere mixte astfel proiectate (soluțiile c și d din fig.45) s-au executat pentru mărirea capacității de circulație la intrarea în municipiul Timișoara, prin construirea unei a doua benzi de circulație pe fiecare sens (în dreapta celor existente), pe DN 69, Timișoara - Arad și DN 6, Lugoj - Timișoara.

Investigarea vizuală a acestor sectoare a condus, la concluzia că suprafața de rulare a structurilor rutiere ulterior executate (structurile de pe benzile laterale) prezintă mult mai multe defecțiuni decît benzile centrale. În același timp nu se sesizează o diferențiere clară a tipurilor de defecțiuni pentru cele două tipuri de structuri rutiere, rezultînd concluzia că și cauzele care le-au produs sînt aceleași.

În plus singura cauză care poate conduce la aceleași tipuri defecțiuni pentru o structură rutieră mixtă și una suplă, aproximativ de capacități portante egale, este cedarea structurilor rutiere ca urmare a insuficienței capacității portante față de traficul efectiv.

Principalele defecțiuni reținute: fisuri și crăpături multiple după direcții diferite, faianțări, fisuri longitudinale, pe unele sectoare fâgașe, cedări și tasări locale atestă clar lipsa capacității portante a structurilor rutiere.

Pentru justificarea acestei afirmații, asupra mixturii asfaltice din stratul de uzură și pe nisipul stabilizat, prelevate din structura rutieră a benzilor laterale de pe DN 69, Timișoara - Arad (km 4 + 950 stînga și dreapta și km 5 + 980 dreapta) s-au efectuat încercări de laborator, rezultînd rezultatele din tabelul 3.10.

Se constată că mixtura asfaltică, deși caracterizată printr-o densitate aparentă nu întotdeauna corespunzătoare și un bitum îmbătrînit (posibil și supraîncălzit în procesul tehnologic), se încadrează, în apropierea caracteristicilor prescrise. Pe de altă parte, la prelevarea probelor din nisip stabilizat cu ciment s-a constatat că acesta este, în general, lipsit de coeziune, fapt care justifică apariția unor defecțiuni a acestor structuri rutiere "mixte" asemănătoare cu cele constatate pe structurile rutiere suple alăturate. În plus, faptul că nisipul din aceste straturi nu are caracteristicile prevăzute inițial și lucrează în realitate ca nisip nestabilizat, conduce la concluzia că, capacitatea portantă a structurii rutiere de pe benzile laterale este mai mică decît cea a benzilor centrale. De aici și degradarea mai accentuată a structurii rutiere de pe benzile laterale, la care se poate adăuga și considerentul că acestea sînt solicitate cu preponderență de traficul greu, benzile centrate fiind destinate traficului ușor și pentru depășiri.

Tabelul 3.10

Nr. crt.	Caracteristica	Proba 1	Proba 2	Proba 3
1.	Rc la 22 °C. în N/mm <sup>2</sup>	4,0	3,7	4,7
2.	Rc la 50 °C. în N/mm <sup>2</sup>	1,2	1,2	2,2
3.	Stabilitatea Marshall, în daN	552	640	825
4.	Indicele de curgere, în mm	4,0	3,6	4,3
5.	Densitatea aparentă, în kg/m <sup>3</sup>	2210	2310	2240
6.	Absorbția de apă, în %	7	5	7
7.	Conținut de bitum, în %	6,9	7,2	7,0
8.	I.B. pe bitumul extras, în °C	69	75	67
9.	Rc pe epruvete cubice din nisip stabilizat, în daN/cm <sup>2</sup>	-	-	38

Explicarea fenomenului prin care nisipul stabilizat cu ciment s-a "transformat" într-un nisip netratat se poate găsi în nerespectarea dozajului de ciment și de apă la preparare; cea mai plauzibilă cauză rămâne totuși darea în circulație (trafic de șantier sau general) înainte de atingerea rezistențelor mecanice necesare, fapt care a condus la microfisurarea stratului și apoi la distrugerea legăturilor liante în formare.

Având în vedere concluziile sus menționate asupra carotelor prelevate de pe benzile laterale ale DN 6, Lugoj-Timișoara (km 150+850 stînga și dreapta, km 152+000 stînga și dreapta) s-a determinat doar rezistența la compresiune a nisipului stabilizat, pe carote cubice tăiate, din probele prelevate. Rezultatele obținute sînt menționate în tabelul 3.11.

Tabelul 3.11.

Caracteristica	Proba 1	Proba 2	Proba 3	Proba 4
Rc pe epruvete cubice, în daN/cm <sup>2</sup>	54	68	87	72

Aceste rezultate atestă o oarecare rigiditate a stratului din nisip stabilizat cu ciment, care se răsfrînge la nivelul suprafeței de rulare prin faptul că fâgașele chiar dacă mai apar izolat au o adîncime mai redusă. Cu toate acestea celelalte defecțiuni care apar și în special fisurile multiple pe direcții diferite, fisurile transversale și longitudinale care uneori se unesc decupînd suprafața îmbrăcămîntei în forme poligonale cu dimensiuni mari, faianțările certifică aceeași capacitate portantă insuficientă a structurii rutiere.

Cert este faptul că fisurile din contracție ale stratului inferior, care în mod normal s-au produs (cel puțin în cazul structurii sus-menționate de pe DN 6) nu a apărut la nivelul suprafeței de rulare (după 14 ani de exploatare) ca urmare a stratului din piatra spartă împănată cu mixtură asfaltică.

În afara celor menționate anterior trebuie luată în discuție și grosimea straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici care este suficient de redusă, față de recomandările literaturii de specialitate [18], [19], [60]. În acest context, o dată cu creșterea traficului și depășirea capacității portante a structurii, straturile din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici funcționează ca subdimensionate, iar degradarea lor în timp este rapidă.

### 3.5. Concluzii și propuneri

Comportarea în exploatare a structurilor rutiere mixte este influențată de o gamă largă de factori (de trafic, materiale, climaterici), motiv pentru care doar o urmărire atentă și continuă, timp îndelungat, într-o multitudine de condiții locale date poate conduce la concluzii și aplicații operaționale.

Studiile și cercetările efectuate de autor în acest domeniu se pot concentra în următoarele concluzii și propuneri:

- comportarea în exploatare a structurilor rutiere este definită primordial în modul în care stratul (straturile) rutiere din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici reușește să-și aducă aportul scontat la preluarea solicitărilor din trafic și condiții climaterice. Trebuie remarcat, fără a diminua rolul straturilor bituminoase (mai ales la grosimi mari), că structurile rutiere mixte sînt mult mai sensibile în cazul unei subdimensionări a stratului din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, decît în cazul unei subdimensionări a straturilor superioare din mixturi asfaltice. Este motivul pentru care autorul și-a axat cercetările asupra comportării structurilor rutiere mixte vizavi de caracteristicile straturilor din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici;

- proprietățile materialelor obținute prin tratarea agregatelor naturale cu lianți hidraulici sau puzzolanici se analizează de regulă prin rezistențele mecanice și mai ales, prin determinarea caracteristicilor elastice și a legilor de oboseală, care constituie de altfel și elementele de bază care trebuie luate în considerare pentru dimensionarea unor astfel de straturi rutiere. De asemenea, o caracterizare globală a straturilor rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici (rigiditate sau deformabilitate) este recomandat să se efectueze prin determinarea indicelui de calitate elastic;

- trebuie remarcat faptul că pe plan mondial există o serie largă de aparate și metode de determinare a modulilor de elasticitate (prin întindere, compresiune sau compresiune diametrală) și a legilor de comportare la oboseală (cu efort unitar constant sau cu deformație relativă constantă), care asigură încercarea și interpretarea automată a rezultatelor. În acest context, determinarea principalelor caracteristici ale fiecărui material utilizat, în practică este facilă, iar aplicarea lor în cadrul metodelor de dimensionare se face pe baza datelor reale obținute în laborator. Pentru țara noastră aceste observații pot devenii reale doar după dotarea laboratoarelor de specialitate cu aparatura necesară efectuării investigațiilor sus-menționate;

- cu toate acestea există în țara noastră preocupări pentru determinarea modulilor de elasticitate ai materialelor pentru construcții rutiere cu ajutorul unor dispozitive adaptate la aparatura din dotare. În lucrare autorul descrie una din aceste metode pe care a aplicat-o în laborator pentru stabilirea modulilor de elasticitate ai nisipului tratat cu piroclastite andezitice activate cu ciment. Se

consideră că prin astfel de încercări se pot obține valori comparabile vizavi de cele determinate cu metodele perfecționate, dar nu se poate avea certitudinea rezultatelor exacte:

- referitor la comportarea la oboseală a agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici în lucrare sînt reținute diversele procedee de încercare în laborator. Se preferă de regulă o încercare cu efort unitar constant prin încovoierea unor epruvete de formă trapezoidală cu baza mare încastrată, formă care permite o repartizare suficient de uniformă a eforturilor în epruvetă. Trasarea legilor de oboseală se face pe baza unui număr important de încercări la oboseală cu eforturi unitare (deformații relative) constante.

Astfel, pentru trasarea unei curbe de oboseală prin trei puncte sînt necesare trei seturi de încercări cu efort unitar (deformație relativă) constant, fiecare dintre acestea necesitînd minimum 40 determinări pentru aflarea numărului de cicluri de rupere. Dacă se cunoaște alura curbei de oboseală a unui anumit material atunci devine suficient și găsirea unui singur punct al curbei de oboseală pentru trasarea sa (punctul de abscisă zero fiind cunoscut prin încercarea de rupere a materialului la primul ciclu);

- interpretarea curbelor de oboseală pentru diferite agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, preluate din literatura de specialitate, atestă o planeitate accentuată a acestora. Rezultă că straturile rutiere realizate din astfel de materiale se comportă foarte bine vizavi de o supradimensionare (supraevaluare a solicitărilor), dar dezastruos față de o subdimensionare (subevaluare a solicitărilor). În aceste condiții, se remarcă încă o dată necesitatea stabilirii curbelor de oboseală ale materialelor din straturile rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici și dimensionarea obligatorie a acestor straturi rutiere la oboseală;

- dintre factorii de compoziție care afectează calitatea și implicit comportarea în exploatare a materialelor tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici sînt: granulozitatea materialului, dozajul de liant, compactitatea și dozajul de apă, cu efecte pronunțat negative, în cazul nerespectării dozajelor, pentru ultimii doi;

- vizavi de comportarea în exploatare a structurilor rutiere mixte autorul a abordat problema fisurării din contracție a straturilor rutiere din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. În acest sens se reține faptul că fisurarea din contracție pentru astfel de materiale nu poate fi împiedicată, chiar dacă caracteristicile fisurii (distanță între fisuri, deschidere, fisuri ramificate sau nu, etc.) diferă foarte mult de o multitudine de factori (natura materialului stabilizat natura și dozajul de liant, grosimea stratului rutier, condiții climaterice, granulozitate etc.). Cunoașterea caracteristicilor materialului permite stabilirea prin calcule a distanței dintre fisuri și a deschiderii fisurilor, pe baza unor ipoteze simplificatoare referitoare la lucrul stratului în cadrul structurii rutiere. Mai multă siguranță în aprecierea fenomenului de fisurare poate fi obținută prin utilizarea unor aparate și dispozitive pentru încercări de laborator. În lipsa dotării necesare autorul a utilizat un dispozitiv simplu cu ajutorul căruia a putut să aprecieze comportarea la fisurare a nisipului tratat cu piroclastite andezitice activate cu var;

- avînd în vedere că fisurarea din contracție și apoi transmiterea fisurilor prin straturile rutiere bituminoase superioare nu poate fi împiedicată este interesant de cunoscut care este tendința de propagare a fisurilor și în cît timp ele vor ajunge la nivelul suprafeței de rulare. Pentru aceasta se pot utiliza teoriile ruperii materialelor pe baza stării de eforturi din jurul fisurii calculată cu modele specifice cu elemente finite.

Calcululele au demonstrat că fisura are tendința de a se propaga spre suprafață cu o antrenare a desprinderii interfeței dintre stratul bituminos și stratul din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. În ceea ce privește timpul de propagare a fisurilor se reține influența variațiilor de temperatură care are un efect mai mare asupra fisurării în prima perioadă de transmitere și a traficului care afectează mai mult fenomenul în ultima perioadă a intervalului de propagare a fisurilor;

- urmărirea comportării în exploatare a unor structuri rutiere mixte din sud-vestul țării a permis autorului să verifice în condiții concrete de trafic și climaterice concluziile menționate de literatura de specialitate cu privire la funcționarea sub solicitări a structurilor rutiere care au în alcătuire strat (straturi) din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici (puzzolanici). S-a constatat că, în condițiile unei dimensionări corespunzătoare și a respectării condițiilor tehnice de execuție care să conducă la obținerea unui strat (straturi) din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici (puzzolanici) de tip monolit cu o rigiditate ridicată, comportarea structurilor rutiere mixte investigate justifică implementarea lor în tehnica rutieră.

O dată cu subdimensionarea (depășirea traficului de calcul, grosimea stratului sau neobținerea caracteristicilor proiectate pentru materialul din stratul rutier) structurile rutiere mixte au o comportare defectuoasă, mergând pînă la una asemănătoare cu structurile rutiere suple subdimensionate, atunci cînd stratul din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici își pierde coeziunea.

Transmiterea fisurilor apărute la nivelul suprafeței de rulare se continuă și prin straturile bituminoase de ranforsare sau de întreținere, chiar în condiții climaterice blînde (zona Timișoara), dacă nu au fost luate măsuri pentru împiedicarea propagării lor.

În concluzie, structurile rutiere mixte constituie soluții tehnice raționale cu condiția cunoașterii caracteristicilor materialelor care se utilizează pentru realizarea structurilor rutiere (în special a agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici), astfel încît dimensionarea structurii să fie corectă și cu condiția respectării factorilor de calcul pe întreaga durată de exploatare prognozată.

#### IV. TEHNOLOGII SPECIFICE PENTRU ÎNCETINIREA SAU ÎMPIEDICAREA TRANSMITERII FISURILOR DIN CONTRACȚIE PRIN STRATURILE BITUMINOASE ALE STRUCTURILOR RUTIERE MIXTE

Fisurarea din contracție a agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în cazul straturilor rutiere cu comportare monolit, este inevitabilă. De asemenea, propagarea fisurilor prin straturile bituminoase superioare, cu grosimi de 15...18 cm nu poate fi evitată. Se consideră, în general, că apariția unor fisuri fine, care să nu influențeze negativ uniformitatea suprafeței de rulare, constituie o comportare normală a structurilor rutiere mixte. Situația este cu totul alta în momentul în care fisurile se lărgesc iar suprafața din jurul lor se degradează progresiv, fenomene care atenționează asupra necesității unei întrețineri structurale.

Indiferent de situație tehnologiile aplicate pe suprafețe fisurate sau pe suprafețe care pot deveni fisurate trebuie să urmărească, în plus față de rolurile straturilor bituminoase din alcătuirea structurilor rutiere suplă, reducerea la maximum a vitezei de propagare a fisurilor, dacă nu se poate împiedica apariția lor la nivelul superior al îmbrăcăminții.

##### 4.1. Generalități

După cum s-a arătat în capitolul anterior, fisurarea agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici în condițiile țării noastre este inevitabilă, dar poate fi foarte variabilă în intensitate, formă și consecințe de la situație la situație. În aceste condiții, se acceptă că apariția fisurilor la nivelul suprafeței de rulare nu constituie un impediment dacă:

- deschiderea fisurilor rămâne redusă pe timpul iernii;
- evoluția fisurării să nu conducă la degradarea îmbrăcăminții până la sfârșitul duratei de exploatare prognozată.

În ceea ce privește deschiderea fisurilor se poate menționa faptul că aceasta depinde în principal de coeficientul de dilatație termică a agregatelor naturale utilizate (este de preferat să nu se utilizeze agregate silicoase) și de distanța între fisuri. Distanța dintre fisuri poate fi influențată la rîndul ei de:

- calitatea legăturii dintre stratul din materiale tratate și suportul său. În cazul unei legături bune, fisurile sînt mai dese deci mai fine, în timp ce pentru o legătură necorespunzătoare se obțin depărtate, deci mai deschise. O bună legătură între cele două straturi se poate obține astfel:

. dacă stratul suport este executat din materiale necoezive, uscate sau execuția stratului superior se realizează pe timp călduros se va uda suprafața suportului înainte de începerea așternerii;

. în cazul ranforsărilor se impune curățirea suprafeței stratului suport, mai ales dacă aceasta este contaminată cu materiale pulverulente;



. dacă se execută două straturi din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici (strat de fundație și strat de bază) este necesară asigurarea legăturilor la interfața lor. Aceasta se poate efectua în condiții optime fie prin execuția celui de al doilea strat la maximum o zi după primul și fără protejarea primului strat cu peliculă bituminoasă, fie (numai dacă soluția anterioară nu este aplicabilă) prin protejarea stratului de fundație cu o peliculă bituminoasă peste care se aștern agregate naturale grosiere (14-20 de exemplu), care vor cluta stratul abia executat și vor permite realizarea legăturilor cu stratul următor [84];

. în toate cazurile compactarea energetică pentru asigurarea unor compactități corespunzătoare la baza stratului este esențială ;

- caracteristicile mecanice în momentul fisurării. Pentru rezistențe mecanice ridicate (rigiditate mare) apar fisuri depărtate și deschise, în timp ce pentru rezistențe mecanice mai mici (materiale mai puțin rigide) se obține o fisurare mai deasă și mai fină. În acest context factorii care favorizează obținerea în timp scurt a unei rigidități ridicate sînt:

- . temperaturile mari la punerea în operă;
- . lianți hidraulici cu întărire rapidă;
- . utilizarea unor agregate cu  $D > 20$  mm;
- . dozajele ridicate de liant.

În toate cazurile este oricum de evitat suprapunerea a doi sau mai mulți din factorii menționați.

Referitor la condițiile în care poate apare o degradare a îmbrăcămintei în zona fisurilor se pot reține următoarele aspecte:

- dacă rezistențele mecanice ale materialului tratat sînt insuficiente, stratul se degradează în zona fisurii cu repercusiuni asupra comportării îmbrăcămintei, care se faianțează și se desprinde pe zona afectată;

- se va evita utilizarea unor agregate naturale cu slabe rezistențe la uzură (nisipuri fine , agregate naturale fiabile etc.) deoarece ele conduc la crearea în zona fisurii de părți fine;

- în altă ordine de idei o îmbrăcămintă bituminoasă compactă, cu un conținut ridicat de liant are o comportare favorabilă vizavi de straturile rutiere fisurate.

Se constată o mare varietate de factori care pot influența fisurarea și o pot face chiar defavorabilă desfășurării traficului și structural. Acești factori sînt greu de controlat și stăpînit (vezi cap. 3) fapt pentru care este dorit ca fisurarea să fie preîntîmpinată pe cît posibil prin soluții tehnice care să o combată sau măcar să o încetinească.

#### 4.2. Tehnologii pentru împiedicarea transmiterii fisurilor prin straturile rutiere bituminoase

Tehnologiile utilizate în tehnica rutieră pentru împiedicarea transmiterii fisurilor din contracție apărute în straturile din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, prin straturile bituminoase superioare se impart în două grupe mari:

- tehnologii pentru provocarea și localizarea fisurilor;
- tehnologii pentru stoparea transmiterii fisurilor prin straturile bituminoase, care la rîndul lor, după locul pe care îl ocupă în structura rutieră, pot fi: de suprafață sau de interpunere.

#### 4.2.1. Tehnologii pentru provocarea și localizarea fisurilor

Prin localizarea fisurilor din contracție în straturile rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se pot rezolva următoarele obiective:

- cunoscând locul unde există fisura se pot lua măsuri fie pentru limitarea consecințelor nedorite ale prezenței acesteia, fie pentru facilitarea întreținerii fisurilor odată apărute la suprafață;

- provocarea fisurilor pentru micșorarea pasului dintre fisuri și deci implicit a deschiderii acestora; rezultă o mai bună comportare mecanică a structurii ca urmare a concentrărilor de eforturi mai mici în stratul bituminos, în apropierea zonei fisurate.

În acest context, au apărut tehnologii care urmăresc:

- crearea de fisuri ordonate prin extrapolarea tehnologiilor de realizare a rosturilor la îmbrăcămintile din beton de ciment;

- crearea de fisuri neordonate, fără a ține cont de locul apariției și de forma acestora.

##### 4.2.1.1. Fisurarea ordonată

Majoritatea tehnologiilor încadrate în această categorie au fost create și testate pornind de la principiul următor: prin provocarea fisurilor se poate menține pasul dintre ele constant, iar reducerea distanței dintre fisuri conduce la o mai bună repartizare a solicitărilor din variații de temperatură, cu consecințe asupra stării generale de eforturi în zonele fisurate. Această idee presupune că toate fisurile vor fi active iar contracția de priză va antrena fisurarea stratului rutier în dreptul fiecărei prefisuri.

În același timp, prefisurarea stratului nu este avantajoasă decât în cazul în care, din punct de vedere mecanic, sub solicitările din trafic, stratul rutier acceptă o fisurare de tipul celei create.

În continuare sînt prezentate cîteva din tehnologiile experimentate în acest scop în Franța [52], [84], [103], [179], [199], [201], [102], [143].

##### a) Micșorarea locală a grosimii stratului rutier

Această tehnologie pornește de la principiul potrivit căruia fisurile din contracție apar în secțiunile transversale cele mai slabe ale stratului. Micșorînd deci grosimea stratului cu ajutorul unor materiale (rigle din lemn, profiluri din cauciuc etc.) cu circa 1/10, în zona respectivă se obține o fisură în urma contracției. Astfel, în Franța s-au experimentat următoarele două soluții [201]:

- poziționarea profilelor din cauciuc la interfața dintre stratul suport și stratul din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici;

- poziționarea profilelor din cauciuc la mijlocul stratului din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

Concluziile acestor experimentări sînt următoarele:

- prezența unui profil de cauciuc la interfața dintre stratul suport și cel stabilizat conduce la apariția unei fisuri în secțiunea respectivă;

- poziționarea profilului de cauciuc la mijlocul stratului provoacă o rupere a acestuia în plan orizontal prin zona profilului, fisura transversală putînd să nu fie regulată;

- poziționarea profilelor de cauciuc este o operație grea, care înglobează multă manoperă, fapt pentru care aplicarea tehnologiei este redusă.

b) Rosturi tăiate

Această tehnologie presupune tăierea unor rosturi echidistante în stratul din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, imediat după compactare, cu ajutorul unui utilaj special. Utilajul permite tăierea rosturilor cu ajutorul unui cuțit fixat pe un cilindru vibrant, iar pentru evitarea deteriorării marginilor rostului format se interpune o folie de polietilenă care este tăiată în același timp cu materialul. Oricum pentru preluarea eventualelor denivelări create se recomandă o nouă trecere a compactorului cu pneuri, care nu reduce eficiența operației anterioare [64], [201].

Experimentările efectuate în Franța cu același utilaj [201] au demonstrat eficiența sa. Tăierea rosturilor în acest mod pentru un strat din agregate naturale tratate cu ciment la distanțe de 3;5 și 7 m au evoluat în timp astfel: după primele două ierni nu a apărut nici o fisură pe primul sector (rosturi la 3 m), o începere de fisurare este vizibilă pe al doilea și fisurarea este completă pe al treilea.

c) Rosturi active

Rolul rostului activ este de a menține continuitatea mecanică a structurii vizavi de solicitările verticale. Acest lucru se realizează prin (fig.4.1) [74], [143]:

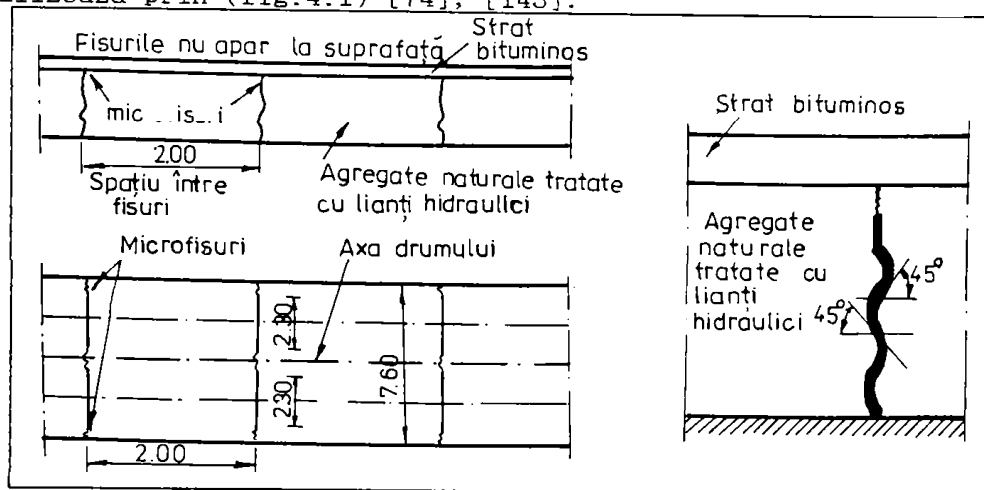


Fig. 4.1. Tehnologia de realizare a rosturilor active.

- distanța redusă dintre rosturi (circa 2,00 m) face ca deschiderea acestora să fie redusă fapt care asigură o anumită conlucrare între dale;

- forma sinusoidală a profilului care se introduce în stratul de materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici îmbunătățește îmbinarea dintre cele două dale formate, în momentul deschiderii maxime a fisurilor pe timp friguros;

- forma sinusoidală a profilului limitează deplasările dalelor, unele față de altele, la trecerea vehiculelor;

- aceeași formă permite o mai bună repartizare a eforturilor de la o dală la alta.

Profilul ondulat este din material plastic și se introduce în stratul proaspăt executat cu ajutorul unui utilaj perfecționat.

Acesta permite tăierea materialului proaspăt, introducerea profilelor în axa fiecărei benzi de circulație (pe o lățime de 2,30 m) și corectarea denivelărilor apărute în urma operației respective. Înălțimea profilelor este variabilă, funcție de grosimea stratului, pentru a permite obținerea unui spațiu fără profil, la partea superioară a stratului, de minimum 4,00 cm.

#### d) Prefisurarea cu emulsie bituminoasă

Prefisurarea stratului din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici este adesea legată de ideea tratării stratului în scopul ameliorării transmiterii fisurilor din acesta prin straturile bituminoase superioare.

Tehnologia de prefisurare cu ajutorul emulsiei bituminoase [201] constă în realizarea unei tăieturi (zgîrîieturi) în profiluri transversale echidistante (2...3 m) ale stratului rutier, înainte de compactare, care este apoi protejată cu o emulsie bituminoasă. Emulsia bituminoasă primește în acest fel următoarele roluri:

- prin faza sa apoasă, cu pH redus ea încetinește priza liantului în zona respectivă și crează prin urmare o zonă cu rezistențe mecanice mai mici, favorabilă fisurării;
- prin faza sa dispersată ea crează o discontinuitate care favorizează de asemenea fisurarea. Pe de altă parte, bitumul permite impermeabilizarea în zona fisurii.

Cantitatea de emulsie utilizată pentru crearea prefisurilor într-un strat de 20 cm grosime și la distanțe de 3 m este de 0,2 L/m<sup>2</sup> de parte carosabilă (7,00 m), deci creșterea costurilor de execuție este redusă.

Pe baza acestui principiu a fost creat în anul 1988, în Franța, un utilaj special [103], [102], [151], [48] care permite crearea automată a fisurilor transversale în straturile rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici (procedeul CRAFT).

Utilajul este format dintr-un tractor pe care, în partea sa frontală, este instalat echipamentul pentru prefisurare. Acesta este compus dintr-un braț de manevră și de ghidare a cuțitului, care este asociat accesoriilor formate din: rezervorul de liant, un compresor, un grup electrogen și o pompă hidraulică care permite acționarea echipamentului. Principiul de funcționare a echipamentului este prezentat în fig.4.2.

Brațul de manipulare articulată sub formă de compas permite poziționarea cuțitului la marginea stratului și tăierea acestuia pe toată adâncimea (max. 30 cm) și pe o lățime de max. 3,50 m. Operația de tăiere este ușurată printr-un dispozitiv de vibrație. O dată cu tăierea materialului se face și injectarea emulsiei bituminoase în discontinuitatea creată. Dacă lățimea stratului rutier este mai mare decât lățimea de lucru a utilajului se procedează la mai multe treceri succesive până la prefisurarea întregii lățimi. Reglarea operațiilor se face automat, conducătorul avînd doar sarcina să poziționeze cuțitul în secțiunea de lucru și să declanșeze mișcarea transversală a acestuia.

Se utilizează o emulsie bituminoasă cationică cu rupere rapidă, identică cu cea care se întrebunțează de regulă pentru protecția straturilor din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici.

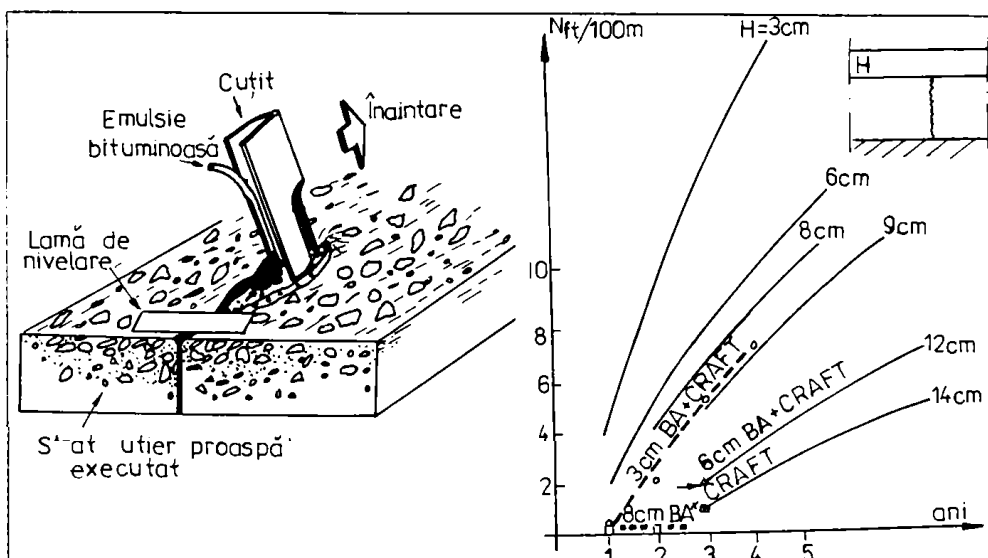


Fig.4.2. Principiul de funcționare a echipamentului.

Fig.4.3. Evoluția fisurării pe sectoarele prefisurate cu CRAFT.

După efectuarea prefisurilor se trece la efectuarea operației de compactare și la celelalte operații ale lanțului tehnologic de realizare a structurilor rutiere mixte. Oricum compactarea nu este perturbată de operația anterioară iar după compactare calitatea suprafeței este corespunzătoare.

După patru ani de experimentare a tehnologiei (peste 120 km executați) s-a tras concluzia că prefisurarea CRAFT este mai eficientă decât 5...6 cm de mixtură asfaltică în fața propagării fisurilor. Astfel, diagrama numărului de fisuri transversale pe 100 m ( $N_{ft}/100\text{ m}$ ) funcție de grosimea stratului bituminos și vîrstă (fig.3.35) a fost completată ca în fig.4.3. La acest aspect se adaugă faptul că în cazul tehnologiei CRAFT fisurile sînt fine ( $< 0,5\text{ mm}$ ), față de fisurile naturale care depășesc 1,0 mm, deci și conlucrarea dintre dale în zona rostului este mai bună.

Se poate constata că tehnologia CRAFT, chiar dacă nu asigură o împiedicare a apariției fisurilor la nivelul suprafeței de rulare a structurilor rutiere mixte, are un efect favorabil asupra acestui fenomen. În plus asigură impermeabilizarea rosturilor create și se poate spera că prin cumulara ei cu alte tehnologii de împiedicare a transmiterii fisurilor se pot atinge rezultate convenabile.

#### 4.2.1.2. Fisurarea neordonată

Tehnologiile de micro și macrofisurare ale straturilor din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici au ca obiectiv reducerea transmiterii fisurilor prin straturile bituminoase. Pentru aceasta se dorește implicit reducerea deschiderii fisurilor datorate contracției materialului, fenomen care se poate obține prin creșterea numărului de fisuri. Se obține un strat cu o multitudine de discontinuități, cu o comportare pseudocontinuu, care

nu mai poate fi dimensionat la oboseală. Se obține un strat care funcționează ca un ansamblu de dale mici articulate a căror comportare sub trafic este intermediară între un strat monolit și unul din agregate naturale netratate cu lianți.

Obținerea stratului microfisurat se poate face fie prin acceptarea traficului de șantier în perioada de priză a liantului hidraulic, fie prin solicitarea stratului după întărire la încărcări concentrate mari (fig.4.4).

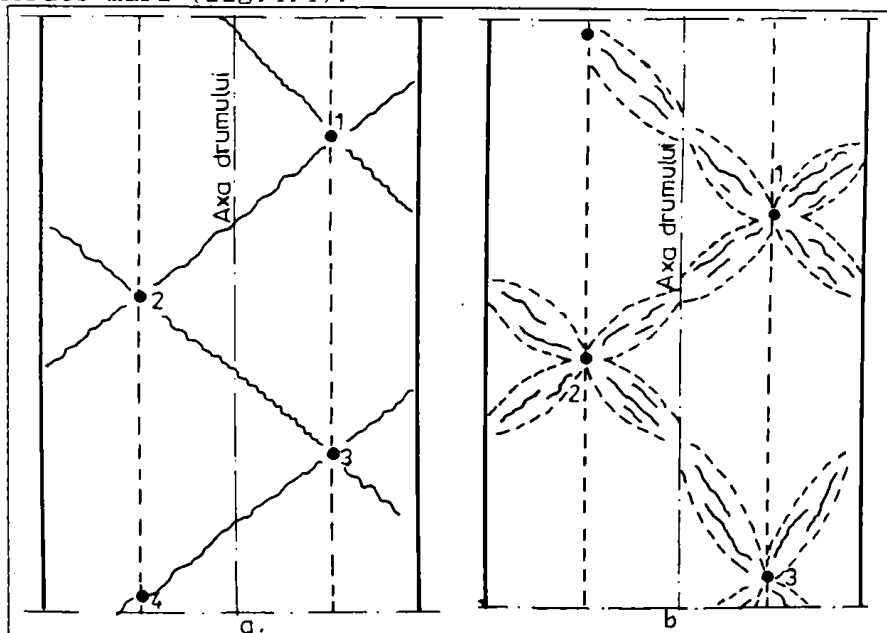


Fig.4.4. Fisurarea neordonată a straturilor rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici.

Încărcările verticale concentrate sînt obținute prin lovirea stratului cu o bilă de o tonă care cade liber de la o înălțime de 10...30 cm, pe un disc metalic de 20 cm și grosimea de 1...2 cm. Suprafața de contact dintre discul metalic (sau din neopren) și stratul rutier este uniformizată cu nisip fin în vederea obținerii unui contact perfect. Loviturile sînt date în mijlocul fiecărei benzi de circulație, ruperea propagîndu-se în diagonală (fig.4.4.a), iar următorul punct de contact se determină geometric. În realitate fisurarea se produce sub formă de petale (fig.4.4.b).

Utilizarea unei astfel de tehnologii implică renunțarea la o bună parte din capacitatea portantă a stratului rutier, fapt care nu se justifică nici tehnic și nici economic. Rezultă o răspîndire relativ redusă a tehnologiilor de acest tip.

#### 4.2.2. Tehnologii de suprafață pentru stoparea transmiterii fisurilor din contracție prin straturile bituminoase

În multe situații apariția fisurilor din contracție din straturile inferioare la nivelul suprafeței de rulare nu are consecințe asupra stării de viabilitate a drumului, contribuind numai la reducerea impermeabilității îmbrăcămintei.

Obiectivele vizate prin întreținerea unor astfel de suprafețe sînt:

- refacerea impermeabilității îmbrăcăminte;
- evitarea unor întrețineri ulterioare costisitoare;
- împiedicarea transmiterii fisurilor prin noile straturi.

În general, tehnologiile de suprafață alese în situații de acest fel trebuie să ia în considerare cauzele care provoacă propagarea fisurilor (variațiile de temperatură care conduc la deschiderea sau închiderea fisurilor și traficul care conduce la apariția unor eforturi unitare de tăiere în zona fisurilor și contribuie la deschiderea acestora). Pornind de la aceste considerate au fost create o serie de tehnologii pe bază de mixturi asfaltice sau tratamente bituminoase care să răspundă la obiectivele sus-menționate.

De asemenea, pentru testarea tehnologiilor de suprafață sau de interpunere în condiții de laborator a fost creat un aparat care să permită determinarea timpului de transmitere a unei fisuri printr-un anumit material (fig.4.5).

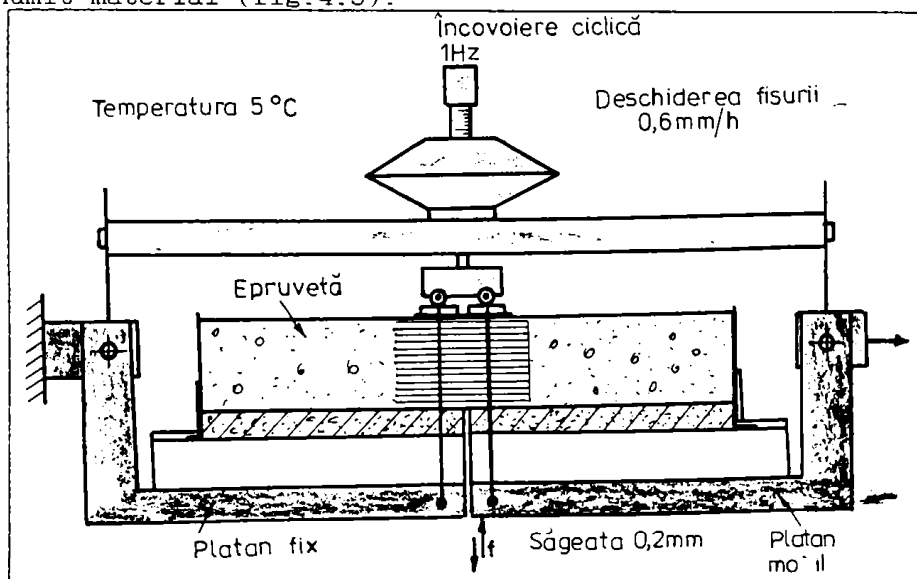


Fig.4.5. Aparat pentru încercarea materialelor antifisuri.

Comportarea complexelor antifisuri este testată printr-o încercare de contracție - încovoiere care simulează simultan efectul variațiilor de temperatură și efectul traficului greu. Încercarea se efectuează într-o încălțură cu temperatură constantă (5 °C) în modul următor (fig.4.5):

- contracția termică a straturilor fisurate este simulată prin deplasarea platanului mobil cu o viteză medie de 0,6 mm/h (viteză care corespunde unei viteze de descreșteri a temperaturii de 6 °C/h);
- trecerea osiilor grele este simulată prin aplicarea unor încărcări ciclice cu frecvența de 1 Hz, dată de un vinci pneumatic, care să permită obținerea unei săgeți de 0,2 mm.

Reprezentînd grafic variația lungimii fisurii în raport cu timpul relativ se obțin informații privind momentul de amorsare a fisurii, viteza de propagare a fisurii și timpul de rupere prin care

se estimează eficiența materialului studiat.

Rezultatele obținute sînt comparate cu cele corespunzătoare materialului etalon, care în Franța [201] se consideră un bistrat format din 2 cm mortar asfaltic și 6 cm beton asfaltic. De asemenea, se acceptă pentru comparație și stratul de 6 cm beton asfaltic, luat individual.

#### 4.2.2.1. Mixturi asfaltice antifisuri

Investigațiile efectuate în SUA și Franța [201] asupra eficienței mixturilor asfaltice la împiedicarea transmiterii fisurilor din contracție spre suprafața de rulare au condus la următoarele concluzii:

- betoanele asfaltice influențează transmiterea fisurilor din contracție astfel:

. grosimea stratului bituminos trebuie să fie de minimum 9 cm pentru ca fisurile să nu apară la suprafață în 6 ani;

. cu cît bitumul utilizat este mai moale cu atît riscul de fisurare este mai redus;

. în acest context utilizarea unor bitumuri mai moi, modificate, în dozae ridicate, permite încetinirea transmiterii fisurilor;

- anrobatele bituminoase se pare că încetinesc transmiterea fisurilor ca urmare a volumului lor de goluri mai ridicat. Nu trebuie uitat însă faptul că volumul ridicat de goluri îngreunează depistarea fisurilor, în prima lor perioadă de apariție la suprafață;

- mortarele asfaltice clutate (dozaj: nisip natural 40...50 %, nisip de concasaj 50...60 % și bitum cu penetrația 180...200 1/10 mm, 7,5 %) au eficiența cea mai ridicată vizavi de împiedicarea transmiterii fisurilor. Clutarea realizată cu cribluri preanrobate permite obținerea unei rugozități corespunzătoare pentru suprafața de rulare;

- în Franța s-a răspîdit sistemul bistrat de prevenire a apariției fisurilor la nivelul suprafeței de rulare. Bistratul este format dintr-un strat de mortar asfaltic (nisip 0/4 cu 9...10 % bitum, eventual modificat) cu grosimea de 1,5...2,0 cm peste care se realizează un beton asfaltic cu grosimea de 4...6 cm sau mai mult (bitumul poate fi modificat);

- sistemul bistrat antifisuri Fistop [74] pornește de la ideea anterioară, dorind să îmbunătățească calitățile antifisuri ale stratului din mortar asfaltic. Aceasta prin intermediul unui bitum moale cu penetrația 180/220, modificat pentru evitarea formării făgașelor. Liantul este puțin susceptibil și cu o ductilitate ridicată la temperaturi reduse.

#### 4.2.2.2. Tratamente bituminoase antifisuri

În conformitate cu experimentările și observațiile efectuate în SUA și Franța [201], concluziile legate de utilizarea diferitelor tipuri de tratamente bituminoase pentru evitarea transmiterii fisurilor din contracție din straturile inferioare sînt următoarele:

- tratamentele bituminoase executate după tehnologiile clasice pot întîrzia transmiterea fisurilor fine, dar nu conduc la împiedicarea fenomenului;

- tratamentele bituminoase groase se realizează pe baza principiului modificării bitumului pur cu cauciuc sau elastomeri astfel încît acesta să poată fi pus în operă într-o peliculă de circa



3 mm grosime, fața de 1,0...1,5 mm în cazul tratamentelor bituminoase clasice. Dozajele folosite pentru crearea unor astfel de lianți sînt în general următoarele [86]:

. bitum 75...80 %, pudretă de cauciuc 24...20 % și ulei 1...5 %. Pudreta de cauciuc vulcanizat (granulozitate: 600...2000 Șm) este amestecată cu bitum - ulei omogenizat în prealabil la 204 °C. Dozajul de liant utilizat este de 2,0...3,2 L/m<sup>2</sup>, iar agregatele naturale se răspîndesc încălzite și deseori preanrobate cu 0,25...0,75 % bitum (SUA);

. aceleași dozaje ale componentilor cu diferență că pudreta de cauciuc provine 40 % din cauciuc nevulcanizat și 60 % din cauciuc vulcanizat, din care 30 % cauciuc natural. Agregatele naturale se aștern încălzite și preanrobate cu 0,25...0,75 % bitum (SUA);

. bitum 80/100 în proporție de 80 %, pudretă de cauciuc 16 % obținută din pneuri uzate cu 50 % cauciuc natural și 50 % cauciuc sintetic și 4 % ulei. Lianul realizat are o vîscozitate ridicată care conduce la dozaje de așternere mari (circa 3 kg/m<sup>2</sup>). Agregatele naturale sînt sort 10/14 sau 16/20 spălate și încălzite puternic. Agregatele preanrobate nu au dat rezultate în cadrul acestei tehnologii (Franța);

. bitum 80/100 modificat cu circa 10 % elastomeri în instalații industriale. Agregatele naturale sînt spălate și încălzite (Franța).

Cu toată grosimea peliculei de liant pusă în operă tratamentele bituminoase groase nu reușesc să rezolve decît pentru scurt timp problema împiedicării transmiterii fisurilor în straturile superioare. Se constată chiar reapariția fisurilor pe aceleași direcții și cu aceleași distanțe între ele. Faptul că raportul eficiență/preț este mediocru, la care se adaugă îngreunarea tehnologiei de realizare, face ca astfel de soluții să fie puțin aplicate.

#### 4.2.2.3. Tehnologii de suprafață bazate pe utilizarea geotextilelor

Dintre tehnologiile existente pentru împiedicarea transmiterii fisurilor din contracție spre suprafața de rulare, cele bazate pe utilizarea geotextilelor și geogrilelor au răspîndirea cea mai mare. Pentru obținerea unor rezultate corespunzătoare condițiile de calitate care trebuie urmărite sînt în principal următoarele:

- legătura dintre geotextile și straturile între care se intercalează trebuie să fie perfectă;

- liantului de impregnare a geotextilului trebuie să fie în cantitate suficientă pentru a satura geotextilul și a asigura lipirea straturilor;

- complexul astfel format nu trebuie să aibă deformații mari la baza îmbrăcăminte, sub efectul traficului;

- geotextilele nu trebuie să fie foarte groase și mai ales foarte compresibile ;

- geotextilele trebuie să fie perfect întinse, fără pliuri pe întreaga suprafață;

- eficiența sistemului antifisuri ține în parte de liantul bituminos care trebuie să rămînă deformabil la temperaturi reduse, fără a fi foarte fluid la temperaturi ridicate. Este necesar să se utilizeze lianți cu susceptibilitate termică redusă;

- utilizarea unui liant sub formă de emulsie bituminoasă, deci comodă pe șantier este foarte controversată, deoarece stropirea sub

această formă a liantului conduce la o legătură necorespunzătoare între straturi.

În continuare sînt prezentate cîteva din tehnologiile de suprafață pe bază de geotextile utilizate pe plan mondial pentru împiedicarea transmiterii fisurilor spre suprafața de rulare.

#### a) Geotextil sub tratament bituminos simplu

Tehnologia a fost executată pentru prima dată în Franța în anul 1978 și constă în următoarele operații [201]:

- curățirea suportului urmată de stropirea unei emulsii bituminose, în cantitate de 400 g/m<sup>2</sup>;
- întinderea geotextilului cu masa de 140 g/m<sup>2</sup>;
- executarea unui tratament bituminos simplu realizat dintr-o peliculă de bitum - polimeri (sub formă de emulsie bituminosă, în cantitate de 1,7 kg/m<sup>2</sup>) și așternere de agregate naturale sort 10/14 sau 4/6.

După 7 ani de exploatare sînt sesizabile fisuri transversale la distanțe de 5 m unele față de altele, în raport cu sectorul original care avea fisuri transversale la distanțe de 2,0...2,5 m și o fisură longitudinală în axă. Se poate deduce efectul favorabil pe care îl are geotextilul vizavi de propagarea fisurilor.

#### b) Tratamente bituminose duble peste un geotextil Polyfelt

Tehnologia se aplică în Franța și are la bază armarea unui tratament bituminos dublu, executat cu bitum 180/220, fluxat cu 3 % ulei (numit Mictar A), cu un geotextil neșesut armat cu fibre de polipropilenă, numit Polyfelt [56].

Executarea complexului antifisuri presupune parcurgerea următoarelor etape:

- curățirea temeinică a suprafeței părții carosabile, urmată de stropirea liantului Mictar A, în cantitate de 1 kg/m<sup>2</sup>, pentru amorsare și colmatarea fisurilor;
- întinderea perfectă a geotextilului Polyfelt pe întreaga suprafață a părții carosabile;
- realizarea tratamentului bituminos dublu, astfel:
  - . stropirea geotextilului cu 1,8 kg/m<sup>2</sup> Mictar A;
  - . așternerea agregatelor naturale sort 8-10, în cantitate de 9 L/m<sup>2</sup>;
  - . compactare;
  - . stropirea suprafeței cu 1,3 kg/m<sup>2</sup> Mictar A;
  - . așternerea agregatelor naturale sort 4-6, în cantitate de 7 L/m<sup>2</sup>;
  - . compactare.

Din punct de vedere tehnologic nu apar probleme deosebite, iar comportarea în exploatare după 3 ani de la execuție este corespunzătoare.

#### c) Complexul antifisuri geotextil-tratament bituminos (Armaco)

Eficiența sporită a complexului antifisuri Armaco este dată pe de o parte de geotextilul utilizat (geotextil neșesut, aproape incompresibil și cu rezistențe la întindere ridicate) și pe de altă parte de liantul utilizat la impregnare (bitum modificat cu elastomeri cu coeziune ridicată). Complexul antifisuri astfel format are o suplețe ridicată, mai ales la temperaturi ridicate, fapt care îi conferă o comportare corespunzătoare vizavi de propagarea

fisurilor.

Tehnologia de execuție a sistemului geotextil -tratament bituminos nu diferă de tehnologiile menționate anterior decât prin faptul că geotextilul livrat în suluri este întins mecanic cu ajutorul unui derulator [56], [201].

#### 4.2.2.4. Tratamente bituminoase anrobate in situ armate cu geotextile (Trabintex)

În scopul îmbunătățirii viabilității îmbrăcăminților bituminoase vechi, fisurate și pentru împiedicarea transmiterii fisurilor din straturile inferioare spre nivelul suprafeței de rulare, autorul și-a adus contribuția la studiul și experimentarea unei noi tehnologii de realizare a tratamentelor bituminoase la rece.

Tehnologia constă în armarea unui tratament bituminos cu agregate naturale anrobate in situ (Trabinsit) cu un geotextil și constituie obiectul brevetului de invenție nr. 104431/1991, eliberat de Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci.

Tratamentele bituminoase cu agregate naturale anrobate in situ armate cu geotextile (Trabintex) au fost create pentru tratarea îmbrăcăminților bituminoase fisurate sau faianțate (pentru situații în care structura rutieră are o capacitate portantă suficientă ), dar și pentru protejarea zestrei existente a drumurilor cu îmbrăcămintă de macadam.

#### a) Studii de laborator

Începînd cu anul 1988 autorul a efectuat studii de laborator și sectoare experimentale în condiții de laborator utilizînd ca liant o emulsie bituminoasă cationică cu rupere rapidă (EBCR 60), ca geotextil un Netesin 300 și diverse agregate naturale. Dozajele de lucru în laborator sînt prezentate în tabelul 4.1.

Tabel 4.1.

Material	U.M.	Cantitatea de material pentru varianta:				
		1	2	3	4	5
Criblură 8-16	kg/m <sup>2</sup>	15	16	-	16	14
Criblură 3-8	kg/m <sup>2</sup>	6	-	-	5	-
Nisip grăunțos 3-7	kg/m <sup>2</sup>	-	5	6	-	-
Pietriș 7-16	kg/m <sup>2</sup>	-	-	16	-	-
Nisip 0-3	kg/m <sup>2</sup>	-	-	-	-	5
EBCR 60	kg/m <sup>2</sup>	3.5	3.0	3.2	4.0	3.0

Geotextuilul utilizat (Netesin 300) a avut următoarele caracteristici:

- grosime: 2...5 mm;
- masa: 300 g/m<sup>2</sup>;
- rezistența la tracțiune longitudinală: 10 daN/5 cm;
- alungirea longitudinală la rupere: 18 %.

Comportarea sectoarelor experimentale la nivelul de laborator au

arătat competitivitatea tehnologiei propuse, mai ales în cazul utilizării dozajelor 1; 2; și 4, motiv pentru care în vara anului 1989 s-au făcut primele experimentări la scară naturală.

#### b) Experimentări la scară naturală

Prima aplicare a tehnologiei a fost executată de către DRDP Timișoara, Secția de drumuri naționale Orșova, pe DN 57, Orșova-Moldova Nouă, km 9+300...9+500 și km 34+900...35+800, autorul participând la efectuarea lucrărilor.

Etapele de execuție ale tehnologiei în cazul aplicării acesteia pe îmbrăcăminti bituminoase fisurate, care fac parte din complexe rutiere cu o capacitate portantă la nivelul traficului actual și de perspectivă, sînt următoarele:

- în scopul realizării unei legături continue între suprafața îmbrăcăminte și materialul geotextil, s-au reparat defecțiunile existente, prin tehnologii adecvate, îmbrăcăminte rămînînd sub circulație încă circa 3 săptămîni;

- în acest interval s-a definitivat aprovizionarea cu materialele necesare și s-au semnalizat sectoarele de drum în mod corespunzător executării lucrărilor de tratamente bituminoase;

- suprafața îmbrăcăminte a fost temeinic curățată cu mătură mecanice;

- pe suprafața astfel pregătită s-a stropit EBCR 60, 1,4...1,6 kg/m<sup>2</sup> pentru amorsare;

- după ruperea emulsiei bituminoase, s-a întins manual geotextilul astfel încît întreaga suprafață să fie acoperită;

- peste Netesinul perfect întins s-a răspîndit criblură 8-16, în cantitate de 13...15 kg/m<sup>2</sup>. Agregatele naturale au fost astfel dozate și răspîndite încît să se asigure așezarea granulelor unele lîngă altele, uniform și continuu;

- peste covorul de agregate naturale s-a stropit emulsie bituminoasă (EBCR 60), în cantitate de 1,7...2,0 kg/m<sup>2</sup>. Stropirea emulsiei bituminoase s-a făcut cu autostropitorul de bitum;

- după ruperea emulsiei bituminoase s-a executat împănarea învelișului format cu criblură 3-8, în cantitate de 4...6 kg/m<sup>2</sup>, cu scopul umplerii golurilor dintre granule și asigurarea încleștării acestora;

- după împrăștierea agregatului natural mărunt s-a executat cilindrarea cu ajutorul compactorului cu rulouri netede, considerîndu-se operația încheiată după 4...6 treceri ale compactorului.

- trabintexul s-a dat în circulație după 3...4 ore de la execuție.

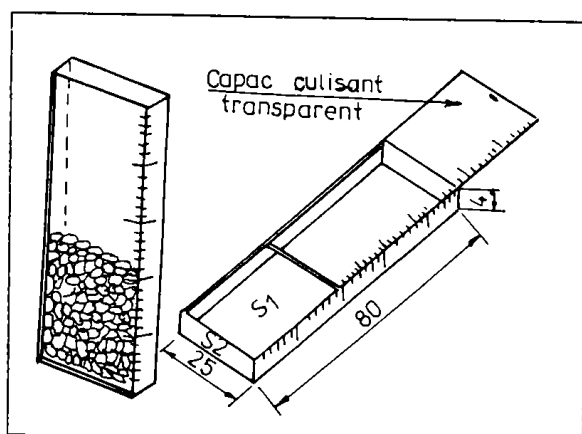
#### c) Verificarea dozajelor pe șantier

În scopul obținerii unor lucrări de tratamente bituminoase de calitate este necesară verificarea dozajelor pe șantier. În acest scop autorul a propus și s-a aplicat la fața locului următoarea metodologie de verificare a dozajelor:

- pentru agregatele naturale s-a proiectat și executat cutia din fig.4.6 cu ajutorul căreia se poate determina rapid cantitatea de agregate naturale răspîndite pe o suprafață unitară (certificat de inovator nr. 1069/1989, eliberat de MEI București).

În principiu, dispozitivul este format dintr-o cutie de lemn cu suprafața de 0,25 m<sup>2</sup>, prevăzută cu un capac din plexic transparent.

Pentru a se evita lipirea cutiei de pelicula de liant stropită



înainte de așternerea agregatelor naturale (în cazul tratamentelor bituminoase clasice), aceasta este prevăzută cu 4 picioare metalice. Ținând cont de densitatea în grămadă a agregatului natural și de suprafață efectivă a cutiei pe capac sînt gradate direct cantitățile de material răspîndit pe 1 m<sup>2</sup>.

Fig.4.6. Cutie pentru verificarea dozajului de agregate naturale la lucrările de tratamente bituminoase.

Cutia se plasează înaintea răspînditorului, iar după trecerea acestuia se introduce capacul și prin simpla ridicare a dispozitivului, în poziție verticală se citește cantitatea de agregate naturale răspîndite. Funcție de această citire se reglează răspînditorul de criblură și se procedează la o nouă determinare;

- pentru liant s-a procedat la decuparea unui carton cu suprafața de 0,25 m<sup>2</sup> care s-a plasat înainte de trecerea autostropitorului de bitum. Cunoșcînd masa inițială a cartonului și masa acestuia impregnat cu liant s-a determinat rapid cantitatea de liant pusă în operă.

De asemenea, pe șantier s-a urmărit cu atenție curățenia agregatelor naturale utilizate (forma granulelor, natura rocii etc.), stropirea uniformă și continuă a emulsiei bituminoase, precum și așternerea corespunzătoare a agregatelor naturale.

#### d) Efecte tehnice și economice ale trabintexului

Avînd în vedere faptul că după 3 ani de exploatare sectoarele experimentale executate cu trabintex au o comportare normală în raport cu tratamentele bituminoase clasice, dar cu avantajele că fisurile din îmbrăcămintea veche nu sînt sesizabile la nivelul suprafeței de rulare și că suprafața existentă rămîne armată cu geotextilul, se pot concretiza următoarele concluzii:

- consumul cu bitum este cu circa 15...20 % mai redus decît în cazul unui covor asfaltic de 3 cm grosime, executat la cald, prin care după toate probabilitățile fisurile s-ar fi transmis pînă la nivelul suprafeței de rulare în intervalul de 3 ani (vezi pct. 3.3);
- consumul de agregate naturale față de același covor asfaltic este cu circa 30 % mai redus;
- se elimină consumul de combustibil și de energie electrică necesare preparării mixturilor asfaltice;
- se economisește carburantul necesar transportului și manipulării agregatelor naturale la instalația de producere a mixturilor asfaltice;
- rugozitatea suprafețelor de rulare este mai ridicată decît în cazul covoarelor asfaltice, deci crește siguranța circulației;
- tehnologia este simplă, ușor de realizat, la îndemîna oricărui

district de drumuri.

Se poate reține faptul că Trabintexul este o tehnologie eficientă pentru împiedicarea transmiterii fisurilor din îmbrăcămintile bituminoase vechi spre nouă suprafață de rulare, care poate fi perfecționată prin utilizarea unor bitumuri modificate care să confere tratamentului bituminos calități superioare.

#### 4.2.3. Tehnologii de interpunere pentru stoparea transmiterii fisurilor din contracție prin straturile bituminoase

Avind în vedere că de cele mai multe ori tehnologiile de suprafață pentru evitarea transmiterii fisurilor spre suprafața de rulare nu dau rezultate competitive s-a recurs la conceperea și experimentarea unor complexe antifisuri interpușe între vechea îmbrăcămintă și noile straturi bituminoase [74], [86], [166], [168], [177], [176], [198], [201], [181], [151].

De regulă dispozitivele antifisuri de interpunere au la bază o membrană bituminoasă, armată sau nu cu geotextile, care trebuie să îndeplinească următoarele roluri:

- să "absoarbă" mișcările din dreptul fisurii, datorită contracțiilor hidraulice sau termice, sau cele datorate traficului, fără a le transmite stratului superior;

- să fie suficient de elastică, dar să nu conducă la deformării importante (elastice sau plastice) ale stratului superior, deoarece atunci acesta fie obosește, fie conduce la apariția fâgășelor la nivelul suprafeței de rulare;

- soluțiile de interpunere permit în același timp cu combaterea propagării fisurilor și creșterea capacității portante a complexului rutier, prin executarea straturilor bituminoase superioare. Se remarcă faptul că pentru structuri rutiere noi este indicat să se plaseze armătura antifisuri la partea inferioară a straturilor bituminoase, fapt care poate prelungi durata de apariție a fisurilor, față de sectoarele nearmate, cu un raport de 3...6. Plasarea armăturii de exemplu la mijlocul stratului de bază bituminos nu conduce la rezultate corespunzătoare.

##### 4.2.3.1. Structuri rutiere inverse

Tehnologia de execuție a structurilor rutiere inverse cu scopul declarat de a preîntâmpina apariția fisurilor, din contracție din straturile tratate cu lianți hidraulici, la nivelul suprafeței de rulare a fost executată în țara noastră încă din anii '70.

În principiu, în cazul structurilor rutiere inverse dispozitivul antifisuri este realizat dintr-un strat rutier din materiale granulare cu un volum ridicat de goluri (macadam, macadam bituminos), care rupe legătura dintre stratul inferior și straturile bituminoase și evită în acest fel transmiterea fisurilor spre suprafață. Acest strat rutier are o capacitate portantă inferioară atât stratului inferior cât și stratului superior, dar plasarea lui în cadrul unei structuri rutiere cu straturi din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici este eficientă vizavi de transmiterea fisurilor.

Din păcate raportul dintre grosimea totală a structurii și capacitatea portantă efectivă a acesteia este defavorabil față de celelalte structuri rutiere, mai ales în cazul unor traficuri importante, motiv pentru care aplicarea acestei soluții este limitată (drumuri locale sau cu intensități ale traficului reduse și medii).

#### 4.2.3.2. Interpunerea unor mixturi asfaltice antifisuri

S-a arătat la pct. 4.2.2 că în Franța, de exemplu, sistemul antifisuri clasic este realizat prin interpunerea unui strat de 2 cm mortar asfaltic (cu circa 10 % bitum) între stratul fisurat și îmbrăcămintea bituminoasă de 4...6 cm. Eficiența soluției este demonstrată de exemplu, pentru un sector experimental, prin faptul că după 4 ani au reapărut 38 % din fisuri pe sectorul fără stratul antifisuri și 7 % pe sectorul cu stratul din mortar asfaltic. În multe cazuri aplicarea sa conduce la formarea fâgașelor în îmbrăcămintea bituminoasă.

Evitarea apariției fâgașelor se poate face prin utilizarea unui bitum - polimeri la realizarea mortarului asfaltic, numai că în acest caz costul crește foarte mult (un strat de 2 cm mortar asfaltic cu bitum - polimeri costă cât 4 cm de mixtură asfaltică cu bitum pur). Din aceste motive de multe ori se renunță la stratul de mortar asfaltic și se realizează doar un covor asfaltic de 6...8 cm pentru combaterea fisurilor.

În SUA [201] mixtura asfaltică antifisuri se realizează cu bitum fluidizat (penetrația acestuia fiind de 200...300 l/10 mm). Grosimea stratului din mixtură antifisuri este de 2,5...3,5 cm, peste care se așterne un covor asfaltic de 4...6 cm, executat cu bitum 80/100.

S-a constatat că efectul unui astfel de complex este corespunzător, iar fisurile din contracție se transmit prin el mai ușor decât fisurile din oboseală.

#### 4.2.3.3. Tehnologii de interpunere bazate pe utilizarea geotextilelor

Tehnologiile încadrate în această categorie au o mare răspândire atât în Europa cât și în SUA și Japonia. Astfel, primele experimentări de interpunere a unui geotextil sub un covor asfaltic datează în Belgia din anul 1973, în Franța din 1977, iar în SUA și Japonia din 1970 [201].

Se remarcă faptul că Franța și-a axat cercetările pe găsirea unor tehnologii de acest fel care să prevină transmiterea fisurilor din contracție, în timp ce SUA a luat în considerare mai ales întreținerea structurilor foarte fisurate prin oboseală.

##### a) Geotextile sub covoare asfaltice

Experimentările efectuate în Franța au condus la următoarele concluzii în cazul interpunerii între structura rutieră existentă și straturile bituminoase de ranforsare a unui geotextil impregnat cu bitum (de exemplu: 0,7 kg/m<sup>3</sup> bitum pentru impregnare și 6 cm grosime a covorului asfaltic):

- prezența complexului geotextil - bitum încetinește la maximum transmiterea fisurilor spre suprafața de rulare;
- geotextilul impregnat cu bitum menține etanșarea chiar dacă primul obiectiv nu a fost atins și fisurile au apărut la suprafață. De regulă împiedicarea totală a transmiterii fisurilor nu este posibilă dar durata de reapariție a acestora la suprafață depinde în special de natura liantului utilizat, geotextilul jucând rolul unui rezervor puțin deformabil;
- geotextilul trebuie să fie cât mai subțire și mai puțin compresibil;
- liantul utilizat pentru impregnare va fi un bitum modificat cu

susceptibilitate termică redusă;

- eficiența economică a tehnologiei poate fi influențată favorabil prin întinderea mecanică a geotextilului, utilizarea unui geotextil ieftin și a unei cantități de bitum de impregnare redusă.

Ținând cont de aceste constatări favorabile aplicării tehnologiei, aceasta s-a dezvoltat și diversificat după cum se va vedea în continuare.

#### b) Geotextil cu rol dublu

Este vorba despre un produs original realizat în Franța, dintr-o plasă de fibre de sticlă prinsă între două folii de poliester legate la rîndul lor între ele [56].

Acest geotextil posedă simultan proprietăți antifisuri pentru structurile rutiere mixte și calități structurale, ca urmare a armării sale, pentru structuri rutiere suplă.

Foliile de poliester permit o bună impregnare cu liant hidrocarbonat (emulsie bituminoasă) evitînd în același timp lipirea de membrană a pneurilor autovehiculelor de șantier. Existența plasei favorizează întinderea produsului perfect pe suprafață, fără pliuri, calitate care se păstrează și după circulația vehiculelor de șantier.

După realizarea membranei bituminoase prin lipirea acesteia de suprafața suportului și impermeabilizarea cu circa 1,5...2,0 kg/m<sup>2</sup> emulsie bituminoasă, se trece la executarea unui covor asfaltic (de regulă a unui covor asfaltic subțire).

Experiența fiind încă recentă (1989) nu pot fi încă precizate efectele tehnice și economice ale tehnologiei.

#### c) Dispozitiv antifisuri cu geotextil de tip special

Geotextilul de tip special utilizat în cadrul acestei tehnologii de interpunere se numește Amopave și este realizat din fibre neșesute din polipropilenă tratate cu ultraviolete cu masa de 150 g/m<sup>2</sup>, rezistența la întindere 400 N și alungirea la rupere 55 % [56], [166].

Interpunerea unui dispozitiv antifisuri geotextil Amopave-bitum între stratul de agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici și straturile bituminoase superioare sau între structura mixtă fisurată și straturile de ranforsare, constituie o soluție antifisuri eficientă. El permite de asemenea etanșarea suprafeței la nivelul la care se dispune, etanșare care nu dispăre nici după transmiterea completă a fisurilor prin noua îmbrăcăminte.

Tehnologia constă în principiu din următoarele operații:

- pe suprafața curată a îmbrăcăminte existente se stropește liantul modificat (bitum amestecat cu copolimeri sintetici: stiren-butadien-stiren și etilena-vinil-acetat și cu ulei compatibil), în cantitate de 0,8...1,0 kg/m<sup>2</sup>, funcție de natura suprafeței. Liantul utilizat se caracterizează printr-o susceptibilitate termică redusă în raport cu bitumul pur:

- se întinde mecanic geotextilul Amopave;

- se realizează un covor asfaltic cu bitum modificat (bitum-polimeri), rezistent la formarea fagașelor și la oboseală, cu grosimea de 4 cm (granulozitatea agregatului natural total este 0...10 mm sau 0...14 mm).

Antrepriza care execută această tehnologie garantează trei ani lucrarea, fapt care atestă încrederea care se pune în complexul antifisuri geotextil special-bitum modificat.



#### 4.2.3.4. Armarea straturilor bituminoase cu geogriile

Armarea straturilor bituminoase cu geogriile conduce la îmbunătățirea rezistențelor la întindere, la încovoiere, la oboseală și o mai bună repartizare a eforturilor unitare provenite din trafic și din variații de temperatură în materialul respectiv, fapt care implică prelungirea duratei de exploatare a structurii rutiere.

În acest context, autorul, în colaborare cu D.R.D.P Timișoara a experimentat în vara anului 1993, pe DN 68 A, Lugoj-Ilia, km 75+100...75+250, stînga o tehnologie de împiedicare a transmiterii rosturilor tăiate ale îmbrăcăminteii din beton de ciment existente, prin noile straturi bituminoase puse în operă pentru întreținere.

În acest sens au fost utilizate geogriile TENSAR-AR, cu ochiuri dreptunghiulare, produse în Anglia și procurate prin intermediul firmei IRIDEX GROUP București.

Tehnologia de execuție a constat în:

- repararea tuturor defecțiunilor îmbrăcăminteii din beton de ciment prin tehnologii adecvate, inclusiv curățarea și colmatarea cu mastic bituminos a rosturilor, după care a fost lăsată sub circulație 2...3 săptămîni;

- curățarea temeinică a suprafeței de rulare prin utilizarea măturilor mecanice;

- întinderea geogriilor TENSAR-AR astfel:

- . s-au derulat rolele cu geogriile astfel încît întreaga suprafață să fie acoperită (lățimea unei role 3,80 m și lungimea 50,00 m);

- . îmbinările necesare s-au realizat pe 10 cm (lățimea a doua ochiuri) cu ajutorul unor inele speciale puse la dispoziție de către furnizor. Fixarea inelelor s-a făcut în jurul nervurilor longitudinale și nu în jurul nervurilor transversale pentru a se evita încrețirea în momentul tensionării. Fiecare nervură longitudinală s-a fixat cu cîte un inel dublu, rezultînd în aceeași secțiune patru inele (pentru cele două rînduri de nervuri);

- . unul din capetele geogriilei s-a fixat de îmbrăcăminteii existentă cu clemele de fixare special adaptate, cu ajutorul unui pistol pneumatic cu cuie;

- . s-a întins și tensionat geogrila cu ajutorul unei grinzi metalice atașată compactorului cu rulouri netede de pe șantier, după care s-a procedat la fixarea capătului liber cu clemele de fixare. Aspecte din timpul întinderii geogriilelor sînt prezentate în fig.4.7;

- cu ajutorul autostropitorului de bitum s-a stropit întreaga suprafață cu emulsie bituminoasă cu rupere rapidă (EBCR 60) pentru amorsare și fixarea geogriilei, în cantitate de 0,8...1,0 L/m<sup>2</sup>;

- după ruperea emulsiei s-a așternut cu răspînditorul mecanic (mers înapoi) criblura 8-16, în cantitate de 12...14 kg/m<sup>2</sup>, și s-a procedat la 2...3 treceri cu compactorul cu rulouri netede pentru fixarea agregatului natural;

- s-a îndepărtat criblura alergătoare prin maturare și s-a început executarea stratului de legătură bituminos din B.A.B.25, cu o grosime de 5.0 cm (fig.4.8).

- stratul rutier s-a compactat iar a doua zi s-a procedat la executarea stratului de uzură din B.A. 16 de 4 cm grosime și s-a dat în exploatare sectorul experimental.

Atît în timpul execuției lucrărilor, cît și în etapa imediat

următoare nu s-au observat deficiențe de remarcă pentru tehnologia propusă și nici defecțiuni ale noii îmbrăcăminti realizate.

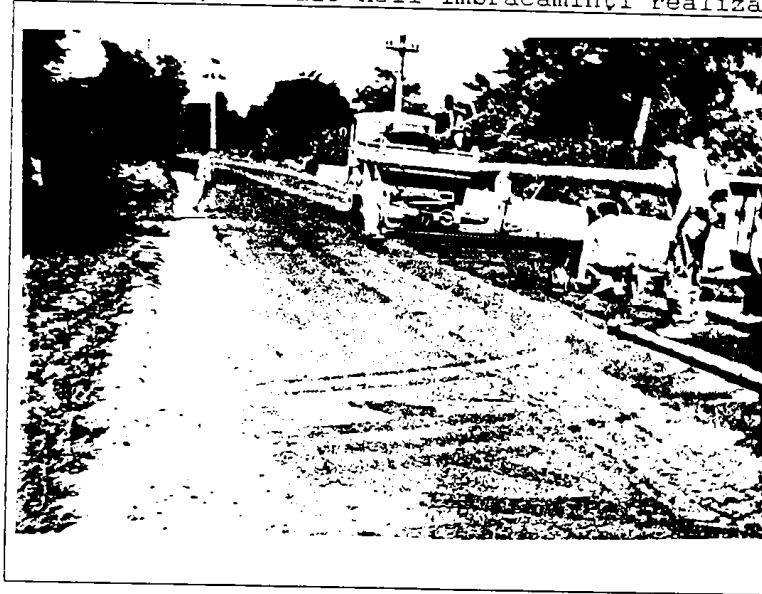


Fig.4.7. Poziționarea geogrilelor.



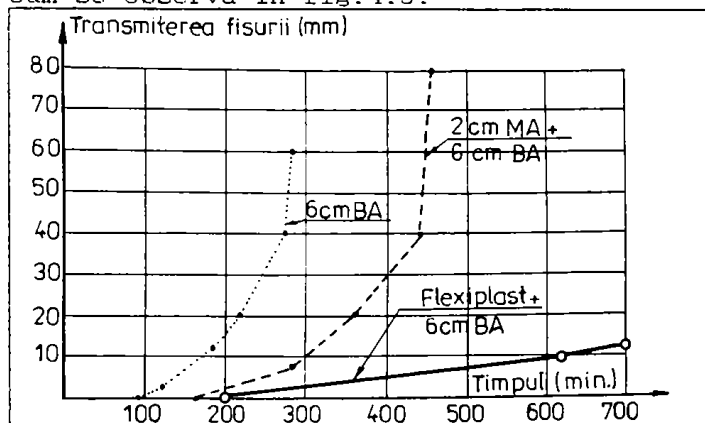
Figure 7

Fig.4.8. Execuția stratului de legătură.

Autorul urmează să mențină sub observație sectorul experimental și să analizeze eficiența geogrilelor vizavi de durata de transmitere a fisurilor prin îmbrăcămintea bituminoasă armată în raport cu sectorul martor (nearmat).

## 4.2.3.5. Tehnologia Flexiplast

Tehnologia Flexiplast a fost concepută în Franța [177], [176], [181] și se speră să devină cea mai eficientă soluție pentru prevenirea transmiterii fisurilor prin straturile bituminoase ale structurilor rutiere mixte. De altfel, încercările de laborator efectuate cu aparatul de încovoiere-întindere (vezi pct.4.2.2) atestă o superioritate evidentă a acesteia față de soluțiile clasice, (2 cm mortar asfaltic + 6 cm beton asfaltic, sau 6 cm beton asfaltic), după cum se observă în fig.4.9.



În principiu, tehnologia Flexiplast se bazează pe interpunerea unei membrane bituminoase din bitum modificat cu elastomeri între suprafața fisurată și un covor asfaltic executat la rece. Procedul urmărește să evite principalele deficiențe constatate în cazul celorlalte dispozitive antifisuri utilizate pînă în prezent, și anume:

Fig.4.9. Rezultatele încercărilor de laborator cu aparatul de încovoiere-întindere pentru Flexiplast.

- în cazul interpunerii unui strat din mortar asfaltic între suprafața fisurată și îmbrăcămintea bituminoasă, elasticitatea dispozitivului este conferită doar de liantul înglobat, în timp ce agregatele naturale sînt defavorabile acestei caracteristici. Pe de altă parte creșterea prea mult a dozajului de bitum este defavorabilă sub aspectul apariției fâgașelor;

- în cazul membranelor bituminoase de interpunere realizate din bitum modificat sau bitum pur se obține la punerea în operă o grosime de 1,0...1,5 mm (1,0...1,5 kg/m<sup>2</sup>). În realitate această grosime a membranei nu se mai păstrează și după realizarea stratului superior și prin urmare și efectul său vizavi de împiedicarea transmiterii fisurilor este mult diminuat. Micșorarea grosimii membranei elastice se datorește pe de o parte agregatelor naturale așternute peste pelicula de liant în scopul evitării lipirii pneurilor vehiculelor de șantier în timpul lucrărilor de aceasta, iar pe de altă parte migrării bitumului spre suprafață în timpul așternerii noului strat din mixtura asfaltică la cald.

În acest context, pentru ca membrana antifisuri să fie cu adevărat eficientă se impune îndeplinirea a trei condiții:

- alegerea unei membrane realizată din bitum-elastomeri, cu o bună elasticitate la temperaturi reduse și cea mai accesibilă din punct de vedere al costului;

- punerea în operă a membranei într-o grosime suficientă (1...3 mm);

- evitarea reducerii grosimii prin așternerea stratului bituminos superior.

Flexiplastul asigură realizarea celor trei condiții prin faptul că:

- liantul utilizat este un bitum modificat cu elastomeri (de tipul stiren-butadien-stiren) cu o excelentă elasticitate;
- grosimea membranei este asigurată la 1,5...3,0 mm (1,5...3,0 kg/m<sup>2</sup>) funcție de: natura suportului, starea de fisurare, condițiile climatice și rugozitatea suportului;

- realizarea stratului bituminos superior se face cu scopul urmărit de a menține grosimea membranei, astfel:

- . membrana nu va fi acoperită cu agregate naturale deoarece circulația se va realiza direct pe aceasta, grație unui mic artificiu: udarea pneurilor vehiculelor pentru evitarea lipirii (operația nu dăunează calității stratului din mixtură asfaltică deoarece acesta se execută la rece);

- . executarea efectivă a stratului superior nu va conduce la migrarea bitumului din membrană deoarece el se realizează dintr-o mixtură asfaltică la rece, care se împotrivește acestei infiltrări. În același timp acest strat va constitui ulterior un ecran termic între membrană și stratul de uzură care se execută la cald, împotrivindu-se în continuare migrării bitumului.

Mixtura asfaltică executată la rece este de fapt un mortar asfaltic cu granulozitatea agregatului natural 0...4 mm sau 0...6 mm, care se așterne în grosimi medii de 6...8 mm, (circa 13 kg/m<sup>2</sup>).

Armarea sa se efectuează cu fibre sintetice în proporție de 0,1...0,2 %, de 4...8 mm lungime, omogenizate perfect în masa mixturii asfaltice. Liantul utilizat este o emulsie bituminoasă cationică cu rupere lentă și bitum modificat cu elastomeri (etilenă, acetat de vinil) care permite obținerea unui dozaj de bitum în mixtura asfaltică de 8...10 %.

Mortarul asfaltic (numit Gripfibre) este acoperit la cald cu un strat bituminos din beton asfaltic cu o grosime de 6 cm, prin procedeul clasic. Funcție de grosimea straturilor bituminoase necesare pentru întreținere și având în vedere că unele din funcțiile acestora sînt preluate de Flexiplast (etanșare și mărirea timpului de transmitere a fisurilor) se poate proceda la reducerea grosimii inițiale. De regulă se utilizează grosimi ale covorului asfaltic de 3...6 cm (funcție de trafic).

#### 4.2.3.6. Tehnologia Filaflex

Conceput de firma SCREG Routes (Franța) în anul 1989, Filaflexul constă în realizarea in situ a unei membrane antifisuri armate formată dintr-o peliculă de liant modificat cu elastomeri pe care sînt pulverizate, imediat după stropire, fibre sintetice continue netesute, care formează armătura. Această membrană este intercalată între structura rutieră fisurată și stratul de uzură bituminos de întreținere [56], [78], [168]. Tehnologia se pretează pentru împiedicarea transmiterii fisurilor prin noul strat bituminos în următoarele cazuri:

- tratarea fisurilor din oboseală care pot apărea în straturile bituminoase ale structurilor rutiere suple. Acestea apar la baza straturilor bituminoase supuse sub trafic la eforturi unitare de întindere și se propagă apoi puțin cîte puțin spre suprafața unde apar sub forma unei rețele neregulate (faiantări). Ele semnalează o degradare avansată a structurii rutiere provocată de subdimensionare sau de sfîrșitul duratei de exploatare a acesteia:

- Tratarea fisurilor din contractie care apar la structurile rutiere mixte sub forma unor discontinuități transversale regulate (de regulă la intervale de 5...8 m);

- întreținerea îmbrăcămintilor din beton de ciment prin acoperirea cu straturi bituminoase.

Filaflexul se execută in situ cu un utilaj complex (fig.4.10) care asigură printr-o singură trecere atât stropirea liantului cât și întinderea fibrelor sintetice, după următoarea tehnologie:

- se stropește liantul modificat, sub formă de emulsie bituminoasă, în cantitate de 1,4...1,7 kg/m<sup>2</sup>, în mod uniform pe toată suprafața de tratat cu ajutorul rampei de stropire situată în spatele utilajului (lățimea rampei telescopice este de 1,25...3,70 m, funcție de lățimea benzii care urmează să fie tratată). Autonomia de liant a utilajului este de 5 500 m<sup>3</sup>, iar viteza de înaintare de 1,5...3,0 km/h;

- imediat după stropirea liantului, prin duzele speciale ale utilajului se injectează fibrele sintetice în mod continuu și uniform (distanța dintre rampa de stropire a liantului și rampa de injectare a fibrelor este de circa 1 m). Fibrele sînt livrate în suluri care se încarcă și se fixează pe utilaj cu ajutorul macaralei proprii.

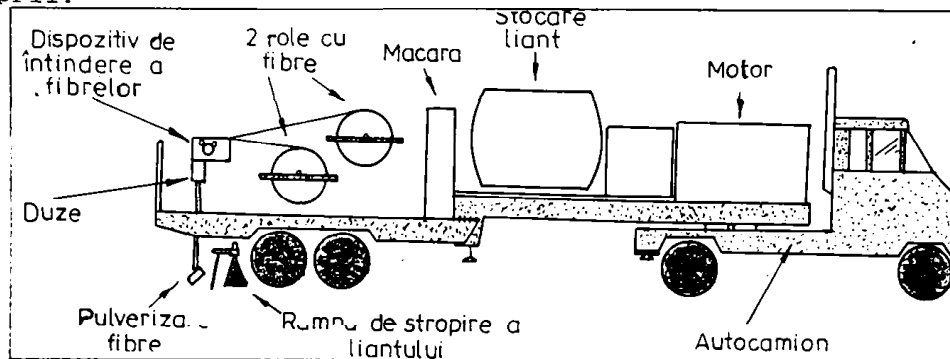


Fig.4.10. Utilaj pentru executarea Filaflexului.

În lucru utilajul are două astfel de suluri care conțin fiecare 900 fibre cu o masă totală de 700 kg. Viteza de rotație a sulurilor poate fi reglată în mod automat, funcție de viteza de înaintare a utilajului și de dozajul de fibre dorit de pus în operă. Fibrele sînt preluate de dispozitivul de întindere și injectate apoi pe suprafața părții carosabile cu ajutorul a două baterii cu aer comprimat, care au la rîndul lor 9 duze fiecare (la lățimea maximă de așternere). Dozajul de fibre este 80...120 g/m<sup>2</sup>, în timp ce autonomia utilajului vizavi de fibre este de 2 800 kg (două suluri în lucru și două stocate pe utilaj);

- se împrăștie cu ajutorul unui răspînditor mecanic agregate naturale sort 6-10, în cantitate de 5...6 l/m<sup>2</sup>, pentru a se permite circulația de șantier pe membrana executată;

- se realizează îmbrăcămintea bituminoasă la cald din beton asfaltic cu o grosime de 6...8 cm.

Pentru întreținerea unor structuri rutiere rigide, Filaflexul s-a aplicat sub îmbrăcămînti din mixturi asfaltice drenante de 4 cm grosime, realizate după următorul dozaj [168]:

- agregate naturale sort 6...10 : 87 % ;
- agregate naturale sort 0-2 : 12 % ;
- fibre sintetice : 1 % ;

- bitum 50/70 raportat la masa agregatului natural : 5,2 %.

Punerea în operă a mixturii asfaltice s-a realizat cu trei răspînditoare finisoare pe 14,50 m lățime, care au lucrat în paralel, iar compactarea s-a efectuat cu patru compactoare tandem.

Se consideră că Filaflexul va deveni o tehnologie antifisuri economică, de mare productivitate, aplicabilă pentru prevenirea transmiterii în straturile bituminoase superioare a tuturor tipurilor de fisuri.

#### 4.2.4. Tehnologii de interpunere locală pentru stoparea transmiterii fisurilor din contracție prin straturile bituminoase

Tehnologiile de interpunere locală își propun repararea fisurilor sau crăpăturilor apărute în îmbrăcămintea bituminoasă și tratarea locală a acestora, urmată sau nu de executarea unui nou covor asfaltic.

##### 4.2.4.1. Benzi prefabricate pentru interpunere locală

Este vorba de benzi prefabricate din bitum-polimeri cu lățimi variabile (10...50 cm) și cu grosimea de 0,65...3,00 mm care se lipesc pe fisura în prealabil reparată [200], [201].

Benzile groase, cu grosimi de circa 2 mm, sînt realizate din bitum-elastomeri cu lățimi de 10...30 cm. Liantul din bandă este protejat pe cele două fețe cu hîrtie, material care se îndepărtează înainte de punerea în operă. Dacă fisura este neregulată se taie elemente mai scurte de bandă și se lipesc astfel încît să acopere întreaga zonă fisurată.

În exploatare aceste benzi conduc la destule neajunsuri datorită dezlipirii lor sub trafic, iar din punct de vedere economic, costul lor (la 15 cm lățime) este egal cu cel al unui strat de 1 cm grosime din mixtura asfaltică.

Benzile subțiri se realizează cu o lățime de 20 cm și cu o grosime de 0,65 mm din bitum-elastomeri. În exploatare utilizarea unor astfel de materiale nu duce la rezultate îmbucurătoare, chiar dacă aplicarea lor este mai ușoară decît a benzilor groase.

În aceste condiții se poate reține că tehnologia lipirii benzilor din bitum-elastomeri este neeconomică cu rezultate tehnice mediocre.

##### 4.2.4.2. Interpunerea locală de geotextile

Experimentările efectuate în Franța și SUA [201] au condus la următoarele concluzii referitor la interpunerea locală a unor geotextile nețesute între zonele fisurate și stratul bituminos nou cu o grosime de 4...8 cm :

- pe zonele cu geotextil nețesut și beton asfaltic de 4 cm grosime fisurile au reapărut destul de rapid dar în loc de una, cîte trei: una în dreptul fisurii vechi și altele două la extremitățile geotextilului. Rezultă, deci, o ineficiență clară a acestei tehnologii;

- pe zonele cu geotextil nețesut și beton asfaltic de 8 cm grosime propagarea fisurilor de la marginile geotextilului se face mai greu dar fisurile din stratul rutier existent apar la suprafață aproape în același timp cu cele de pe sectorul martor fără geotextil.

În aceste condiții, avînd în vedere efectul tehnic al

tehnologiei și sporirea prețului de cost al lucrărilor (datorită geotextilului și manoperei ridicate) se ajunge la concluzia abandonării unor astfel de soluții.

În anul 1992, autorul a participat la experimentarea unei astfel de soluții pe DN 68A, Lugoj-Ilia, km 75+500...76+000, pentru evitarea transmiterii rosturilor unei îmbrăcăminti din beton din ciment prin straturile bituminoase de ranforsare. Tehnologia propusă și experimentată de autor este următoarea:

- rosturile îmbrăcăminte din beton de ciment au fost temeinic curățate și colmatate în mod corespunzător cu mastic bituminos;
- în zona rosturilor pe o lățime de 0,40...0,50 m s-a făcut amorsarea suprafeței cu emulsie bituminoasă cationică cu rupere rapidă în cantitate de 0,3...0,5 L/m<sup>2</sup>;
- după ruperea emulsiei s-a lipit geotextilul (Netesin 300) pe suprafețele astfel tratate;
- s-a procedat la amorsarea întregii suprafețe a părții carosabile cu 0,6...0,8 L/m<sup>2</sup> emulsie bituminoasă cationică cu rupere rapidă și la execuția îmbrăcăminte bituminoase formată dintr-un strat de legătură de 5 cm grosime din B.A.D. 25 și un strat de uzură din B.A. 16 de 4 cm grosime.

După un an de la execuție pe sectorul experimental nu se sesizează nici o fisură, ca și pe sectorul martor (aceleași straturi bituminoase dar fără geotextile). Urmează ca autorul să tragă concluzii vizînd eficiența soluției de interpunere locală a geotextilelor pentru evitarea transmiterii fisurilor prin straturile bituminoase.

#### 4.2.4.3. Interpunerea locală de geogriile

Tehnologia interpunerii locale a unor geogriile între zonele fisurate și un strat de beton asfaltic de 8 cm grosime a arătat că fisurile apar pe sectorul experimental cu o întârziere de circa 2 ani față de sectorul martor, dar după 11 ani fisurarea celor două tronsoane este comparabilă [86].

Avînd în vedere experimentările efectuate de autor pe DN 68 A, Lugoj-Ilia (vezi pct. 4.2.3.4) s-a prevăzut executarea unui sector cu interpunere locală de geogriile (km 75+250...75+500, stînga).

Tehnologia de execuție este identică cu cea prezentată la pct. 4.2.3.4 cu singura deosebire că geogriile au o lățime de 0,50 m și sînt fixate deasupra rosturilor îmbrăcăminte din beton de ciment cu ajutorul clemelor speciale de prindere (fig.4.11). Amorsarea întregii suprafețe, inclusiv cea cu geogriile, s-a efectuat manual cu circa 0,8 L/m<sup>2</sup>, după care s-a trecut direct la punerea în operă a îmbrăcăminte bituminoase (5 cm B.A.D. 25 + 4 cm B.A. 16).

Autorul urmează să studieze avantajele acestei tehnologii, în raport cu sectorul martor fără geogriile și cu sectorul cu interpunere totală de geogriile între îmbrăcăminte din beton de ciment și îmbrăcăminte bituminoasă.

Prin analizarea tehnologiilor aplicate pe plan național și mondial pentru împiedicarea transmiterii fisurilor prin straturile bituminoase ale structurilor rutiere mixte se constată că, indiferent de soluția aleasă, fisurile apar după un anumit interval de timp la nivelul suprafeței de rulare. Pornind de la această constatare a apărut ideea creării unor noi lianți și tehnologii pentru executarea straturilor din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici care să împiedice formarea fisurilor din contracție.

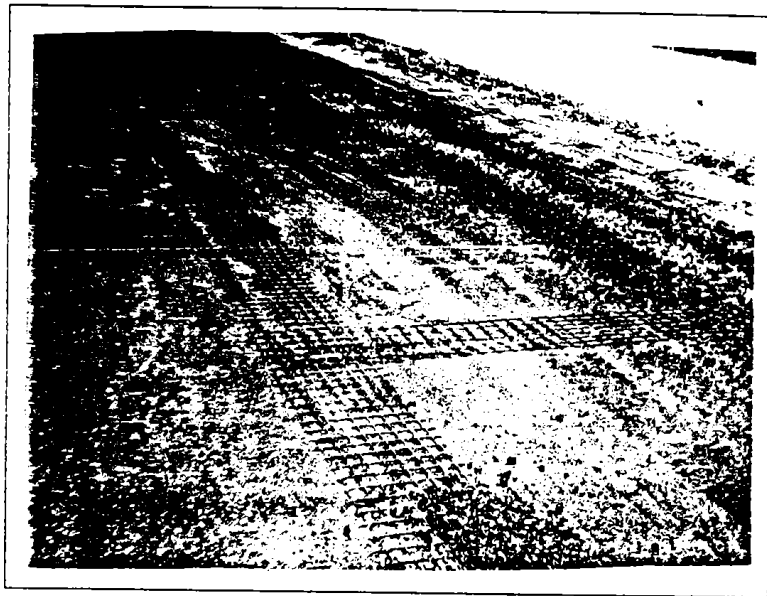


Fig.4.11. Poziționarea geogrilelor.

#### 4.3. Tehnologii pentru împiedicarea formării fisurilor din contracție în straturile din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici

Încercările efectuate în scopul reducerii fisurării straturilor din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici prin acționarea asupra dozajului sau naturii liantului s-au dovedit pînă în prezent necorespunzătoare, mai ales în ceea ce privește împiedicarea fisurării din contracție termică. În acest context, începînd cu anul 1970, în Franța, au început diferite experimentări vizînd crearea unui liant mixt: hidraulic-bitum, care să preia calitățile ambelor tipuri de lianți, astfel încît stratul rutier obținut să aibă și o rigiditate ridicată dar și o deformabilitate suficientă pentru a împiedica fisurarea din contracție [201], [105], [180], [88], [101].

##### 4.3.1. Dublă tratare a agregatelor naturale cu bitum și cu ciment

Primele încercări efectuate pentru îmbunătățirea fenomenului de fisurare al straturilor din agregate naturale tratate cu ciment au fost efectuate în Franța, în perioada 1970...1978, cînd s-a încercat introducerea în tehnica rutieră a unor tehnologii care să permită o dublă tratare a agregatelor naturale [201].

În acest fel se mizează pe una din următoarele consecințe:

- reducerea puternică a modulului de elasticitate al materialului din stratul rutier fără a micșora foarte mult rezistențele mecanice ale acestuia;
- creșterea sensibilă a rezistențelor mecanice fără modificarea modulilor de elasticitate.

Pentru a doua soluție au fost studiate amestecuri de ciment cu rășini epoxidice, care pe lîngă faptul că măresc mult prețul de cost nu conduc la îmbunătățirea sesizabilă a fenomenului de fisurare. Din acest motiv nu se va insista asupra tehnologiei în continuare.



În schimb, pentru reducerea modurilor de elasticitate ai materialelor tratate cu ciment se poate miza pe folosirea unor lianți micști: hidraulici-hidrocarbonați. Pentru început s-au admis următoarele două procedee :

- anrobarea, înainte de malaxare, a fracțiunii 6-20 a agregatului natural cu o emulsie bituminoasă cu rupere lentă;
- adăugarea în timpul omogenizării agregatelor naturale cu cimentul a unei emulsii bituminoase cu rupere lentă.

#### 4.3.1.1. Tehnologia de anrobare a agregatelor naturale

Tehnologia nu necesită o cantitate mare de bitum și nu reduce semnificativ rezistențele la întindere ale agregatelor naturale tratate cu ciment, dar conduce la mărirea deformabilității materialului respectiv (tabelul 4.2).

Rezultatele obținute sînt optimiste. Astfel, anrobarea agregatelor naturale sort 6-20 cu 2,5 % bitum, dintr-o emulsie bituminoasă cu rupere lentă cu 60 % liant modificat, conduce la o reducere mică a rezistențelor la întindere, în timp ce deformabilitatea materialului se îmbunătățește. În aceste condiții se poate estima o creștere cu 20 % a variațiilor de temperatură care produc ruperea prin contracție termică, în raport cu aceleași agregate naturale tratate numai cu ciment.

Din păcate, sectoarele experimentale executate au arătat că prin această creștere a deformabilității nu se poate obține împiedicarea fisurării. În plus anrobarea agregatelor naturale cu bitum conduce la complicarea procesului tehnologic și la mărirea prețului de cost.

#### 4.3.1.2. Tehnologia de omogenizare simultană a agregatelor naturale cu emulsie bituminoasă și ciment (liant puzzolanic)

Încercările de laborator și experimentările efectuate [201] vizavi de această tehnologie au condus la următoarele concluzii (tabelul 4.3):

- dispersia unei cantități reduse de emulsie bituminoasă (max. 3...4 %) într-un amestec de agregat natural-liant hidraulic (puzzolanic) este posibilă;
- adăugarea unei cantități de emulsie bituminoasă de min. 2 % cu 60 % bitum, conduce la scăderea rezistențelor mecanice, oricare ar fi natura și pH-ul emulsiei bituminoase; materialului
- pentru un conținut de bitum în material de 1,5 % scăderea rezistențelor mecanice poate atinge 30 %;
- introducerea a mai puțin de 1,5 % bitum în amestec conferă materialului un caracter ușor viscoelastic, iar diferența de temperatură care produce fisurarea este mai mare cu circa 20 %.

Mai multe sectoare experimentale au fost realizate cu agregate naturale stabilizate cu 4 % ciment și 3 % emulsie bituminoasă cu un conținut de 50 % bitum.

Tabelul 4.2.

AMESTEC	CARACTERISTICI	MARTOR	BITUM DIN EMULSIE TIP:				
			A, 1,5 %	B, 2,5 %	C*, 2,5 %	C**, 2,5 %	D, 2,5 %
1	Coefficient de dilatație, în $10^{-6}$ °C-1	10,6	11,3	11,4	10,5	11,8	11,6
	Rezistența la întindere, în N/mm <sup>2</sup>	0,61	0,34	0,45	0,32	0,58	0,5
	Modul de elasticitate, în N/mm <sup>2</sup>	6 700	3 000	3 350	2 700	3 000	5 400
	Diferența de temperatură la rupere, în °C	8,5	10	11	11,2	16	11
2	Coefficient de dilatație, în $10^{-6}$ °C-1	9	7,9	7,8	8,1	9,3	8,8
	Rezistența la întindere, în N/mm <sup>2</sup>	0,315	0,315	0,310	0,27	-	0,38
	Modulul de elasticitate, în N/mm <sup>2</sup>	3 700	3 000	2 300	2 450	-	500
	Diferența de temperatură la rupere, în °C	10,7	13	17	16	-	13
3	Coefficient de dilatație, în $10^{-6}$ °C-1	0,5	11	10,7	11,4	11	11,1
	Rezistența la întindere, în N/mm <sup>2</sup>	0,33	0,3	0,33	0,34	0,3	0,28
	Modulul de elasticitate, în N/mm <sup>2</sup>	3 575	1 950	2 250	1 800	3 300	2 550
	Diferența de temperatură la rupere, în °C	9	14	14,6	16,5	8,5	10

\* Anrobare cu agregate naturale

\* \* Anrobare cu agregate naturale umede

Fabricarea acestor materiale nu pune probleme particulare, iar investigațiile efectuate atestă o reducere a rezistențelor mecanice cu circa 30 % și creșterea ecartului de temperatură pînă la rupere cu circa 40 %. Rezultă o îmbunătățire sensibilă a comportării straturilor rutiere în raport cu prima soluție, dar nu suficientă pentru a împiedica fisurarea din contracție.

Tabelul 4.3.

Nr. crt.	Dozajul	R <sub>t</sub> la 60 zile, în N/mm <sup>2</sup>	R <sub>t</sub> la 360 zile, în N/mm <sup>2</sup>
1.	Balast tratat cu zgură (martor)	0,39	0,55
2.	Balast tratat cu zgură + 2,5 % emulsie bituminoasă	0,25	0,38
Nr. crt.	Dozajul	R <sub>t</sub> la 28 zile, în N/mm <sup>2</sup>	R <sub>t</sub> la 90 zile, în N/mm <sup>2</sup>
1.	Balast tratat cu ciment (martor)	0,65	0,87
2.	Balast tratat cu ciment + 2,5 % emulsie bituminoasă	0,36	0,65

Avînd în vedere rezultatele obținute cercetările au continuat în scopul perfecționării tehnologiilor și creării unui liant compozit care să permită evitarea fisurării din contracție.

#### 4.3.2. Tehnologia Flexocim privind dubla tratare la rece a agregatelor naturale cu ciment și emulsie bituminoasă

Tehnologia Flexocim, care constituie obiectul unui brevet de invenție (Franța, 1991) [160] a fost creată cu scopul grupării într-o singură soluție tehnică a avantajelor pe care le au separat tratarea agregatelor naturale cu ciment și cu emulsie bituminoasă. Se mizează în principal pe următoarele particularități:

- performanțele deosebite ale agregatelor naturale tratate cu bitum la temperaturi curente (de circa 20 °C) se păstrează, îmbunătățindu-se substanțial comportarea acestor materiale la temperaturi înalte (se elimină total pericolul formării făgașelor);

- absența fisurilor din contracție termică sau hidraulică grație efectului lubrifiant al bitumului la nivelul rețelei cristaline creată de ciment;

- performanțe mecanice reglabile prin raportul ciment/emulsie bituminoasă și în consecință posibilitatea adaptării dimensionării la eforturile unitare și deformațiile admise la baza straturilor din agregate naturale tratate.

În principal, pentru obținerea acestor avantaje a fost nevoie de următoarele îmbunătățiri ale tehnologiilor prezentate anterior:

- crearea unei emulsii bituminoase speciale (numită SOL 7) care să permită anrobarea perfectă a agregatelor naturale după tratarea acestora cu ciment și să asigure o stabilitate deosebită, urmînd ca ruperea să se producă după compactarea materialului compozit. Bitumul utilizat pentru prepararea emulsiei bituminoase este modificat cu polimeri și are o penetrație de 40/50...180/220, funcție de nivelul traficului pe sectorul de drum unde urmează să se execute tehnologia. Emulsia bituminoasă SOL 7 este stocabilă timp de mai multe săptămîni în rezervoare clasice, fără a prezenta

particularități deosebite la fabricare, transport și dozare:

- fabricarea materialului compozit se poate efectua, fără modificări dificile, în următoarele moduri:
  - . în instalații fixe automatizate de preparare a materialelor tratate cu ciment care vor fi echipate cu sisteme de pulverizare și dozare a emulsiei bituminoase;
  - printr-o tratare cu ciment a agregatelor naturale în instalații fixe și o a doua tratare cu emulsie bituminoasă in situ, cu un utilaj specific;
  - prin dubla tratare in situ și reutilizarea unora din materialele din vechea structură rutieră;
  - in situ prin utilizarea unor utilaje complexe de tipul ARC 700 (vezi pct. 1.3.4.3).

Incercările de laborator efectuate au condus la obținerea dozajului optim, care este de forma:

- agregate naturale, sort 0-20	: 94,4 % ;
- emulsie bituminoasă SOL 7	: 3,3 % ;
- ciment	: 2,3 % ;
- apă de adaos	: 4,5 % .

Cu acest dozaj s-au efectuat în perioada 1991...1992 sectoare experimentale pentru care s-au preparat peste 30 000 t Flexocim. Se preconizează că tehnologia va permite obținerea unor structuri rutiere mixte în cadrul cărora fisurile din contracție să nu apară la nivelul stratului din agregate naturale tratate cu ciment.

#### 4.3.3. Lianți compozi (bitum-ciment) pentru crearea unor materiale care să nu fisureze datorită contracției

În continuarea cercetărilor vizînd obținerea unor materiale care să nu fisureze datorită contracției și care să anuleze dezavantajele mixturilor asfaltice (rigiditatea scăzută la temperaturi ridicate) și ale agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici (contracții hidraulice și termice însemnate) s-a optat pentru crearea unui liant compozit bitum-ciment, care să poată fi amestecat cu ceilalți componenți la nivelul unui malaxor. Problema a fost rezolvată de firma franceză COLAS, care a perfecționat și experimentat tehnologii pe bază de liant compozit bitum-ciment, pe care l-au numit prescurtat STABICOL [106], [105], [99]. Începînd cu anul 1991 se consideră că liantul STABICOL a atins stadiul operațional.

Bitumul și cimentul sînt dispersați într-o fază apoasă a cărei stabilitate este asigurată prin substanțe tensioactive și polimeri organici. În acest context se impune realizarea stabilității chimice și mecanice a amestecului astfel:

- stabilitatea chimică este periclitată prin faptul că cimentul introdus în proporții însemnate în emulsia bituminoasă conduce la ruperea acesteia. STABICOL-ul permite evitarea fenomenului și coexistența bitumului fin dispersat și a cimentului în același fluid. De asemenea, în liantul STABICOL echilibrul chimic permite amînarea prizei cimentului, cu păstrarea unei lucrabilități ridicate a liantului, pînă la momentul punerii în operă a materialului, urmînd să se păstreze dinamica prizei după compactare;

- stabilitatea mecanică este influențată de densitățile diferite ale constituienților. Apa și biturul au densități apropiate

dar densitatea cimentului este de circa trei ori mai mare. Deci cimentul dispersat în faza apoasă are tendința să sedimenteze foarte repede (în câteva minute). Tehnologia de fabricare a liantului STABICOL permite evitarea acestui fenomen păstrind și lucrabilitatea produsului.

În consecință STABICOL-ul rămâne omogen pînă la utilizare și poate fi manipulat cu ușurință prin pompe și conducte.

#### 4.3.3.1. Compoziția STABICOL-ului

STABICOL-ul este compus din apă, bitum și ciment. Suspensia obținută are o vîscozitate redusă la temperatura ambiantă și poate fi utilizată pentru temperaturi pozitive, de maximum 60 °C (de regulă 5...40 °C).

În general, denumirea liantului este de forma STABICOL N, unde N reprezintă raportul dintre masa bitumului și masa cimentului din liant, în procente (numit și clasa liantului). Se întîlnesc trei clase de STABICOL, după cum se arată în tabelul 4.4.

Tabelul 4.4.

COMPONENTI	CLASA LIANTULUI		
	50	90	120
Bitum. în %	21.7	33.4	40.0
Ciment. în %	43.5	37.0	33.3
Apă. în %	34.8	29.8	26.7

În aceste condiții liantul dezvoltă următoarele performanțe:

- vîscozitate comparabilă cu cea a emulsiei bituminoase, ceea ce permite o bună repartizare a liantului în amestecul de agregate naturale, o bună pompare și o dozare ușoară;
- o densitate de 1 300...1 400 kg/m<sup>3</sup>, funcție de clasa liantului;
- poate fi stocat circa 8 ore cu amestecare, după care priza începe și produsul se întărește;
- o comportare incomparabil mai bună față de ciment în ceea ce privește fisurarea prin contracție.

#### 4.3.3.2. Fabricarea liantului

Fabricarea STABICOL-ului trebuie să țină cont de particularitățile liantului și să se efectueze pe aceeași platformă cu instalațiile de tratare a agregatelor naturale. Utilajul proiectat de firma COLAS (Franța) pentru producerea liantului compozit permite realizarea amestecului în condiții satisfăcătoare.

În principiu, instalația (fig.4.12) permite introducerea succesivă a emulsiei bituminoase a apei și apoi a cimentului într-un hidrolizor. La ieșirea din hidrolizor amestecul este perfect omogenizat într-o cuvă tampon prevăzută cu dispozitiv de agitare.

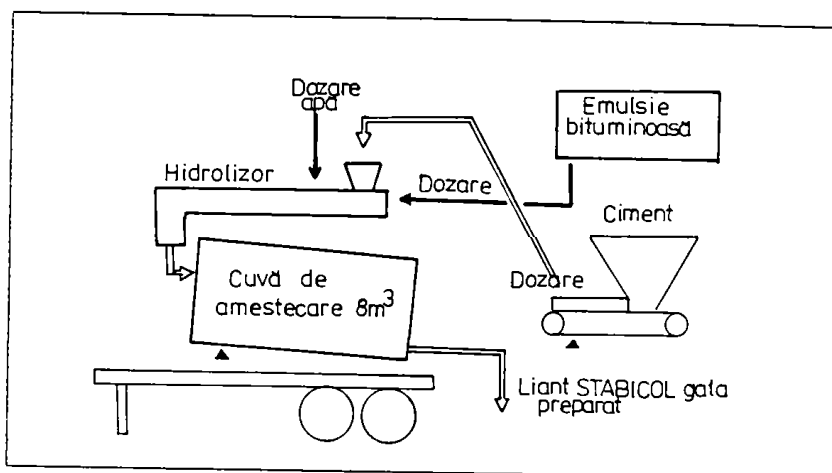


Fig.4.12. Schema fabricării STABICOL-ului.

În afara instalației propriu-zise pentru fabricarea liantului mai sînt necesare:

- un siloz de stocare a cimentului prevăzut cu dispozitive de dozare și pulverizare a acestuia;
- o cisternă pentru stocarea emulsiei bituminoase.

Dozarea apei și a emulsiei bituminoase se face volumetric cu ajutorul unor pompe a căror debite sînt controlate continuu.

#### 4.3.3.3. Experimentări

STABICOL-ul poate fi utilizat pentru tratarea balasturilor reconstituite, a nisipurilor corectate sau pentru tratarea la fața locului, la rece, a materialelor rezultate din scarificare - reprofilare pe o grosime de 10...20 cm a pietruirilor existente sau straturilor bituminoase cu durata de exploatare depășită.

Dozajul optim de liant pentru balasturi este de ordinul a 6 % , ceea ce reprezintă 3,9 % liant rezidual dacă se utilizează un STABICOL 50. Granulozitatea agregatului natural trebuie să fie supusă aceluiași exigențe ca și în cazul tratării acestora cu lianți hidraulici. Se utilizează balast 0...14 mm sau 0...20 mm.

Dozajele utilizate pentru balasturile tratate cu STABICOL sînt prezentate în tabelul 4.5 [88], [105].

Tabelul 4.5.

Material concasat și nisip sorturile:			
Sort	%	Sort	%
10-20	39	6-14	45
4-10	17	2-6	20
0-4	44	0-3	35
STABICOL 50	6	STABICOL 90	6
		Apă suplimentară	3,3

Grosimea straturilor astfel executate este de 12...25 cm executate sub covoare asfaltice cu o grosime de 4 cm. Punerea în operă a amestecului s-a efectuat cu ajutorul autogrederului sau

răspînditorului-finisor, iar compactarea s-a executat cu compactoare vibratoare și cu pneuri.

De asemenea, s-au efectuat experimentări pe pista de la Nantes [105] pe structuri rutiere comportînd straturi din balast tratat cu STABICOL. O structură rutieră compusă din :

- 4 cm beton asfaltic;
- 23 cm balast tratat cu STABICOL 50;
- 18 cm balast stabilizat mecanic

a rezistat la 2,15 milioane cicluri de încărcare ale unei jumătăți a osiei de 130 kN, fără a se constata defecțiuni importante (inițial au fost proiectate 1,4 milioane treceri). Se poate aprecia buna comportare a structurii rutiere, care în condițiile utilizării noului material este supradimensionată.

În anul 1991 au fost preparate la scară industrială 100 000 t de balast tratat cu STABICOL 50, urmărindu-se în prezent comportarea în exploatare a sectoarelor experimentale.

#### 4.4. Concluzii și propuneri

Studiile documentare, precum și cercetările și experimentările proprii efectuate și prezentate în cadrul acestui capitol permit formularea următoarelor concluzii și propuneri:

- indiferent de tehnologie sau liant, în condiții clasice de execuție, straturile rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici sfîrșesc prin a acapara o rigiditate ridicată iar sub efectul contracțiilor hidraulice și termice fisurează. Fisurile odată apărute în stratul inferior se transmit prin straturile bituminoase sub efectul traficului și al variațiilor de temperatură, pînă la nivelul suprafeței de rulare;

- atît timp cît capacitatea portantă a structurii rutiere mixte este suficientă, de regulă, fisurile apărute la nivelul suprafeței de rulare nu periclitizează starea de viabilitate a drumului, deși pot contribui la deteriorarea acesteia prin faptul că permit pătrunderea apelor de suprafață în structura rutieră cu efectele nefavorabile cunoscute. O dată cu expirarea duratei de exploatare zonele fisurate devin o sursă de deteriorare rapidă a structurii rutiere, mai ales în cazul în care legătura dintre stratul bituminos și stratul tratat cu lianți hidraulici este compromisă în zona fisurii;

- în aceste condiții, preocupările administrațiilor care utilizează structuri rutiere mixte este de a găsi soluții tehnologice eficiente pentru împiedicarea sau încetinirea transmiterii fisurilor din contracție pînă la nivelul suprafeței de rulare. În cazul în care se acceptă apariția fisurilor la suprafață atunci se preconizează crearea unui dispozitiv intermediar impermeabil care să împiedice infiltrarea apelor de suprafață în corpul drumului.

Tehnologiile frecvent aplicate, autorul le-a grupat după locul lor în structura rutieră și scopul urmărit, adăugînd acestora preocupările proprii pentru găsirea unor soluții menite evitării apariției fisurilor din contracție la nivelul suprafeței de rulare în condițiile țării noastre:

- crearea unor fisuri ordonate prin tăiere sau prin executarea unor discontinuități în stratul proaspăt executat pot da rezultate acceptabile dacă distanța dintre fisuri rămîne suficient de redusă (2...3 m) astfel încît deschiderea acestora rămîne la rîndul ei redusă (microfisuri). Tehnologiile de acest gen au în general marile impedimente că necesită sporirea costului și o manoperă suplimentară considerabilă. Din această categorie se remarcă net procedeul CRAFT care permite executarea unor discontinuități la

distanțe dorite în stratul proaspăt, cu ajutorul unui utilaj adecvat, cu emulsie bituminoasă. Pe lângă obținerea unor microfisuri în zonele cu discontinuitate se realizează și impermeabilizarea fisurii:

. fisurarea neordonată a straturilor rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici fie prin acceptarea unui anumit trafic de șantier în perioada de priză, fie prin lovirea materialului întărit cu mase mari lăsate în cădere liberă pe stratul rutier nu sînt soluțiile cele mai indicate, chiar dacă ele conduc la împiedicarea totală a transmiterii fisurilor. Aceasta datorită faptului că stratul rutier cu fisuri neordonate are o comportare intermediară între un strat tratat și unul din agregate naturale stabilizate mecanic. nu se mai poate dimensiona la oboseală și în consecință nu se justifică consumul de liant și costurile necesare pentru execuția lui.

. tehnologiile de suprafață vizînd împiedicarea transmiterii fisurilor (tratamente bituminoase, covoare asfaltice, tehnologii pe bază de geotextile etc.) sînt în general neeficiente scopului urmărit. Se rețin totuși tehnologiile pe bază de geotextile (sub tratamente bituminoase) cu condiția ca geotextilul să fie perfect întins, impregnat și lipit de suprafață. O astfel de tehnologie a fost concepută și experimentată de autor în condițiile țării noastre. Tratamentele bituminoase armate cu geotextile (Trabintex) au demonstrat în condiții de laborator și de șantier că se pretează pentru tratarea suprafețelor fisurate sau a macadamurilor existente, realizînd și o impermeabilizare corespunzătoare a suprafeței prții carosabile (brevet de invenție nr. 104431/1991);

. tehnologiile de interpunere a unor dispozitive antifisuri între straturile fisurate și noile straturi bituminoase sînt foarte diverse dar în general scumpe. De regulă, dispozitivele antifisuri presupun utilizarea unor lianți modificați (cu elastomeri) și a geotextilelor, fibrelor sintetice neșesute sau a geogrilelor pentru armare. Dispozitivul trebuie să fie suficient de elastic pentru a prelua concentrările de eforturi din zona fisurilor, impermeabil, incompresibil și perfect lipit de suprafețele straturilor între care se plasează.

Autorul a experimentat în anul 1993 tehnologia armării covoarelor asfaltice de întreținere a îmbrăcăminților din beton de ciment cu geogrile TENSAR, urmînd să analizeze comportarea în exploatare a sectoarelor executate;

. indiferent de scopul urmărit de tehnologie și materiale utilizate apariția sau reparația fisurilor din contracție odată produse este greu sau chiar imposibil de împiedicat. Din acest motiv cercetările în domeniu vizează producerea unor materiale care prin utilizarea ca liant atît a bitumului cît și a cimentului să preia din avantajele ambelor (suplețe dar și rigiditate, mai ales la temperaturi ridicate) și să elimine principalele dezavantaje ale lor (formarea făgașelor și contracției ridicate care conduc la fisurare).

Dintre diferitele procedee experimentate pînă în prezent și prezentate în lucrare, autorul consideră că din punctul de vedere al gradului de perfecționare tehnică și a rezultatelor obținute liantul compozit STABICOL este în măsură să rezolve problemele sus-menționate, devenind liantul viitorului. În acest context, autorul consideră că alocarea unor fonduri de cercetare și aparatura necesară de către Administrația Drumurilor, alături de dăruirea, perseverența și pregătirea profesională a unor specialiști români poate conduce și pe plan național la realizarea unui astfel de liant cu efecte benefice asupra lucrărilor de construcție și întreținere a drumurilor și autostrăzilor în țara noastră.



## V. CONCLUZII FINALE

Teza de doctorat prezintă sinteza studiilor și cercetărilor efectuate de autor cu privire la fiabilitatea și posibilitățile de diversificare ale structurilor rutiere mixte, definite la rîndul lor în prezenta lucrare. Cercetările s-au desfășurat în perioada 1984...1993 și au fost determinate de apariția unei noi categorii de structuri rutiere (pe lingă structurile rutiere suple și rigide) ca urmare a introducerii în tehnica rutieră a straturilor din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici sau a aplicării unor îmbrăcămînți bituminoase pe îmbrăcămînți din beton de ciment. Aceste structuri rutiere au fost denumite mixte și presupun anumite particularități în procesele de dimensionare, execuție și întreținere. De asemenea, în domeniul diversificării structurilor rutiere mixte autorul s-a ocupat de studiul posibilităților de realizare a unor straturi rutiere din agregate naturale tratate cu lianți puzzolanici naturali, obținuți în principal, prin măcinarea fină a piroclastitelor andezitice și bazaltice.

Cercetările vizînd tematica tezei de doctorat au fost efectuate de autor în laboratoarele de drumuri și geotehnică ale Catedrei de drumuri și fundații din Timișoara, precum și în colaborare cu Institutul de Cercetări și Proiectări pentru Substanțe Minerale Nenetalifere (I.C.P.S.M.N.) Cluj-Napoca și Prospekțiuni-SA București. În totalitate rezultatele obținute au fost valorificate în cadrul unor contracte de cercetare științifică încheiate cu unități din învățămînt (M.I. București), proiectare (I.P.T.A.N.A. București - Filiala Timișoara) și producție (D.R.D.P. Timișoara, D.J.D.P. Zalău, D.J.D.P. Gorj). Studiile și cercetările au fost continuate prin experimentări pe teren, la scară naturală, în cadrul unor unități de producție (D.R.D.P. Timișoara și D.J.D.P. Arad). Rezultatele obținute și comportarea în exploatare a sectoarelor experimentale executate confirmă justetea concluziilor obținute prin cercetările de laborator. De asemenea, rezultatele obținute sînt valorificate în diverse lucrări publicate în țară și în străinătate, precum și prin obținerea unui brevet de invenție și a două certificate de inovator.

Oportunitatea studiilor și cercetărilor efectuate este dată pe de o parte de apariția structurilor rutiere mixte în tehnica rutieră și pe de altă parte de tendința diversificării și lărgirii domeniului de aplicare a acestora. În scopul susținerii implementării și diversificării structurilor rutiere mixte în tehnica rutieră românească se menționează următoarele:

- perfecționarea aparaturii de laborator și de teren, inclusiv dotarea laboratoarelor de specialitate cu aparatură la nivelul celei din laboratoarele moderne, în scopul determinării cît mai exact a caracteristicilor materialelor din care sînt executate structurile rutiere mixte (în special pentru agregatele naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici). Cunoașterea

caracteristicilor materialelor are ca efect o dimensionare rațională a structurilor rutiere mixte și o corectă stăpînire a calității în procesele tehnologice:

- producerea unor materiale cu caracteristici fizico-mecanice, elastice și de deformabilitate performante care să conducă la obținerea unor straturi rutiere cu capacitate portantă ridicată chiar pentru grosimi reduse ale acestora. Pentru producerea acestor materiale se vor utiliza la maximum rezervele de agregate naturale, lianți și activatori din zona de amplasament a drumului, pe baza unor studii de laborator complete prin care se vor stabili dozajele optime;

- introducerea unor tehnologii de preparare și punere în operă in situ printr-o singură trecere a unui atelier de utilaje complexe a agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, cu stăpînirea perfectă a calității;

- utilizarea unor fabrici de tratare a agregatelor naturale cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în flux continuu, cu dozare și control automat a componentelor;

- adaptarea unor tehnologii existente și crearea de altele noi în scopul împiedicării sau încetinirii transmiterii fisurilor din contracție odată apărute în straturile rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici prin straturile rutiere bituminoase superioare. Se urmărește cel puțin impermeabilizarea zonei fisurii pentru a împiedica infiltrarea apelor de suprafață în corpul drumului;

- crearea de noi lianți și implicit a unor noi materiale care să preia avantajele conferite de ambele tipuri de lianți rutieri clasici (hidraulici și hidrocarbonați), să le elimine pe cît posibil dezavantajele și să conducă în final la obținerea unor straturi rutiere cu rigiditate ridicată dar și cu contracții reduse pentru ca fisurarea să fie împiedicată;

- crearea de modele matematice pentru calculul și dimensionarea structurilor rutiere mixte, în special a celor fisurate. Se urmărește identificarea modului și timpului de transmitere a fisurilor;

- stăpînirea contracției agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici în scopul măririi cît mai mult a ecartului de temperatură (față de temperatura de punere în operă) care produce ruperea datorită acestui fenomen;

- elaborarea unor metode de determinare și urmărire a evoluției stării tehnice a drumurilor în vederea stabilirii eficienței diferitelor tipuri de structuri rutiere, precum și pentru adaptarea strategiilor de întreținere la necesități.

Tinînd cont de tendințele menționate, studiile și cercetările efectuate de autor au urmărit să sintetizeze unele din particularitățile legate de structurile rutiere și să rezolve o serie din problemele reținute.

### 5.1. Perfecționarea aparaturii de laborator

În direcția perfecționării aparaturii de laborator și a metodologiei de încercare a agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, studiile și cercetările autorului au condus la conceperea unor aparate și dispozitive noi și la formularea următoarelor concluzii:

- pentru determinarea lucrabilității agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în vederea stabilirii modului de comportare la compactare și a compactoarelor utilizabile, se întrebuițează fie indicele de concasaj al agregatului natural total, fie stabilirea colțurozității agregatelor naturale cu un aparat special. Aparatul permite măsurarea timpului de curgere a unei cantități de material, printr-un orificiu dat, sub efectul unor vibrații verticale. Autorul a participat la inițierea studiului privind introducerea unui astfel de aparat în laboratoarele de drumuri, la proiectarea și experimentarea acestuia (așa-numitul aparat COSAG, care face obiectul certificatului de inovator nr. 1071/1989, emis de M.E.I.);

- pentru stabilirea unor caracteristici fizice (unghiurile de curgere, de lunecare și unghiul taluzului natural și a densității aparente) ale materialelor pulverulente utilizate în tehnica rutieră, autorul a adaptat, realizat și experimentat dispozitive de laborator bazate pe condițiile reale de comportare la dozare și manipulare a acestora;

- având în vedere importanța conținutului de fază vitroasă și a compoziției chimice a lianților puzzolanici asupra activității lor hidraulice, autorul a determinat în laboratorul de profil al catedrei de drumuri și fundații compoziția mineralogică a lianților puzzolanici naturali studiați (piroclastite andezitice și bazaltice, ponce) prin microscopie optică pe secțiuni subțiri și prin difractometrie cu raze X. De asemenea, a analizat forma granulelor lianților puzzolanici naturali cu microscopul biocular. Pentru stabilirea compoziției chimice totale s-a colaborat cu I.C.P.S.M.N. Cluj-Napoca;

- pentru determinarea modulului de elasticitate al agregatelor naturale tratate cu lianți puzzolanici naturali s-a conceput și experimentat un dispozitiv adaptabil la dotarea actuală a laboratoarelor de drumuri din țara noastră. Acesta permite citirea deformațiilor elastice ale unor epruvete cilindrice, în treimea mijlocie, prin încărcări și descărcări consecutive cu o presă hidraulică;

- fără a se compara cu aparatele moderne, dispozitivul utilizat în laborator de autor pentru măsurarea contracțiilor i-a permis obținerea unor informații interesante cu privire la ecartul de temperatură care produce ruperea unui material datorită acestui fenomen;

- pentru cunoașterea comportării reale în timp, sub influența sarcinilor repetate din trafic, a straturilor din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici este necesară trasarea legilor de oboseală ale materialelor respective. Pentru aceasta sînt necesare aparate perfecționate și încercări de laborator costisitoare și de lungă durată pentru fiecare material și pentru fiecare vîrstă a acestuia. Din aceste considerente încercările la oboseală nu sînt operante în activitatea curentă de laborator, ele aplicîndu-se doar în laboratoarele de cercetare. Tot acestora le revine sarcina să stabilească, prin corelație statistică, relații între caracteristicile mecanice și cele de oboseală ale fiecărui material, prin care legile de oboseală vor fi ușor găsite în urma determinării unor caracteristici mecanice în laboratoare de profil.

### 5.3. Utilizarea lianților puzzolanici naturali în tehnica rutieră

Avînd în vedere cantitățile importante de materiale pe care le presupune executarea unui drum, costurile acestora și prețul transportului de la sursă pînă la locul de punere în operă este ușor de sesizat că utilizarea unor agregate naturale locale și a unor lianți ieftini, procurați din apropiere, este soluția ideală, fără a face bineînțeles compromisuri la calitate. În acest sens, autorul a abordat studiul unor roci vulcanice din sud-vestul țării, în prezent neexploatate, care în condiții bine determinate pot deveni lianți puzzolanici naturali cu reactivitate ridicată.

Referitor la posibilitățile de implementare a rocilor piroclastice în tehnica rutieră, ca lianți puzzolanici, se desprind următoarele concluzii:

- piroclastitele andezitice și bazaltice se găsesc, de regulă, în aceleași depozite cu roca de bază, avînd aceleași caracteristici chimice și mineralogice. În schimb caracteristicile fizico-mecanice sînt inferioare semnificativ față de cele ale rocilor de bază, fapt care conduce la inoportunitatea utilizării lor ca agregate naturale. Pe de altă parte rocile piroclastice, care constituie straturile superioare ale zăcămintelor sau sînt intercalate între straturile de andezit sau de bazalt, constituie un impediment major în fața exploatării economice a carierelor;

- exploatarea rocilor piroclastice, care condiționează producerea de agregate naturale corespunzătoare, conduce la apariția în zona carierelor a unor "munți" de deșeuri de carieră, în prezent neutilizate în nici un fel și avînd efecte estetice și ecologice nefavorabile;

- pornind de la caracteristicile fizico-mecanice, chimice și mineralogice, autorul a constatat că aceste roci, cu condiția măcinării lor fine, devin un liant puzzolanic natural utilizabil în sectorul rutier, cel puțin pentru zona în care se găsesc. Compoziția chimică încadrează lianții puzzolanici naturali de acest tip, în diagrama ternară  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ , în zona cenușilor silico-aluminoase, iar conținutul de masă fundamentală de circa 55 % atestă posibilitățile declanșării reacțiilor puzzolanice. Caracteristicile fizico-mecanice ale piroclastitelor măcinate sînt comparabile de asemenea cu cele ale cenușilor de termocentrală, avînd o suprafață specifică suficient de ridicată pentru dezvoltarea unor reacții de hidratare puternice;

- analizarea comportării lianților puzzolanici naturali la dozare și manipulare atestă calități corespunzătoare de curgere pentru majoritatea situațiilor în care se pot afla aceste materiale în timpul procesului tehnologic de tratare a agregatelor naturale;

- stabilirea activității puzzolanice se poate efectua prin metode: mecanice, fizice, chimice sau combinate. Dotarea laboratoarelor de drumuri permite utilizarea metodelor mecanice, dar se impune, cel puțin, verificarea rezultatelor obținute cu o metodă combinată de analiză;

- activitatea hidraulică a lianților puzzolanici naturali studiați de autor a fost stabilită prin metoda indicelui de activitate și metoda ASTM, ambele demonstrînd o reactivitate ridicată. Aceste încercări au fost completate prin analizarea mecanismului de hidratare;

- mecanismul de hidratare a lianților puzzolanici naturali presupune analizarea și corelarea aspectelor mecanice, chimice și mineralogice stabilite pe amestecuri realizate din 80...85 % liant și 15...20 % var. Rezistențele mecanice (aspect mecanic) determinate de autor pe astfel de amestecuri încadrează lianții puzzolanici naturali studiați în grupa lianților cu reactivitate ridicată, iar transformările chimice din amestecuri (aspect chimic) demonstrează același lucru;

- odată demonstrate caracteristicile puzzolanice ale unui material, utilizarea sa în condiții concrete se efectuează după o prealabilă stabilire a dozajelor optime în laborator. Aceste operații presupun testarea caracteristicilor fizico-mecanice ale unor serii de epruvete cilindrice, preparate prin presare, la caracteristicile de compactare Proctor modificat, preparate din amestecuri în care liantul puzzolanic și activatorul său intră în diferite proporții. Se alege ca dozaj optim acela care asigură obținerea unor proprietăți cel puțin egale cu cele recomandate de norme pentru stratul rutier ce se preconizează a fi executat;

- determinarea caracteristicilor fizico-mecanice în laborator pentru amestecuri realizate din nisip tratat cu liant puzzolanic natural (piroclastite andezitice și bazaltice sau ponce măcinate) activat cu var sau ciment demonstrează clar posibilitatea utilizării materialului rezultat în unele straturi rutiere. Se remarcă eficiența sporită a poncelor de Tușnad în raport cu piroclastitele andezitice sau bazaltice, fapt care se datorește în primul rând compoziției lor mineralogice (masa fundamentală în cazul poncelor atinge 80 %);

- în contextul valorificării totale a materialelor pietroase care se găsesc în "depozite" în zonele marilor cariere autorul a cercetat posibilitatea tratării acestor materiale cu un conținut redus de ciment (partea fină a deșeurilor putând fi considerată ca liant puzzolanic natural) sau cu liant puzzolanic natural obținut în aceleași exploatări activat cu var sau ciment. Rezultatele obținute îndreptățesc pe autor să afirme că astfel de soluții sînt posibile pentru deșeurile de carieră andezitice și bazaltice;

Pe baza studiilor și cercetărilor efectuate în laborator, a experimentărilor pe teren și a analizării comportării în exploatare a sectoarelor experimentale, autorul consideră că utilizarea lianților puzzolanici naturali în tehnica rutieră este o soluție economică, în special pentru zonele geografice unde aceste materiale pot fi procurate de la distanțe reduse.

### 5.3. Comportarea în exploatare a structurilor rutiere mixte

Cunoașterea și stăpînirea printr-o corectă dimensionare a problematicii comportării în exploatare a structurilor rutiere mixte are o importanță deosebită pentru sectorul rutier, cu atît mai mult cu cît utilizarea unor soluții din această categorie este recomandată pentru traficuri importante (cazul autostrăzilor de exemplu). În acest context studiile și cercetările efectuate de autor își găsesc locul între preocupările specialiștilor din domeniu de susținere a programului de autostrăzi din țara noastră prin soluții tehnice

concrete și economice. Acestea au permis cristalizarea următoarelor concluzii referitoare la comportarea în exploatare a structurilor rutiere mixte:

- pentru dimensionarea și implicit pentru analizarea comportării în exploatare a structurilor rutiere mixte determinarea caracteristicilor elastice și a legilor de oboseală ale materialelor, mai ales a agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici<sup>are</sup> are importanță deosebită;
- stabilirea modulilor de elasticitate și a legilor de oboseală se efectuează în laborator prin încercări și cu aparate complexe, care presupun durate de timp îndelungate. Odată determinate în laboratoare de cercetare aceste caracteristici se utilizează, eventual după verificări sau corelări prealabile, pentru dimensionarea și caracterizarea comportării în exploatare a structurilor rutiere executate cu astfel de materiale;
- dintre factorii de compoziție care influențează hotărâtor calitatea agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici puse în operă în straturi rutiere, se menționează: dozajul și natura liantului, granulozitatea agregatelor naturale, gradul de compactare și în mod deosebit umiditatea amestecurilor;
- analiza factorilor care influențează fisurarea din contracție (natura și dozajul de liant, natura și granulozitatea agregatelor naturale, gradul de compactare, umiditatea, conținutul de părți fine argiloase, perioada de punere în operă etc.), precum și a posibilităților de corelare a acestora în scopul împiedicării fisurării au condus la concluzia că în condiții normale de climă și de trafic acest fenomen nu poate fi combătut;
- pornind de la această realitate este interesant și important de cunoscut modul de propagare a fisurilor din contracție prin straturile bituminoase superioare. Pentru aceasta se recurge de regulă la calcule cu programe cu elemente finite care permit stabilirea timpului de propagare a fisurilor și a direcției de propagare a acestora. Autorul a aplicat programul de calcul SAP 90 în acest scop obținând rezultate comparabile cu cele menționate de literatura de specialitate;
- în domeniul observațiilor pe sectoare experimentale, referitoare la transmiterea fisurilor din contracție prin straturi bituminoase, s-a constatat că fenomenul este foarte variabil de la un sezon la altul, fiind esențial influențat de grosimea straturilor bituminoase, legătura dintre straturile structurii rutiere, clima regiunii, mărimea traficului și sarcina pe osie etc. În condițiile țării noastre, într-o regiune cu climă blândă (Banat) s-a constatat că fisurile din contracție din straturile inferioare se transmit în totalitate printr-un covor asfaltic de 4 cm grosime, în 3...4 ani;
- studiile și cercetările efectuate pe unele structuri rutiere mixte aflate în exploatare în sud-vestul țării atestă calitățile performante ale acestora, cu condiția stăpînirii factorilor de compoziție, a dimensionării corecte și a protejării corespunzătoare a straturilor din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici pînă la execuția straturilor bituminoase.

#### 5.4. Evitarea transmiterii fisurilor din contracție prin straturile rutiere bituminoase

Problema evitării transmiterii fisurilor din contracție din straturile de agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici este importantă pentru asigurarea unei viabilități corespunzătoare pe întreaga durată de exploatare prognozată. Dintre concluziile care s-au materializat în urma studiilor și cercetărilor proprii, autorul menționează următoarele:

- indiferent de grosimea straturilor bituminoase, fisurarea din contracție are tendința să se propage pînă la nivelul suprafeței de rulare sub efectul traficului și variațiilor de temperatură;

- cu cît grosimea straturilor bituminoase și conținutul de bitum din mixturile asfaltice sînt mai ridicate, cu atît viteza de propagare a fisurilor este mai redusă, fără să se anuleze. Efectul utilizării unor bitumuri modificate cu elastomeri este favorabil;

- de regulă utilizarea unei singure tehnologii antifisuri nu este suficientă pentru combaterea efectului fisurării din contracție a straturilor rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici;

- crearea unor microfisuri echidistante, la distanțe reduse, în straturile rutiere care pot fisura datorită contracției, prin tehnologii adecvate, micșorează substanțial tendința de propagare a fisurilor spre suprafață. Dintre tehnologiile frecvent aplicate cea mai răspîdită pare a fi soluția CRAFT care după tăierea materialului proaspăt, impermeabilizează fisura cu emulsie bituminoasă;

- fisurarea aleatoare a straturilor rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici prin acceptarea traficului de șantier în perioada de întărire a lianților hidraulici sau prin lovirea stratului după întărire cu bile din oțel de mase mari, lăsate în cădere liberă de la o anumită înălțime nu sînt recomandate. Aceasta datorită faptului că stratul rutier respectiv nu poate fi dimensionat la oboseală;

- dintre tehnologiile de suprafață antifisuri cele mai răspîdite sînt mortarele asfaltice clutate, tratamentele bituminoase groase și tratamentele bituminoase armate. În țara noastră în această categorie de lucrări se remarcă tratamentele bituminoase anrobate in situ armate cu geotextile (Trabintex), la conceperea și experimentarea cărora a participat și autorul (brevet de invenție nr. 104431/1991);

- prin interpunerea unor tehnologii antifisuri sub straturile bituminoase ale structurilor rutiere mixte se asigură cele mai bune condiții pentru încetinirea transmiterii fisurilor spre suprafață. Aceste tehnologii se bazează fie pe interpunerea unei mixturi asfaltice antifisuri (de regulă mortare asfaltice bogate în bitum-elastomeri), a unor geotextile țesute sau nețesute impregnate cu bitum-elastomeri sau a unei pelicule de liant modificat care să nu își modifice grosimea în urma executării straturilor superioare (procedeu Flexiplast), fie pe armarea straturilor bituminoase cu geogriile. În ultima categorie se înscriu experimentările efectuate de autor în colaborare cu D.R.D.P. Timișoara, pe D.N. 68A, Lugoj - Ilia, km 75+100...75+250, în scopul încetinerii transmiterii rosturilor de contracție ale unei îmbrăcămînți din beton de ciment prin straturile bituminoase de ranforsare;

- interpunerea locală de geogriile sau geotextile între fisurile din contracție și straturile bituminoase superioare este mai

puțin utilizată. Pentru a studia efectul unor astfel de tehnologii asupra propagării fisurilor din contracție, autorul în colaborare cu D.R.D.P. Timișoara a realizat sectoare experimentale, pe D.N. 68A, Lugoj - Ilia, km 75+500...76+000 de armare locală a straturilor bituminoase de ranforsare ale unei structuri rutiere rigide cu geogridurile și cu geotextile.

Având în vedere eficiența limitată a tehnologiilor antifisuri, atenția generală a specialiștilor din sectorul rutier se îndreaptă spre "liantul viitorului", care are performanțe deosebite datorită combinării avantajelor celor două tipuri de lianți din care provine (bitum și ciment).

#### 5.5. Principalele contribuții originale ale tezei de doctorat și valorificarea rezultatelor cercetărilor

Studiile și cercetările efectuate de autor se înscriu în preocupările specialiștilor privind perfecționarea și diversificarea tehnologiilor de construcție și întreținere a structurilor rutiere mixte. De asemenea, lucrarea sintetizează unele aspecte legate de proprietățile straturilor rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici și de comportarea în exploatare a structurilor rutiere mixte.

Principalele contribuții originale prezentate în cadrul lucrării sînt următoarele:

- investigarea calității materialelor pietroase dintr-o zonă concretă din sud-vestul țării (județele Arad și Hunedoara), inclusiv a posibilităților de utilizare a acestora în tehnica rutieră și stabilirea principalelor surse de piroclastite andezitice și bazaltice;

- determinarea prin studii și cercetări complexe a caracteristicilor fizico-mecanice, chimice și mineralogice ale piroclastitelor andezitice, piroclastitelor bazaltice și poncelor. Pe baza acestora autorul a încadrat rocile vulcanice sus-menționate, după o măcinare fină, în categoria lianților puzzolanici;

- implementarea în activitatea laboratoarelor de drumuri a încercărilor menite să stabilească mecanismul de hidratare a lianților puzzolanici naturali sub aspectul mecanic și chimic;

- stabilirea dozajelor optime în laborator pentru cazul utilizării lianților puzzolanici sus-menționați, la tratarea unor agregate naturale, inclusiv verificarea calității lianților și a justetei dozajelor determinate prin executarea de sectoare experimentale pe D.J. 792, Sebiș - Berindia;

- proiectarea, realizarea și experimentarea aparatelor pentru determinarea unor proprietăți fizice (densitate aparentă, unghiuri de curgere, de lunecare și al taluzului natural) pentru materialele pulverulente utilizate în sectorul rutier, în scopul analizării comportării lor la dozare și manipulare;

- stabilirea comportării la manipulare și la dozare a lianților puzzolanici naturali obținuți prin măcinarea rocilor piroclastice și compararea acestora cu a altor materiale pulverulente utilizate în tehnica rutieră;

- determinarea în laborator a modurilor de elasticitate ai agregatelor naturale tratate cu lianții puzzolanici naturali studiați. Pentru aceasta autorul a conceput, executat și experimentat un dispozitiv de încercare adaptabil dotării actuale a laboratoarelor de drumuri din țara noastră;



- determinarea și verificarea prin încercări de laborator a influenței pe care o au diferiții factori de compoziție asupra calității straturilor rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici;
- inițierea studiului, proiectarea și experimentarea aparatului pentru determinarea lucrabilității agregatelor naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici (certificat de inovator nr. 1071/1989);
- sistematizarea influenței pe care o au factorii de compoziție asupra fisurării din contracție a straturilor rutiere din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, precum și a posibilităților de modelare a transmiterii fisurilor prin straturile bituminoase superioare;
- stabilirea timpului de propagare a fisurilor din contracție prin diferite grosimi ale straturilor bituminoase de întreținere, pentru o anumită zonă climaterică (Banat);
- implementarea programului de calcul SAP 90 pentru calculul structurilor rutiere fisurate;
- urmărirea comportării în exploatare a unei mari diversități de structuri rutiere mixte, ceea ce a permis autorului să verifice studiile și încercările efectuate în laborator;
- determinarea contracțiilor în laborator pentru nisipuri tratate cu lianți puzzolanici naturali în vederea stabilirii ecartului de temperatură ce produce ruperea stratului rutier datorită acestui fenomen;
- conceperea și aducerea în stadiu operațional a tehnologiei antifisuri Trabintex, pentru care s-a obținut brevetul de invenție nr. 104431/1991;
- îmbunătățirea procesului de verificare și reglare a dozajelor la lucrările de tratamente bituminoase, inclusiv crearea și experimentarea dispozitivului pentru controlul cantitativ al agregatelor naturale așternute (certificat de inovator nr. 1069/1989);
- implementarea în colaborare cu D.R.D.P. Timișoara a unor tehnologii antifisuri în premieră națională, bazate pe interpunerea continuă sau locală de geotextile sau geogriile între straturile rutiere cu fisuri sau rosturi de contracție și straturile bituminoase superioare.

Rezultatele studiilor și cercetărilor efectuate de autor au condus la obținerea unui brevet de invenție și a două certificate de inovator. În totalitate rezultatele obținute au fost valorificate în cadrul a 5 contracte de cercetare științifică la care autorul a fost responsabil sau colaborator, precum și prin publicarea în țară sau străinătate a 19 lucrări. Unele dintre tehnologiile concepute și experimentate de autor au fost preluate de unitățile productive (de exemplu tehnologia antifisuri Trabintex), urmînd ca celelalte tehnologii antifisuri experimentate (pe bază de geogriile sau geotextile), funcție de comportarea lor în exploatare, să fie aduse în stadiu operațional.

## BIBLIOGRAFIE

1. ANDRIEUX, P. și COLOMBIER, I.H. Utilization des cendres volantes en techniques routières. În: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 83/1976, p. 73...90.
2. ARQUIE, G. ș.a. Compactage des assises de chaussées. Choix du matériel et les ses modalités d'emploi. În: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 86/1976, p. 113...124.
3. ARQUIE, G. și MOREL, G. Le compactage. Paris, Edition Eyrolles, 1988.
4. AUTRET, P. și GRAMSAMMER, I.C. Le manège de fatigue du LCPC et l'innovation. În: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr. 680/1990, p. 13...18.
5. AUTRET, P. Le manège de fatigue du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. În: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 155/1988, p. 33...45.
6. AVRAM, C. și BOB, C. Noi tipuri de betoane speciale. București, Editura Tehnica, 1980.
7. AVRAM, C., FĂCĂOARU, I., FILIMON, I., MÎRȘU, O., TERTEA, I. Rezistențele și deformările betonului. București, Editura tehnică, 1971.
8. BARON, T. ș.a. Calitate și fiabilitate. Vol. 1 și 2. București, Editura Tehnica, 1988.
9. BARBAT, A. și MARTON, A. Tufurile vulcanice zeolitice. Cluj-Napoca, Editura Dacia, 1989.
10. BĂNCILĂ, I. Geologie inginerescă. București, Editura tehnică, 1980.
11. BELC, F. Preocupări pentru o nouă clasificare și definirea a sistemelor rutiere. În: "Sesiunea științifică a tinerilor absolvenți", IPTV Timișoara, 1988, p.40...45.
12. BELC, F. și COSTESCU, I. Preocupări pentru valorificarea materialelor locale și subproduselor industriale în construcția și întreținerea drumurilor. În: "A 3-a Conferință națională de drumuri și poduri", Cluj-Napoca, 1990, p. 241...245.
13. BELC, F. Studiul posibilităților de folosire a piroclastitelor în tehnica rutieră. În "Sesiunea de comunicări științifice a tinerilor absolvenți", IPTV Timișoara, 1989, p. 364...369.
14. BELC, F. și BOBOȘ, I. Aspecte chimico-mineralogice și geotehnice asupra unor roci cu activitate ruzzolanică. În: "A 7-a conferință națională de geotehnică și fundații", vol. I, Timișoara, 1992, p. 7...12.

15. BELC, F. Sinteză documentară privind utilizarea lianților puzzolaniici în tehnica rutieră. Referat. Catedra DFIC, Timișoara, 1990.
16. BELC, F. Studiul piroclastitelor din carierele Vîrfului, jud. Arad, în vederea utilizării lor în straturilor rutiere. Referat. Catedra DFIC Timișoara, 1991.
17. BELC, F. Studiul comportării în exploatare a structurilor rutiere mixte. Referat. Catedra DFIC Timișoara, 1992.
18. BELC, F. și STELEA, I. Observații privind apariția în îmbrăcămintile bituminoase a unor fisuri longitudinale. In: "Comportarea in situ a construcțiilor", vol. 4, Arad, 1988, p. 701...706.
19. BELC, F. ș.a. Studiul defecțiunilor apărute pe DN 79 A, km 80+000 ... 94+000. In: "A 7-a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri", vol. 1, Pitești, 1986, p. 415...421.
20. BELC, F. și HERMAN, AL. Comportarea în exploatare a unor structuri rutiere mixte realizate în sud-vestul României. In: "Comportarea in situ a construcțiilor", vol. 4, Sovata, 1992, p. 67...76.
21. BELC, F. Noi tehnologii de realizare a tratamentelor bituminoase. In: "Sesiunea științifică a tinerilor absolvenți", IPT, Timișoara, 1989, p. 360...363.
22. BELC, F. și ERTEL, S. Utilizarea calculatoarelor electronice la rezolvarea unor probleme din sectorul rutier. In: "Soluții eficiente în construcția și întreținerea drumurilor și podurilor", Cluj-Napoca, 1987, p. 260...263.
23. BELC, F. ș.a. Observații privind dimensionarea structurilor rutiere mixte. In: "Zilele academice timișene", Timișoara, 1991, p. 95...101.
24. BELC, F. și BOBOȘ, I. Cercetări privind realizarea unor structuri rutiere pentru autostrăzi cu straturi din naturale stabilizate cu lianți puzzolaniici naturali. In: "Autostrada - atribut al civilizației", Iași, 1992, p. 60...66.
25. BEURAN, M. și CHIRA, C. Studiul privind tufurile vulcanice din Piglișa, jud. Cluj, la executarea straturilor rutiere. In: "Soluții eficiente în construcția și întreținerea drumurilor și podurilor", Cluj-Napoca, 1987, p. 270...274.
26. BOBOȘ-RADU, I. Studiul chimico-mineralogic și geotehnic pentru urmărirea comportării în exploatarea a depozitului de zgură și cenusă Urvin, aferent CET Timișoara. Contract de cercetare științifică nr. 45/1991. Universitatea Tehnică din Timișoara.
27. BOICU, M. Contribuții la introducerea unor metode și tehnologii rutiere în condițiile economisirii materialelor energointensive. Teză de doctorat. Institutul Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara, 1983.
28. BOLEWSKI, A. Determinarea mineralelor. Traducere din limba polonă. București, Editura tehnică, 1976.

29. BOB, C. și VELICA, P. Materiale de construcții. București, Editura didactică și pedagogică, 1979.
30. BONNOT, J. Remise en état des chaussées. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr.153/1988, p. 13... 29.
31. BONNOT, J. Relations entre caractéristiques des granulats, propriétés mélanges et comportement des chaussées. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr. 621/1985 p. 14...19.
32. BONNOT, J. Entretien et remise en état de chaussées à couche de base en grava traitées du liants hydrauliques. In: "Revue générale des routes et des aérodromes" nr.630/1986, p. 67...73.
33. BONNOT, J. Bilan de la technique classique des graves-ciment. Evolution souhaitable. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées" nr. 77/1975, p. 55...63.
34. BONNOT, J. La mécanique des chaussées: son évolution, ses préoccupations actuelles. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées" nr. 125/1983, p. 37...51.
35. BROSZY, P. și CIMPELLI, CH. Utilisation des matériaux locaux, calcaires et micro-graves. In: "Revue générale des routes et des aérodromes nr. 616/1985, p. 97...107.
36. BRIS, I. și LEMÉE, E. Utilisation d'une centrale continue pour la fabrication de béton routier. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 94/1978, p.137...153.
37. BUCUR, M. ș.a. Tehnologia de executie a straturilor rutiere din amestecuri din piatra sparta calcaroasa, tuf vulcanic si ciment. In: "A 7-a Conferință pe țara a lucratorilor de drumuri si poduri", vol.1, 1986, Pitesti, p. 552...561.
38. BURNEI, G. Contribuții la introducerea și dezvoltarea tehnologiei de ranforsare a structurilor rutiere existente, cu îmbrăcăminti din beton de ciment. Teză de doctorat. Institutul Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara, 1990.
39. CARACOSTEA, A. ș.a. Manual pentru calculul construcțiilor. Bucuresti, Editura Tehnica, 1977.
40. CAROFF, G. Les structures inverses. In: "Revue generale des routes et des aérodromes", nr.669/1989, p. 22...24.
41. CHABROL, J. La mécanique des chaussées au service de la gestion d'un réseau autoroutier. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 155/1988, p. 23...32.
42. CHANTEREOU, I.C. și ASTAGNEAU, E. Mise en oeuvre des assises traitées au liants hydrauliques et pouzzolaniques. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr. 4/1972, p. 68...77.
43. CHAUVIN, J.J. Résistance en traction et déformabilité des graves-ciment. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussés", nr.94/1978, p. 84...95.

44. CIOCLOV, D. Mecanica ruperii materialelor. Bucuresti, Editura Academiei Romania, 1977.
45. COLOMBIER, G. ş.a. Geotextiles et technique routiere. Lutte antifissures. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr.579/1990, p. 23...29.
46. COLOMBIER, G. ş.a. Assises traitées aux liants hydrauliques et pouzzolaniques. In "Guide pratique de construction routiöre" ,nr. 46; 47; şi 48 din: " Revue générale des routes et des aérodromes, nr. 566; 567; şi 568/1982.
47. COLOMBIER, G. ş.a. Assises traitées aux liants hydrauliques et pouzzolaniques. In : "Guide pratique de construction routiöre" din: " Revue générale des routes et des aerodromes", nr. 566; 567 şi 568/1982.
48. COLOMBIER, G. ş.a. CRAFT. Creation automatique de fissures transversales dans les assises des chaussées traitées aux liants hydrauliques. In: "Revue générale des routes et des aerodromes", nr.669/1989, p. 25...29.
49. CONAN, J. ş.a. Lutte antifissures. Vers une modélisation des systémes antifissures. In: "Revue générale des routes et des aerodrome" ,nr.685/1991, p. 22...25.
50. COQUAND, R. Routes. Paris, Edition Eyrolles, 1980.
51. CORBOEUF, A. Le comportement des chaussées en béton de ciment du réseau SAPRR rapporté à leur durée de service. In: "Revue générale des routes et des aérodromes" nr.630/1986, p. 25...28.
52. CORTE, J.F. Présentation du nouveau guide technique. Réalisation des remblais et des couches de forme. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 182/1992, p. 33...48.
53. COSOSCHI, B., ZAROJANU, H., N., MIHAL, I. Lianţi cu fosfogips pentru straturi rutiere stabilizate. In: " A VI-a Consfătuire pe țară a lucrărilor de drumuri şi poduri", vol. I, Tuşnad, 1982, p. 435...440.
54. COSOSCHI, B., ZAROJANU, H., TAUTU, N., GRAUR, M. Ranforsarea unui sistem forestier cu strat de bază din balast stabilizat cu liant mixt din deseuri industriale. In: A VI-a Consfătuire pe țară a lucrărilor de drumuri şi poduri", vol. I, Tuşnad, 1982, p.138...142.
55. COSTESCU, I. Contribuţii la dezvoltarea tehnologiilor de construcţie a sistemelor rutiere cu materiale rutiere energoneintensive. Teză de doctorat. Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timişoara.
56. COSTESCU, I. ş.a. Posibilităţi de utilizare a unor materiale energoneintensive la realizarea straturilor rutiere. In: "A 7-a Consfatuire pe țară a lucrărilor de drumuri şi poduri", vol.1, 1986, Piteşti, p.350...355.
57. DAC CHI, N. Les materiaux traites aux liants hydrauliques. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées Paris. Mastöre infrastructure des transports. 1991/1992.

58. DAC CHI, N. Nouvelles méthodes d'essais en laboratoire des graves traitées aux liants pouzzolaniques. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 91/1977, p.73...80.
59. DAC CHI, N. Etude du comportement en fatigue des matériaux traités aux liants hydrauliques pour assises de chaussées. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 115/1981, p. 33...48.
60. DAC CHI, N. și DERKY, F. Détermination du module élastique des matériaux de chaussées aux liants hydrauliques avec l'essai du compression diamétrale. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des pont et chaussées", nr. 171/1991, p. 1...6.
61. DAC CHI, N. Les graves traitées au ciment. Leur principales caractéristiques. Leur comportement à la fatigue. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr.94/1978, p. 65...72.
62. DAC CHI, N. Machine de compactage en laboratoire d'éprouvettes de graves traitées aux liants hydrauliques. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 86/1976, p. 85...92.
63. DAUZALZ, M. și RAMPAL, A. Mécanismes de fissuration de surface des couches de roulement. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr.154/1988, p. 57...72.
64. DELIGNE, P. Utilisation du béton compacté. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr.628/1986, p. 49...58.
65. DELMER, PH. Le fluage des géotextiles. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr.153/1988, p. 81...88.
66. DINR, T.L. Etude de traitements mixtes par l'essai de retrait thermique empêché. Essai de fissuration. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 78/1975, p. 103...116.
67. DORABANTU, S. ș.a. Drumuri. Calcul și proiectare. Bucuresti, Editura Tehnica, 1980.
68. DRON, R. L'activité pouzzolanique. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, nr. 93/1978, p. 66...69.
69. DRON, R. și VOINOVITCH, I. Le gypse sodé, ses possibilités, ses limites. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 78/1975, p.45...52.
70. DRON, R. și BRIVOT, F. Essais minéralogiques de sélection des pouzzolanes. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 92/1977, p.105...112.
71. DRON, R. Étude expérimentale et théorique du système  $\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2, \text{H}_2\text{O}$ . In "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 77/1978, p. 89...93.

72. DRON, R. ş.a. Les différents liants hydrauliques et pouzzolanique În: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 94/1978, p.73...83.
73. ERVARD, H. şi LEBAS, M. Maniabilité des graves-aiment. În: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 94/1978, p. 111...119.
74. FAURE, B. Lutte antifissures. Systèmes antifissures, l'alternative SACER. În: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr.685/1991,p. 33...35.
75. FAURE, B. şi GEOFFRAY, J.M. Le liant pouzzolanes-chaux. În: Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 94/1978, p. 53...59.
76. FEVRE, C. Chaussées souples. În: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr.650/1989, p. 47...50.
77. FILIMON, I. şi DEUTSCH, I. Cours de béton armé et précomprimé. Vol. I şi II. Litografia IPTV Timişoara, 1984.
78. FLATRES, B. ş.a. Matériels innovants pour l'exécution de revêtements routiers. În: "Revue générale des routes et des aérodromes" nr.680/1990, p. 49...55.
79. FODOR, G. ş.a. Tehnologia de stabilizare a agregatelor naturale cu tuf vulcanic. În: "A VI -a Conferinţă pe ţară a lucrărilor de drumuri şi poduri", Vol. I, Tuşnad, 1982, p. 179...189.
80. FOURNIER, M. şi GEOFFRAY, J. M. Le liant pouzzolanes-chaux. În: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 94/1978, p. 70...78.
81. FUCHS, F. La route en béton de ciment. Technologie adaptable à toutes les régions quel que soit leur degré d'industrialisation. AIPCR - Centre de Recherche Routières, Bruxelles, aug. 1986.
82. GASPAR, L. Le cendres volants et le laitier granulé en construction routière. În: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr.86/1976, p. 135...143.
83. GEAGOLOU, H. ş.a. La méthode des éléments finis : application à la fissuration des chaussées et au calcul du temps de remontée des fissures. În: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr.125/1983, p.76...91.
84. GEACOLOU, H. s.a. Calcul des structures à l'orniérage: programme CASTOR. În: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 154/1988, p. 85...94.
85. GEOFFRAY, J. M. Traitement des sables alluvionnaires par le liant pouzzolanes - chaux. În: " Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 93/1978, p. 86...91.
86. GEOFFRAY, J. M. şi VALLADEAU, R. Morphologie et couleur des pouzzolanes. În: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 92/1977.
87. GODARD, E. Fissures, ça suffit. În: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr.697/1992, p. 59...63.

88. GODARD, E. Stabilcol, un matériau composite pour les routes de demain. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr.691/1991, p. 117...122.
89. GROZ, P.C. ș.a. Lutte antifissures. Et si nous parlions fissure. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr.685/1991, p. 15...21.
90. HÉRAUD, H. ș.a. Traitement à la chaux et à la chaux-ciment de arènes granitiques d'Auvergne. In: " Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 78/1975, p. 25...30.
91. HUSSON, B. și COLOMBIER, G. Les laitiers granulés prébravés. In: " Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 83/1976, p. 59...65.
92. IRIMIA, V. și MARGARITESCU, D. Straturi rutiere stabilizate cu lianți netraditionali. In: "A 7-a Conferință pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri", vol.1, 1986, Pitești, p. 356...361.
93. JEUFFROY, G. ECOROUTE, un nouveau logiciel de calcul des structures de chaussées. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr.649/1988, p. 16...20.
94. JEUFFROY, G. Conception et construction des chaussées. Tome 1. Paris, Editions Eyrolles, 1983.
95. KHAY, M. ș.a. Compactage au compacteur à pneumatiques des assises traitées. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 103/1979, p. 55...66.
96. LAMBERT, R. și RIEU, R. La place des graves - pouzzolanes - chaux en technique routière. In: "Bulletin de liaison des ponts et chaussées", nr. 98/1978, p. 75...80.
97. LARGENT, R. Estimation de l'activité pouzzolanique. Recherche d'un essai. In: Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 93/1978. p. 61...65.
98. LESAGE, A. Scories de Saint-Saulve. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 78/1975, p. 95...103.
99. LINDER, R. Contraintes internes et endommagement de matériaux de chaussées traitées au laitier. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr.177/1992, p. 29...43.
100. LUCACI, GH. și PASCA, I. Studiul cauzelor apariției unor defecțiuni pe drumul național Timișoara-Arad și propuneri pentru prevenire și remediere. In: "Comportarea in situ a construcțiilor", vol.5. Constanta, 1986, p. 81...86.
101. LUCACI, GH. Etude de formulation d'un matériau routier composite à hautes performances. Thèse professionnelle. École Nationale des Ponts et Chaussées Paris, 1992.
102. MARCHAND, J.P. Pré-fissuration et remotée des fissures. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr.702/1992, p. 110...111.
103. MARCHAND, J.P. Trois années de pré-fissuration CRAFT. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr.680/1990, p. 79...82.



104. MEUNIER, Y. Reconditionnement en place de chaussées par l'ABC 700 en France et à l'étranger. In: "Revue générale des routes et des aérodrômes", nr. 669/1989, p. 30...35.
105. MICHAUT, J.P. Les produits Colas au manège. In: "Revue générale des routes et des aérodrômes", nr. 699/1992, p. 68...70.
106. MILLET, J. ș.a. Rôle des chaux industrielles dans leur emploi avec les matériaux à caractère pouzzolaniques. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 83/1976, p. 91...96.
107. MILLET, J. ș.a. Dosage de la phase vitreuse dans le matériaux pouzzolaniques. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 92/1977, p. 101...104.
108. MILLET, J. și HOMMEY, R. Etude minéralogique des pâtes pouzzolaniques - chaux. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 74/1974, p. 59...63.
109. MARZA, I. ș.a. On the nomenclature and classification of pyroclastites. In: "The volcanic tuffs from the Transylvanian Basin, România", Universitatea din Cluj - Napoca, 1991, p. 449...464.
110. MONTVENOUX, I. C. și GEOFFRAY, J. M. Mise en évidence des propriétés pouzzolaniques des basaltes. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 78/1975, p. 21...24.
111. MOREL, G. și VALEUX, I. C. Compactage de matériaux traités aux liants hydrauliques pour assises de chaussées. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 66/1973, p. 79...102.
112. MOREL, G. și KHAY, M. Compactage des assises traitées aux liants hydrauliques. Comparaison des débits rouleau vibrant et compacteur à pneus. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 94/1978, p. 172...175.
113. MOREL, G. ș.a. Le nouveau guide technique "Réalisation des remblais et des couches de forme", présentation et commentaires. In: "Revue générale des routes et des aérodrômes", nr. 700/1992, p. 17...22
114. MOURATIDIS, A. Comportement des chaussées semi-rigides fissurées. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 152/1988, p. 29...36.
115. MUNTEANU, V. ș.a. Avantajele tehnologiei de ranforsare pe baza de lianti pouzzolanici a sistemelor nerigide. In: "A7-a Conferință pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri", vol.1, Pitesti, 1986, p. 572...579.
116. MUTIAC, V. Structura geologică a teritoriului României. București, Editura tehnică, 1990.
117. MUTIAC, V. Geologia României. București, Editura tehnică, 1974.

118. NGUYEN, D.C. și DERKY, F. Détermination du module élastique de matériaux des chaussées traités aux liants hydrauliques avec l'essai de compression diamétrale. În: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 171/1991, p. 7...12.
119. NICOARĂ, L. Introducere în analiza definirii, alcătuirii, dimensionării și proiectării complexelor rutiere. În: "Soluții noi eficiente în proiectarea și executarea structurilor", Timișoara, 1986, p.259...264.
120. NICOARĂ, L. Preocupări pentru o nouă concepție privind clasificarea și definirea sistemelor rutiere. În: "A 7-a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri", vol. I, Pitești, 1986, p. 24...29.
121. NICOARĂ, L. ș.a. Tehnologii rutiere neconvenționale. Litografia IPTV Timișoara, 1988.
122. NICOARĂ, L. și SCHEIN, T. Preocupări pentru îmbunătățirea viabilității drumurilor de exploatare din pământ. În: "A VI-a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri", vol I, Tușnad, 1982, p.197...204.
123. NICOARĂ, L. Curs de drumuri. Vol. III, IV și V. Litografia IPTV Timișoara, 1975.
124. NICOARĂ, L. și COSOSCHI, B. Observații privind utilizarea zgurii siderurgice în tehnica rutieră. În: "Bulletin IPTV Timișoara", 1984, p. 28...33.
125. NICOARĂ, L. Soluții particulare pentru evitarea transmiterii fisurilor din straturile rutiere stabilizate cu ciment în îmbrăcăminte bituminoasă. În: " Sesiunea de comunicări științifice a ICPTT București ", secțiunea IV, 1973, p. 106...115.
126. NICOARĂ, L. și BILȚIU, A. Îmbrăcăminti rutiere moderne. București, Editura tehnică, 1983.
127. NICOARĂ, L., PAUNESCU, M., BOB, C., BILȚIU, A. Îndrumătorul laboratorului de drumuri. București, Editura tehnică, 1985.
128. NICOARĂ, L. și BELC, F. Preocupări pentru o nouă clasificare a structurilor rutiere. În: " Sesiunea de comunicări științifice organizată de I.P. Iași", 1988, p.122...126.
129. NICOARĂ, L. și LUCACI, GH. Trafic și autostrăzi. Litografia IPTV Timișoara, 1988.
130. NICOARĂ, L. și LUCACI, GH. Terasamente. Litografia IPTV Timișoara, 1987.
131. NICOARĂ, L., BELC, F. ș.a. Drumuri. Îndrumător pentru lucrări de laborator. Litografia IPTV Timișoara, 1991.
132. NICOARĂ, L., UDVARDY, L., EROLA, E. Previzii privind executarea lucrărilor de ranforsare a complexelor rutiere - Sistemul PRERAN. În: "Buletin rutier", nr.3...4/1977, p. 1...26.
133. NICOARĂ, L., UDVARDY, L., EROLA, E. Unele observații privind posibilitățile planificării eficiente a ranforsării preventive a complexelor rutiere. În: "A 4-a sesiune de comunicări științifice a DDP Timișoara", 1980.

134. NICOARĂ, L. și UDVARDY, L. Unele considerații privind evaluarea eficienței economice și sociale ale construcției și întreținerii drumurilor. In: "A 6-a Consfătuire pe țara a lucrătorilor de drumuri", Brașov, 1982, p. 50...69.
135. NICOARĂ, L. Considerații asupra unor posibilități de îmbunătățire a stării de viabilitate a drumurilor în exploatarea. In: "A 6-a Consfătuire pe țara a lucrătorilor de drumuri", Brașov, 1982, p. 361...365.
136. NICOARĂ, L. și UDVARDY, L. Considerații cu privire la evoluția calitatii lucrărilor de drumuri. In: "Comportarea in situ a construcțiilor", Piatra - Neamț, 1984, vol. 2, p. 57...62.
137. NICOARĂ, L. și STELEA, L. Comportarea in exploatare a tratamentelor bituminoase. In: "Comportarea in situ a construcțiilor", Arad, 1988, p. 513...522.
138. NICOLESCU, L. Canușa de termocentrală în tehnica rutieră. București, Editura Ceres, 1978.
139. NICOLESCU, L. Consolidarea și stabilizarea pământurilor. București, Editura ceres, 1981.
140. OUTIN, J. Comportement des pulvérulents routiers. În: Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 134/1987, p. 21...34.
141. PAPIU, C. V. Petrografia rocilor sedimentare. București, Editura tehnică, 1960.
142. PACCOD, G. Chaussées souples à aménagement progressif. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr.630/1986, p. 28...31.
143. PATIER, M. Cinq années des préfissuration chez SACER. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr.702/1992, p. 112...113.
144. PAUTE, I.L. și ALEXANDRE, I. Recherche sur le moyens de détermination du délai de maniabilité des graves-ciment. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr.94/1978 p. 96...110.
145. PAUTE, I.L. Maniabilité des graves-ciment. Auscultation dynamique des éprouvettes des grave-ciment. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr.77/1975, p. 77...88.
146. PAUTE, L. Les écrans de rive en réhabilitation de routes existantes. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr.167/1990, p. 96...107.
147. PAVELESCU, L. Petrografia rocilor magmatice și metamorfice. București, Editura tehnică, 1980.
148. PÂRVU, G. ș.a. Rocii utile în România. București, Editura tehnică, 1977.
149. PĂUNESCU, M., POP, V., SILION, T. Geotehnică și fundată. București, Editura didactică și pedagogică, 1982.
150. PETRONGARI, I.P. ș.a. Réalisation des chaussées. In: "Revue générale des routes et aérodromés, nr. 701/1992, p. 32...40.

151. PEBIN, J.Y. ș.a. Hédé-Tinténiac, ou la structure semi-rigide nouvelle génération. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr.691/1991, p. 111...116.
152. REQUIRAND, R. ș.a. Enduits superficiels sur géotextile. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 166/1990, p. 61...72.
153. PEYRONNE, C. Eforturi orizontale în straturile superioare ale structurilor rutiere. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 101/1978 . Traducere Catedra D.F., Timisoara.
154. POUTE, L. ș.a. Model de calcul pour le dimensionnement des chaussées souple. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées ", nr.156/1988, p. 21...31.
155. PRAT, A. ș.a. Le renforcement de la RN 124 dans Gers. Des innovation en série. In: " Revue générale des routes et des aérodromes", nr. 671/1990, p.79...83.
156. RADU, A. Ghiduri practice pentru construcția terasamentelor. București, Editura tehnică, 1991.
157. RĂDULEȚ, R. Lexicul tehnic român. București, Editura tehnică, 1964.
158. REYPPONNE, C. și CAROFF, G. Dimensionnement des chaussées. Cours de routes. Paris, L'École Nationale de Ponts et Chaussées, 1984.
159. RUBAN, M. Cours de routes. Contrôles de qualité. Paris, L'École Nationale de Ponts et Chaussées", 1987.
160. SAINTON, A. Procédé Flexocim de double traitement à froid des matériaux au ciment et a l'émulsion de bitum. In: "Revue générale des routes et des aérodromes, nr.702/1992, p. 75...77.
161. SCHEIN, T. ș.a. Straturi de formă din pământuri stabilizate cu lianți puzzolanici. In: "A 7-a Constrăuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri", vol.1, Pitesti, 1986, p. 389...400.
162. SIFFERT, M. ș.a. Évolution du trafic lourd et application au dimensionnement structurel des chaussées. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 154/1988, p. 73...83.
163. SIFFERT, M. Vérification des méthodes de dimensionnement des chaussées. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr.153/1988, p. 37...46.
164. SPILLEMAECKER, P.M. și PUIG, I. Lutte antifissures. Dispositif antirémontée de fissures. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr. 685/1991, p. 38...41.
165. STELEA, L., BELC, F., BAILESCU, D. Tratamente bituminoase armate cu geotextile. In: "A 8-a Conferință pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri", Cluj - Napoca, 1990, p. 327.
166. STRUNGĂ, V. ș.a. Cercetări pentru realizarea în țară poastră a geogrilelor. In: "A 8-a Conferință pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri", Cluj - Napoca, 1990, p. 116...121.

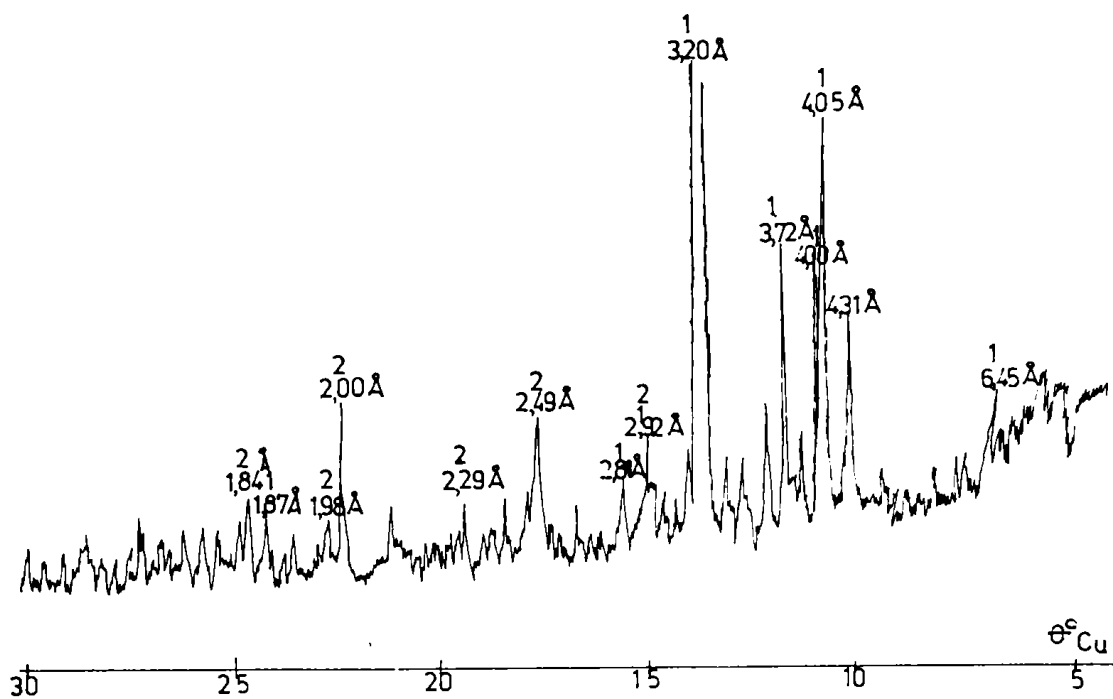
167. STRUNGĂ, V. și TURCU, M. Rezistența la biodeteriorare, durabilitatea și comportarea în lucrări a geotextilelor și geogrilelor. In: "A 7-a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri", vol. 1, Pitești, 1986, p. 30...41.
168. THIRRIOT, B. Lutte antifissures. Filaflex sur chaussées en béton. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr. 685/1991, p. 36...37.
169. TINTURIER, M. Observation des pouzzolanes au microscope électronique à balayage. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 92/1977, p. 69...79.
170. TIXER, R. Etude mineralogique du mélange cendre volantes - chaux - fines. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 158/1988, p. 69...79.
171. TOADER, D. N. Cercetarea materialelor folosite în construcții rutiere prin metode termice de analiză. In: "Sesiunea de comunicări științifice a ICPTT București", 1975, p. 232...244.
172. TURCU, M., FODOR, G., PINTEA, C., GIUȘCĂ, G. Folosirea zgurilor de furnal înalt la construcția drumurilor din țara noastră. In: "Sesiunea de comunicări științifice a ICPTT București", 1973, p. 231...350.
173. TURCU, M. Considerații privind utilizarea cenușilor de termocentrală din România în construcția drumurilor. I.C.P.T.T. București, 1987.
174. UDVARDY, L. și MICU, A. Propuneri pentru o metodologie de evaluare a eficienței soluțiilor de construcție și întreținere a drumurilor. Aplicație informatică. In: "Soluții eficiente în construcția și întreținerea drumurilor și podurilor", Cluj - Napoca, 1987, p. 144...153.
175. UDVARDY, L. și BELC, F. Étude des routes d'entretien des routes selon leur état technique. A 6-a Conferință de drumuri de la Budapesta, 1988, p. 251...259.
176. VAURITIN, J. și RAY, N. Recommandation sur le chaussées semi-rigides. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr. 632/1986, p. 86...95.
177. VECOVEN, I. Machine d'essai des membranes antifissures pour chaussées semi-rigides. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr. 680/1990, p. 19...21.
178. VICQ, A. Traitement des graves et sables au laitier granulés. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 66/1973, p. 141...152.
179. VIVIER, M. ș.a. Lutte antifissures. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr. 685/1991, p. 29...41.
180. VIVIER, M. Flexiplast, un nouveau système antifissures. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr. 680/1990, p. 79...82.
181. VIVIER, M. Gripfibre, un autre façon de résoudre les problèmes de fissuration. In: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr. 702/1992, p. 54...55.

182. VOINA, N. I. Teoria și practica utilizării cenușilor de la centralele termoelectrice. București, Editura tehnică, 1981.
183. VOINOVITCH, I. și DRON, R. Action des différents activateurs sur l'hydratation du laitier granulé. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 83/1976, p. 55...58.
184. ZAROJANU, H. Drumuri. Suprastructura. Litografia I.P. Iasi, 1973.
185. YOUMACHEV, V. ș.a. Résultats des essais croisés sur pendre volantes sulfocalciques et laitieres granuléés réalisées en France et en Union Sovietique. In: Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 165/1989, p. 73...84.
186. \* \* \* Sisteme rutiere rigide. Al XVIII-lea Congres Mondial de Drumuri, Bruxelles, 1987. Traducere, Catedra D.F.I.C. Timișoara.
187. \* \* \* Concluziile raportelor generale prezentate la cel de al XVIII-lea Congres Mondial de Drumuri. Bruxelles, 1987. Traducere, Catedra D.F.I.C. Timișoara.
188. \* \* \* Instrucțiuni tehnice departamentale de proiectare și execuție a straturilor rutiere din agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici. Indicativ CD 127-83 în: "Buletinul Constructorilor", nr. 10/1983.
189. \* \* \* Sisteme rutiere noi pentru trafic redus. Manual de proiectare. Traducere din limba franceză la Catedra D.F.I.C. din Timișoara. Paris, Direcția drumurilor și a circulației rutiere, 1988.
190. \* \* \* Traitement des sables pour assises de chaussées. Journées d'information. Bordeaux, 1976.
191. \* \* \* Valorisation et élimination des déchets et sous-produits industriels et urbains. Laboratoires des Ponts et Chaussées. Journées de Bilan de l'Action de Recherche, nr. 36, Bourget, 1983.
192. \* \* \* Mode opératoire pour la caractérisation de la pouzzolanité de matériaux pouzzolaniques fins. Methode de Mesure C.R.M.F. 58/86. Centre de recherche routiôres Bruxelles, 1986.
193. \* \* \* Le laitiers de haut fourneau en construction routiôres. Special Q, 1980.
194. \* \* \* Reducerea consumului de ciment și de agregate de balastieră prin utilizarea materialelor puzzolanice ce au proprietăți puzzolanice ce au proprietăți liante în prezența unui activator. Contract de cercetare științifică al I.C.P.T.T. București, 1980.
195. \* \* \* Cercetări privind dimensionarea sistemelor rutiere și adaptarea unor metode ratiionale de calcul bazate pe parametrii determinați în condițiile țării noastre. Contract de cercetare științifică al I.C.P.T.T. București, 1969.
196. \* \* \* Asistență tehnică la executarea lucrărilor de stabilizare a agregatelor naturale cu tuful vulcanic de Mirsid. Contract de cercetare științifică al I.C.P.T.T. București, 1982.

197. \*\*\* Directive pour la réalisation des assises de chaussées en graves traitées aux liants hydraulique. Ministère des Transports Franta, iunie 1983.
198. \*\*\* Note d'information: "Techniques pour la remontée des fissures à la surface des chaussées semi-rigides. nr.57/1990. SETRA Paris, Franța.
199. \*\*\* Note d'information: "Règles de l'art pour limiter la fissuration de retrait, nr. 55/1990. SETRA Paris, Franța.
200. \*\*\* Note d'information: "Evolution de la techniques de scellement de fissures sur chaussées, nr.15/1985. SETRA Paris, Franța.
201. \*\*\* Fissuration de retrait de chaussées à assises traitées aux liants hydraulique. In: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr.156/1988, p. 37...66 si nr.157/1980, p. 59...87.
202. \*\*\* Cercetari privind dimensionarea sistemelor rutiere si adoptarea unor metode rationale de calcul bazate pe parametrii determinati in conditiile tarii noastre. Contract ICPTT Bucuresti, 1969.
203. \*\*\* Rapport général, question 3 : "Exploitation et gestion", 19 Congrès Mondial de la Route, Marrakech, 1991.
204. \*\*\* Rapport général : "Routes interurbaines", 19 Congrès Mondial de la Route, Marrakech, 1991.
205. \*\*\* Conference : "Environnement", 19 Congrès Mondial de la Route, Marrakech, 1991.
206. \*\*\* Rapport général, question 2: "Construction et entretien des chaussées". 17 Congrès Mondial de la Route, Sydney, 1983.
207. \*\*\* Rapport général, question 2: "Construction et entretien". 18 Congrès Mondial de la Route, Bruxelles, 1987.
208. \*\*\* Rapport général, question 2: "Construction et entretien". 19 Congrès Mondial de la Route, Marrakech, 1991.
209. \*\*\* Instructiuni tehnice departamentale pentru dimensionarea ranforsarilor cu strat din agregate naturale stabilizate cu lianti puzzolanici ale sistemelor rutiere nerigide, indicativ CD 152-85.
210. \*\*\* Instructiuni tehnice departamentale pentru dimensionarea ranforsarilor cu beton de ciment a sistemelor rutiere nerigide si rigide , indicativ CD 124-84.
211. \*\*\* Instructiuni tehnice departamentale privind determinarea starii tehnice a drumurilor moderne , indicativ CD 155-86.
212. \*\*\* Instructiuni tehnice departamentale pentru prevenirea si remedierea defectiunilor la imbracamintile rutiere moderne, indicativ CD 98-86.
213. \*\*\* Lucrări de drumuri. Colectia STAE-urilor in vigoare.

DIFRACTOGRAMĂ ANDEZIT VÎRFURILE  
Anticatod  $\text{CuK}\alpha$

1. Feldspați plagioclazi (oligoclazi)
2. Piroxeni (augit)





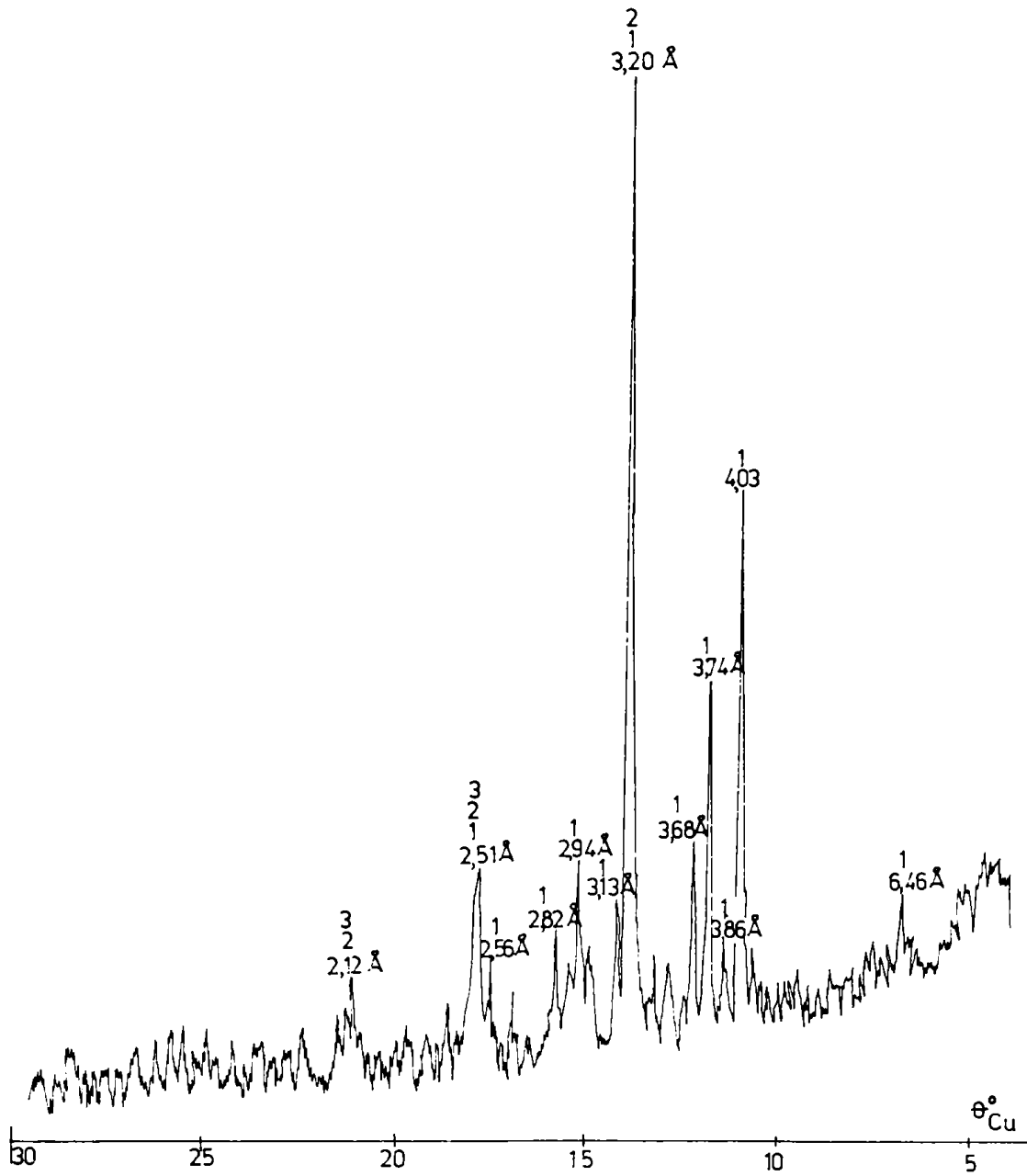
## DIFRACTOGRAMĂ BAZALT BRĂNIȘCA

Anticatod  $\text{Cu K}\alpha$ 

1. Feldspați plagioclazi

2. Piroxeni (augit)

3. Olivina

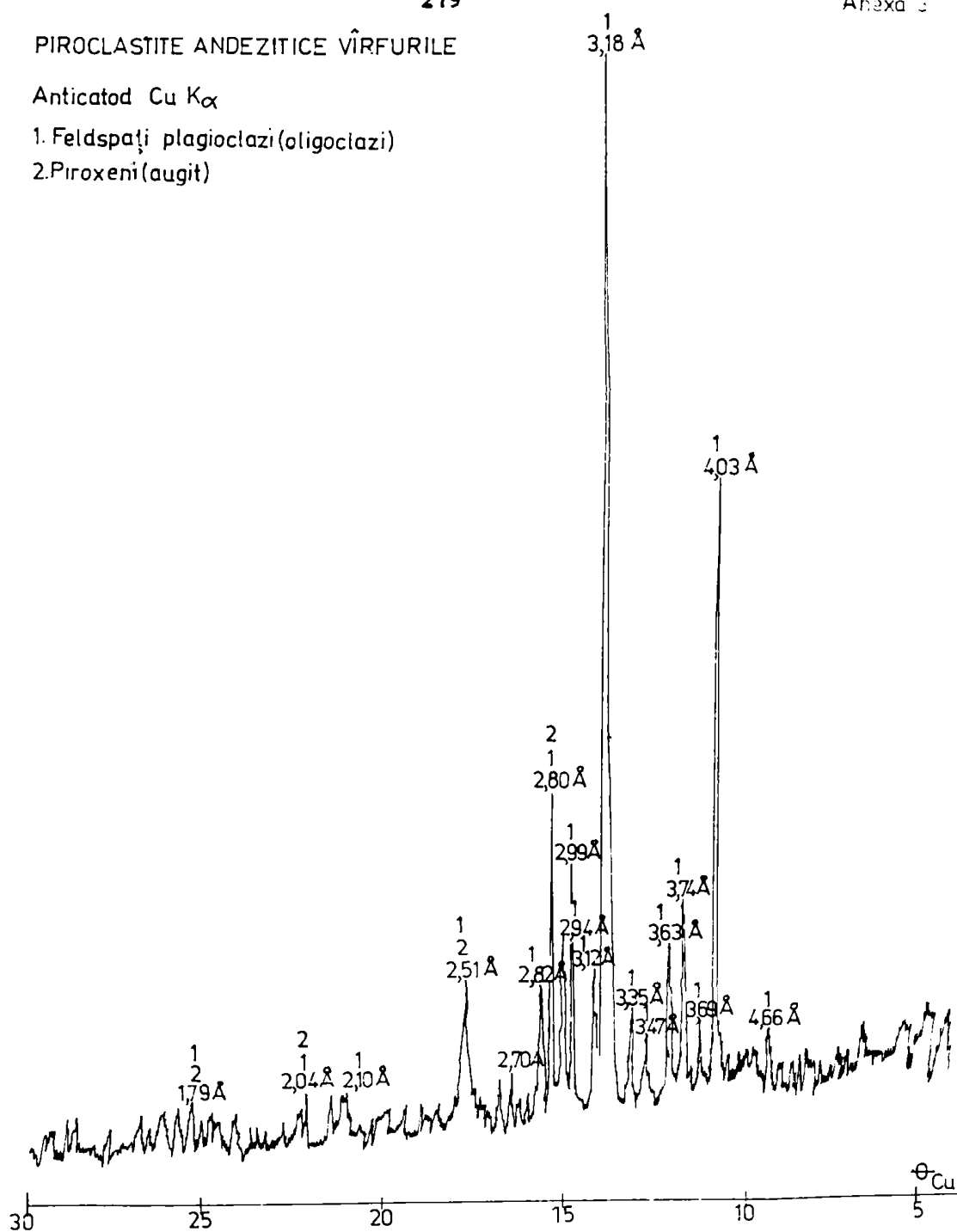


## PIROCLASTITE ANDEZITICE VÎRFURILE

Anticatod Cu  $K\alpha$ 

1. Feldspați plagioclazi (oligoclazi)

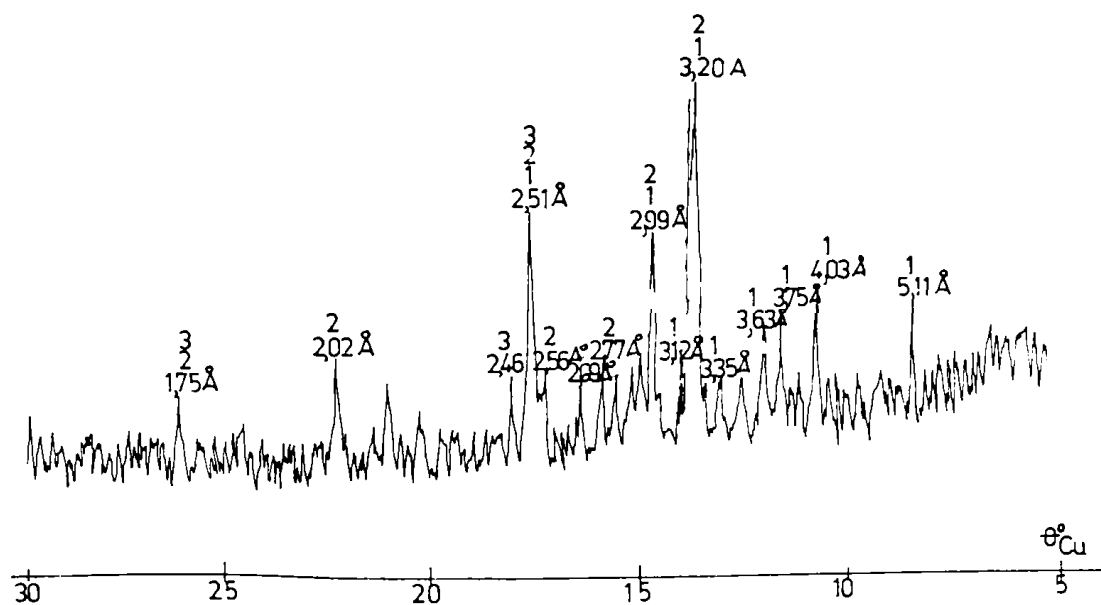
2. Piroxeni (augit)



## DIFRACTOGRAMĂ PIROCLASTITE BAZALTICE ZAM

Anticatod  $\text{CuK}\alpha$ 

1. Feldspati plagioclazi
2. Piroxeni (augit)
3. Olivina



DIFRACTOGRAMĂ PIROCLASTITE ANDEZITICE  
MINIȘUL DE SUS

Anticatod Cu K $\alpha$

1. Feldspați plagioclazi (oligoclazi)
2. Piroxeni (augit)

