

UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN TIMIȘOARA  
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII

**Contribuții la studiul, cercetarea și realizarea unor  
tehnologii eficiente pentru construcția și întreținerea  
drumurilor**

**Teză de doctorat**

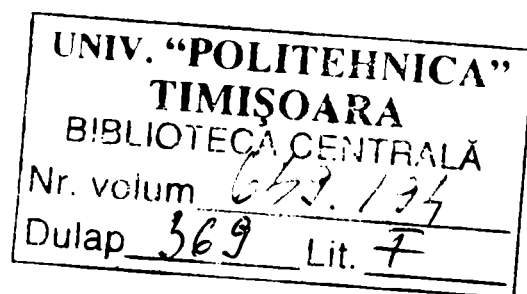
**Autor:**

**Ing. Ștefan Luca**

**Coordonator științific:**

**Prof. univ. dr. ing. Ion Costescu**

**Timișoara - 2006**



# CUPRINS

	Pagina
PREFATĂ.....	6
CAP.1. TEHNOLOGII DE REALIZARE A STRATURILOR RUTIERE DIN MATERIALE STABILIZATE .....	8
1. Rolul și locul straturilor rutiere stabilizate în alcătuirea structurilor rutiere...	8
1.1. Alcătuirea și clasificarea structurilor rutiere.....	8
1.2. Rolul straturilor rutiere.....	14
1.3. Caracteristici ale agregatelor naturale stabilizate cu ciment sau lianți puzzolanici.....	17
1.3.1. Determinarea rezistenței la rupere.....	18
1.3.2. Determinarea rezistenței la întindere.....	18
1.3.3. Determinarea sensibilității la apă.....	19
1.3.4. Determinarea pierderii de masă.....	20
1.3.5. Determinarea modulului de elasticitate.....	21
1.3.5.1.Determinarea modulului de elasticitate prin compresiune sau întindere directă.....	23
1.3.5.2.Determinarea modulului de elasticitate prin compresiune diametrală.....	27
1.3.6. Indicele de calitate elastic ICE.....	28
1.3.7. Comportarea la oboseală.....	30
1.3.8. Caracterizarea rigidității.....	31
1.3.9. Influența factorilor de compoziție asupra calității.....	33
1.4. Elaborarea dozajelor.....	34
1.4.1. Puzzolane și activatori.....	34
1.4.2. Principii privind stabilirea dozajelor optime.....	35
1.4.2.1. Proprietățile lianților puzzolanici.....	37
1.4.2.2. Stabilirea dozajelor optime.....	39
1.5. Prepararea și punerea în operă a materialelor stabilizate.....	42
1.5.1.Prepararea amestecului la fața locului.....	42

1.5.2. Prepararea amestecului în instalații fixe.....	44
1.5.3. Stabilizarea in situ a materialelor din unele straturi rutiere în exploatare.....	45
1.5.4. Compactarea straturilor rutiere din materiale stabilizate.....	47
1.6.Fisurarea din contracție.....	47
1.6.1. Factori care influențează fisurarea din contracție.....	47
1.6.1.1. Influența naturii și a dozajelor de liant.....	47
1.6.1.2. Influența naturii agregatului natural.....	48
1.6.1.3. Influența granulozității.....	49
1.6.1.4. Influența gradului de compactare.....	49
1.6.1.5. Influența umidității.....	50
1.6.1.6. Influența părților fine argiloase.....	50
1.6.1.7. Influența perioadei de punere în operă.....	50
1.6.2. Modelarea fisurării din contracție.....	51
CAP. 2. TRANSMITEREA FISURILOR ÎN ÎMBRĂCĂMINȚI RUTIERE .....	52
2.1. Considerații generale.....	52
2.2. Propagarea fisurilor din contracție prin straturile rutiere.....	54
2.3. Principiul inițierii și propagării fisurilor.....	55
2.4. Modelarea transmiterii fisurilor prin straturile bituminoase.....	57
2.5. Sisteme de prevenire a transmiterii fisurilor.....	58
2.6. Minimizarea contracției straturilor suport.....	59
2.7. Reducerea tensiunilor de întindere prin „antifisură”.....	60
2.8. Fisurarea îmbrăcăminților rutiere și combaterea fisurilor.....	66
2.9. Determinări și evaluări efectuate asupra tehnologiilor antifisuri.....	67
2.9.1. Determinări de laborator efectuate asupra complexelor antifisuri.....	69
2.9.1.1. Determinarea la contracție-încovoiere (L.R.P.C.d’Autun.....	69
2.9.1.2. „Fisuometru E.N.T.P.E./Gerland” .....	72
2.9.1.3. Încercarea de contracție la temperatură scăzută.....	75
2.9.1.4. Încercarea la smulgere.....	76
2.9.1.5. Încercarea la ornieraj.....	77

CAP. 3	PREVENIREA ȘI REMEDIEREA FISURILOR.....	77
3.1.	Generalități.....	77
3.2.	Tehnologii rutiere antifisuri.....	78
3.2.1.	Tehnologii pentru provocarea fisurilor.....	79
3.2.2.	Tehnologii rutiere antifisuri de suprafață.....	84
3.2.3.	Tehnologii rutiere antifisuri de interpunere.....	90
3.3.	Interpunerea unor mixturi asfaltice antifisuri.....	93
3.3.1.	Interpunerea unor mortare asfaltice.....	95
3.3.1.1.	Sectoare experimentale cu mortar antifisuri.....	95
3.3.1.2.	Interpunerea unui strat alcătuit din mortar asfaltic și B.A.16 cu pudretă de cauciuc.....	125
3.3.1.2.1.	Condiții generale de utilizare a mixturii asfaltice cu pudretă de cauciuc .....	125
3.3.1.2.2.	Studii de laborator pentru mixtura asfaltică cu pudretă de cauciuc.....	130
3.3.1.2.3.	Sector experimental.....	136
3.3.1.2.4.	Concluzii.....	141
3.4.	Tehnologii de interpunere bazate pe utilizarea geotextilelor.....	144
3.4.1.	Experiența actuală privind utilizarea geotextilelor.....	144
3.4.2.	Contribuții ale autorului la implementarea unor tehnologii antifisuri cu geotextile.....	146
3.4.2.1.	Geotextile sub covoare asfaltice.....	146
3.4.2.2.	Geogriile sub covoare asfaltice.....	154
CAP.4.	MIXTURI ASFALTICE ANTIFĂGAȘ.....	157
4.1.	Generalități.....	157
4.2.	Cauzele apariției fâgașelor.....	160
4.3.	Soluții privind prevenirea și remedierea fâgașelor.....	162
4.3.1.	Mixturi asfaltice antifâgaș.....	162
4.4.	Conceperea unor mixturi asfaltice antifâgaș autohtone.....	164
4.4.1.	Sectoare experimentale realizate cu mixturi asfaltice antifâgaș.....	168

4.4.2. Verificarea capacității portante a structurii rutiere ranforsate.....	171
4.4.3. Verificarea antifăgaș.....	172
4.4.4. Urmărirea comportării în exploatare a sectoarelor experimentale realizate cu mixturi asfaltice.....	173
4.4. Dispozitiv pentru asigurarea unor performanțe sporite utilajelor de așternere.....	184
5. CONCLUZII.....	187
6. BIBLIOGRAFIE.....	193

## PREFAȚĂ

VIA VITA! Vechiul dar mereu actualul dicton latin, efigia drumarilor de pretutindeni a reprezentat pentru mine un îndemn, care s-a transformat în crez, începând cu anii de liceu, continuând în facultate și în producție.

Pentru că întreaga mea activitate a însemnat drum, fie că s-a manifestat în amfiteatrele facultății, fie că mi-a călăuzit pașii în anii care au urmat, de la tânăr stagiar, până la cel de azi, cu tâmpelile încărunțite de greutate și încercările prin care am trecut în cei peste 20 de ani de constructor.

În toți acești ani în care am pus umărul la construirea, întreținerea și modernizarea drumurilor, am înțeles că pe lângă competență, spirit de răspundere, profesionalism, trebuie să pui suflet și să te dăruiești cu totul acestei munci pentru a obține rezultate de calitate și satisfacții profesionale.

Dar cu cât ești mai implicat într-o activitate, cu atât încerci să găsești noi metode, mijloace și căi de a contribui la evoluția domeniului respectiv.

Și în activitatea noastră, ca în oricare alta, este tot timpul loc de mai mult, mai bun, mai eficient.

Noutățile se succed cu repeziciune, tehnologii noi, performante își fac loc, de aceea trebuie să le cunoști, să le aplici, să le interpretezi în folosul drumului.

Drept urmare, în ultimii ani am încercat, prin specificul activității mele – exclusiv productive – să aplic rezultatele cercetărilor în domeniul rutier, în lucrările pe care le-am executat, să urmăresc comportarea acestora în timp, să valorific rezultatele la care am ajuns.

În acest sens mi-am canalizat eforturile pe studiul și experimentarea de tehnologii noi pentru construcția și întreținerea drumurilor.

În esență, teza cuprinde o descriere a acestor lucrări, având un caracter pur aplicativ pentru activitatea de cercetare, cât și în producție.

În activitatea mea de formare profesională m-am bucurat de sprijinul și încurajările unei pleiade de mari profesori, dintre care, în mod deosebit evoc amintirea celui care a

fost un dascăl minunat, un om deosebit și un eminent conducător științific, Profesorul Laurențiu Nicoară, căruia îi aduc pe această cale un pios omagiu.

De-a lungul anilor în care am lucrat pentru această teză am fost în permanență ajutat susținut și îndrumat de domnul prof. dr. ing. Ion Costescu, în fața căruia mă înclin cu respect și recunoștință.

Încurajări, sfaturi competente și sprijin am primit din partea domnului prof. dr. ing. Gheorghe Lucaci, căruia îi aduc calde mulțumiri.

Alături de mine în toți acești ani l-am simțit și m-am bazat pe întreaga susținere a domnului prof. dr. ing. Florin Belc, căruia îi mulțumesc și pot spune că a însemnat puntea între lumea producției, în care lucrez și lumea academică, spre care cu toții privim cu stimă și considerație.

Mulțumiri sincere domnului prof. dr. ing. Mihai Iliescu și domnului prof. dr. ing. Mihai Vlad care s-au aplecat cu multă bunăvoință asupra conținutului tezei, oferindu-mi cu generozitate sfaturi competente pentru finalizarea acesteia.

M-am bucurat de sprijinul conducerii Facultății de Construcții și Arhitectură Timișoara, nemijlocit al Departamentului de Inginerie Geotehnică și Căi de Comunicație Terestre, tuturor aducându-le pe această cale sincerele mele mulțumiri.

Cu deosebită considerație,

Autorul

## CAPITOLUL 1

### TEHNOLOGII DE REALIZARE A STRATURILOR RUTIERE DIN MATERIALE STABILIZATE

În tehnica rutieră s-au proiectat și experimentat straturi rutiere obținute prin tehnologii de stabilizare a materialelor locale.

Acest lucru s-a datorat în exclusivitate bunelor performanțe ale materialelor stabilizate cu lianți, folosite la realizarea straturilor din sistemul rutier, având puterea pe termen lung să suporte sarcinile din trafic și solicitările factorilor climaterici și hidrologici.

#### **1. Rolul și locul straturilor stabilizate în alcătuirea structurilor rutiere**

Straturile rutiere stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici conferă structurilor rutiere o comportare în exploatare particulară în raport cu structurile rutiere suple, pentru aceleași condiții de capacitate portantă și solicitare (factori de trafic și climaterici).

Rolul acestor straturi în influențarea comportării în exploatare a structurilor rutiere trebuie studiat și experimentat în strânsă legătură cu proprietățile acestor materiale. De asemenea trebuie efectuată corelația dintre caracteristicile straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți (hidraulici sau puzzolanici) și fenomenul de fisurare a acestora (urmare a contracției sau oboselii) în scopul realizării unor structuri rutiere corect dimensionate, bine executate și cu o comportare în exploatare corespunzătoare.

##### **1.1. Alcătuirea și clasificarea structurilor rutiere**

Structura rutieră este elementul de rezistență al drumului, fiind prevăzut și realizat pe lățimea părții carosabile și a benzilor de încadrare, alcătuit dintr-un ansamblu de straturi executate din materiale pietroase, tratate sau nu cu lianți (hidrocarbonați, hidraulici sau puzzolanici) după tehnologii adecvate și dimensionate conform unor anumite norme, având, în ansamblu o capacitate portantă stabilită în funcție de intensitatea traficului greu [84].



După modul de alcătuire și de comportare mecanică, structurile rutiere se clasifică astfel:

- structuri rutiere suple, alcătuite dintr-un ansamblu de straturi realizate din materiale necoezive stabilizate mecanic sau/și din materiale pietroase stabilizate cu lianți hidrocarbonați, îmbrăcămintea și stratul de bază fiind realizate din materiale bituminoase sau, în mod excepțional, din macadam (pietruire);

- structuri rutiere rigide, constituite dintr-un ansamblu de straturi stabilizate sau nu cu lianți peste care se realizează o îmbrăcăminte din beton de ciment;

- structuri rutiere mixte au în componență straturi din materiale pietroase, stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, care fisurează în timp datorită contracției, iar îmbrăcămintea și eventual stratul de bază sunt straturi bituminoase.

Comparând clasificarea structurilor rutiere din Franța , prezentată în fig. 1.1. cu clasificarea structurilor rutiere din România, - care ține seama de alcătuire, materialele și tehnologiile utilizate, metodele de dimensionare și comportarea în exploatare - prezentată în fig. 1.2. trebuie remarcată similitudinea de abordare și de analiză a caracteristicilor fizico-chimice și mecanice ale materialelor ce intră în componența straturilor, dar și modul de gândire și de analiză al specialiștilor români, ținând seama de necesitatea uniformizării metodologiei de dimensionare a structurilor rutiere în țările europene, o clarificare netă a soluțiilor alese pentru proiectare și execuție, cât și o definire precisă a principiilor fundamentale de alcătuire a structurilor rutiere, având în vedere evoluția concepției privind rolul diverselor straturi rutiere, permițând alcătuirea structurilor rutiere printr-o tratare unitară și modernă.

Se observă că în Franța se alege o clasificare detaliată a structurilor rutiere ținându-se cont de grosimea straturilor bituminoase și în strânsă legătură cu aceasta, transmiterea sau netransmiterea fisurilor la nivelul suprafeței de rulare.

Delimitarea structurilor rutiere cu îmbrăcăminți bituminoase în suple sau mixte, se face funcție de prezența sau absența în alcătuirea structurii rutiere cel puțin a unui strat realizat din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

În acest context, grosimea straturilor bituminoase este relativ redusă, stratul din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici având rol de strat de fundație sau strat de bază.

Straturile rutiere rezultate în urma stabilizării agregatelor naturale cu ciment sau cu lianți puzzolanici, în cazul în care lucrează ca element monolit, are o rigiditate ridicată, care crește progresiv până la o anumită vârstă și trebuie dimensionate la oboseală.

Noua tendință de interpunere a unor straturi rutiere din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici, a impus necesitatea reconsiderării criteriilor de dimensionare, facilitând apariția unui nou tip de structuri rutiere – structurile rutiere mixte.

Aceste structuri rutiere mixte au apărut ca o consecință a următoarelor realități:

- costuri scăzute ale materialelor locale, produselor de carieră sau industriale prezente în cantități suficiente în zona de amplasament a drumului, ale căror deficiențe de calitate pot fi ușor depășite prin stabilizare cu ciment sau cu lianți puzzolanici, pentru a fi utilizate în straturi rutiere;

- depozitele nevalorificate de materiale creează probleme din punct de vedere ecologic;

- aspectul economic – lianții puzzolanici sunt mai ieftini decât cei tradiționali;

- realizarea unor importante economii de materiale prin construcția unor straturi rutiere mai subțiri, dar cu o capacitate portantă ridicată [84].

Ideea care stă la baza utilizării acestor structuri rutiere mixte este aceea că straturile rutiere realizate din agregate naturale stabilizate se comportă ca un element monolit.

În țara noastră evoluția tehnicii rutiere (extinderea tehnologiilor de împiedicare a transmiterii fisurilor din straturile inferioare spre suprafața de rulare, dimensionarea straturilor bituminoase etc) și în mod deosebit faptul că un anumit criteriu de dimensionare nu este decis de grosimea unui anumit strat, ci de existența acestuia în cadrul structurii rutiere, s-a convenit alegerea unui singur tip de structură rutieră cu straturi din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici - structurile rutiere mixte.

Structura rutieră este alcătuită din următoarele straturi:

- îmbrăcămintea rutieră (strat de uzură și strat de legătură, pentru structurile rutiere suple și mixte, respectiv strat de uzură și strat de rezistență, pentru structurile rutiere rigide);

- stratul de bază;

- stratul sau straturile de fundație (strat de rezistență la structurile rutiere suple și mixte, respectiv straturile portante la structurile rutiere rigide);
- stratul sau straturile de protecție..

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 funcție de modul de alcătuire și de execuție a straturilor rutiere se rețin următoarele principii structurale:

- principiul structural al compactării: presupune ca materialul din care este alcătuit stratul rutier să aibă o granulozitate care să permită realizarea, printr-o compactare corespunzătoare, a unei densități maxime:
- principiul structural al macadamului: presupune că materialul din care este realizat stratul rutier să aibă o anumită granulozitate, care să permită încheștarea agregatelor și obținerea unei densități maxime printr-o compactare corespunzătoare;
- principiul structural al betonului, se referă la realizarea stratului rutier din agregate naturale legate între ele cu un liant care, prin întărire permite obținerea unui material cu rezistențe mecanice mari.
- principiul structural al pavajelor: se referă la realizarea stratului rutier din materiale pietroase, fasonate de diverse forme și dimensiuni, așezate pe un strat suport corespunzător, astfel încât acestea să formeze un ansamblu uniform și stabil [84].

Ca o noutate demnă de luat în seamă, evidențiindu-se prin ineditul cât și semnificația tehnică pentru domeniul rutier, în ceea ce privește asigurarea funcționării unui sistem de colectare și evacuare a apelor meteorice pe sectoare unde acest lucru poate fi rezolvat cu greutate sau cu mari cheltuieli, în literatura de specialitate a apărut noțiunea de structuri rezervor.

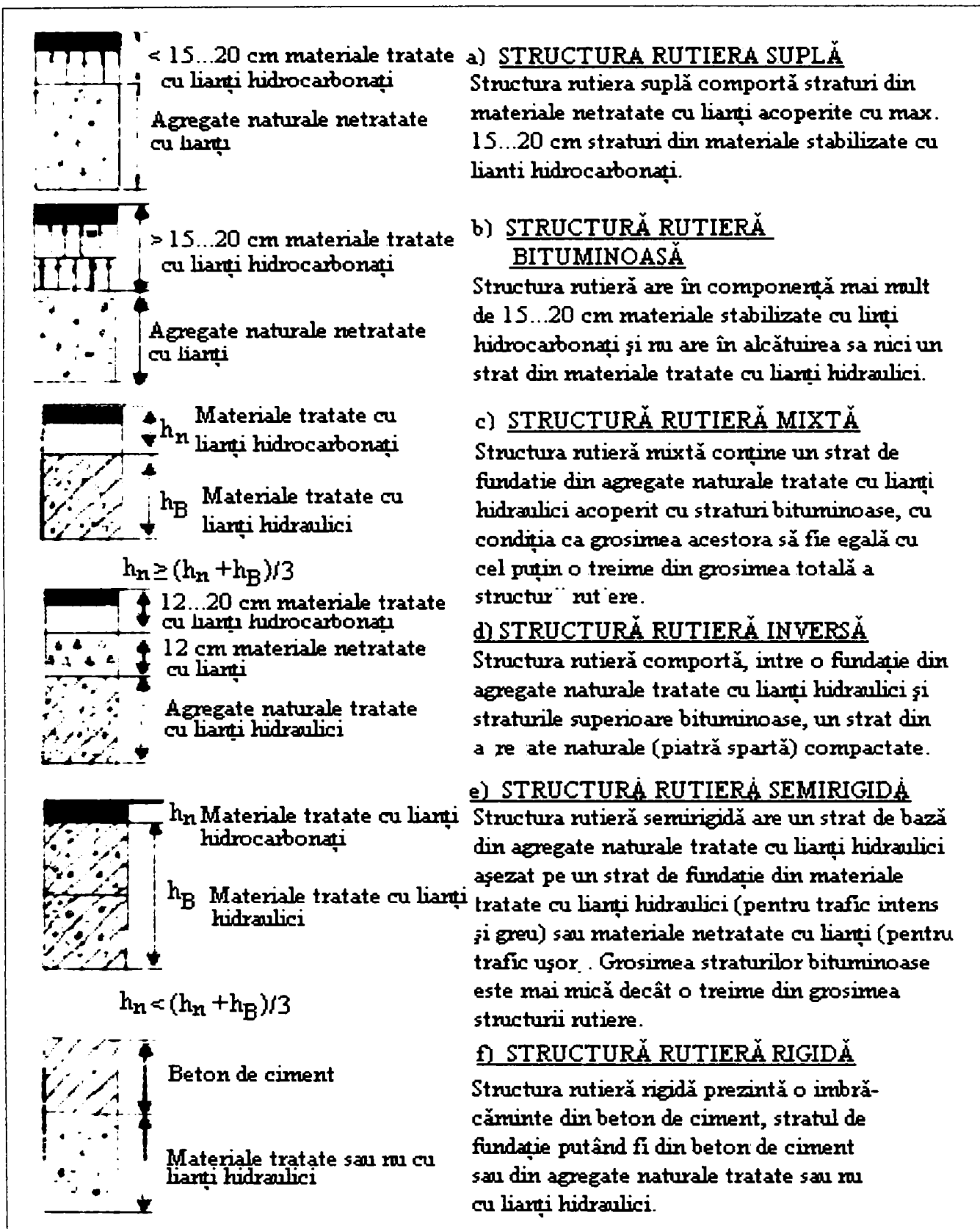


Fig. 1.1 Clasificarea structurilor rutiere (Franța).

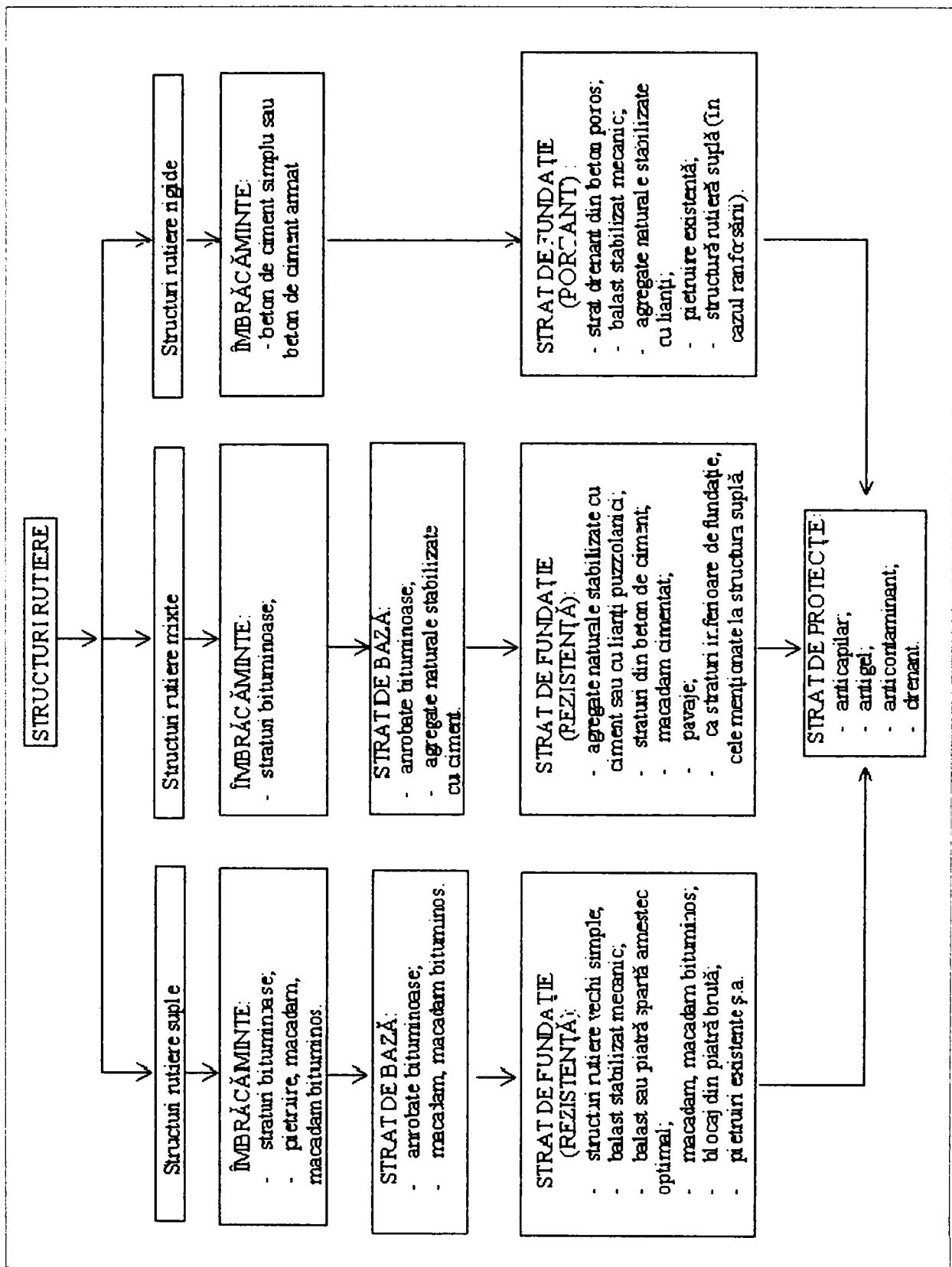


Fig. 1.2. Clasificarea structurilor rutiere (România)

Acestea asigură scurgerea controlată a apelor pluviale cu ajutorul unui rezervor tampon, stocând temporar apa înainte de a ajunge treptat în rețeaua de evacuare existentă sau de a se infiltra în sol prin intermediul drenurilor.

Această tehnică este aplicabilă în zonele urbane sau periurbane, unde nu este posibilă amenajarea bazinelor de scurgere a apelor în cazul ploilor abundente sau unde este foarte costisitoare supradimensionarea rețelei de asanare.

Un drum “rezervor” asigură o dată funcția de “drum” și de „bazin de stocaj”, iar la dimensionare este necesar să se țină seama de criteriile mecanice (natura și capacitatea portantă a terenului, trafic; se folosesc materiale cu caracteristici mecanice diferite de ale materialelor tradiționale folosite la construcția drumurilor) și criteriile hidraulice (suprafața de pe care trebuie colectată apa meteorică, inclusiv acoperișurile construcțiilor, cantitatea de precipitații atmosferice ce cade în zona considerată, debitul posibil de asigurat în rețeaua de evacuare sau infiltrație).

În fig.1.3. sunt prezentate trei tipuri de drumuri rezervor.

## **1.2. Rolul straturilor rutiere**

Straturile rutiere care alcătuiesc structura rutieră prezentată în subcapitolul 1.1, se remarcă prin anumite caracteristici care le permit îndeplinirea rolurilor specifice.

Îmbrăcămintea rutieră este situată la partea superioară a structurii rutiere alcătuită din unul sau două straturi care suportă direct acțiunea traficului rutier și a factorilor climaterici.

Îmbrăcămințile rutiere moderne sunt de tipul: îmbrăcămiți rutiere bituminoase, îmbrăcămiți rutiere din beton de ciment și îmbrăcămiți rutiere din piatră fasonată.

Stratul de uzură este stratul superior al structurii rutiere, proiectat să reziste acțiunilor tangențiale date de trafic și acțiunea factorilor climaterici. Acesta trebuie să posede o rugozitate corespunzătoare, să asigure o bună drenare a apelor din precipitații și de asemenea, să împiedice pătrunderea acestora în corpul drumului.

Stratul de legătură este stratul inferior al îmbrăcămintei bituminoase alcătuită din două straturi, făcând trecerea de la stratul de uzură la stratul de bază sau stratul superior de fundație al structurii rutiere. Rolurile principale ale stratului de legătură sunt de a

prelua o parte din eforturile unitare tangențiale și de a repartiza pe suprafețe mai mari eforturile unitare verticale datorate traficului.

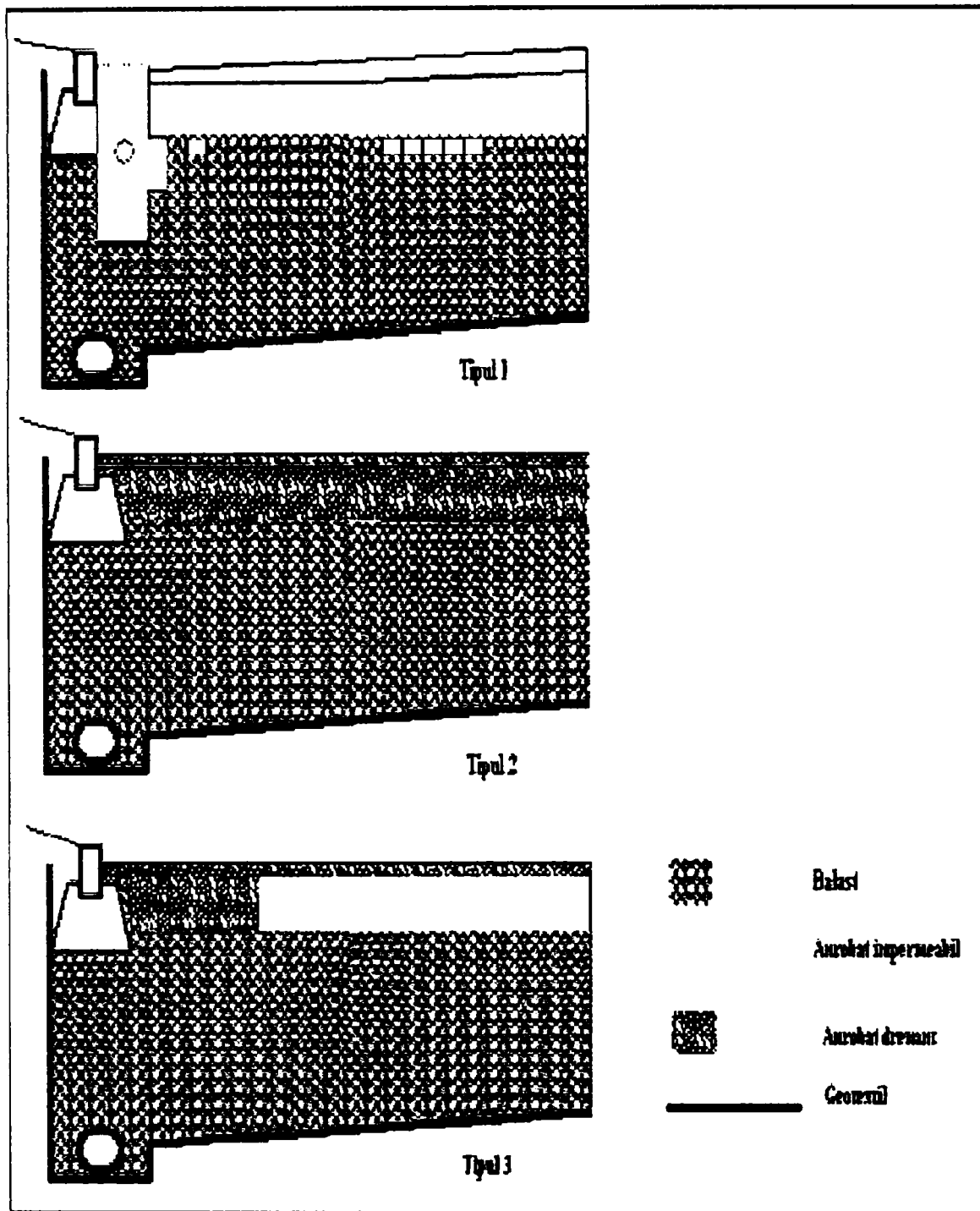


Fig.1.3. Structuri rezervor

Stratul de bază este așezat între îmbrăcămintea bituminoasă și stratul (respectiv straturile) de fundație. În general acest strat este realizat din anrobate bituminoase și are rolul de a prelua încărcările din trafic (în special eforturile unitare tangențiale și de

întindere) și de a repartiza eforturile unitare verticale pe suprafețe mai mari, transmițându-le apoi stratului inferior în limita capacității portante a acestuia.

Stratul (straturile) de fundație este situat între stratul de bază (sau îmbrăcămintea rutieră) și terenul de fundare.

În cadrul structurilor rutiere, materialele stabilizate își găsesc locul în stratul de fundație.

Straturile de fundație se realizează de regulă din:

- agregate naturale (nisip, balast, pietruiri vechi);
- balast sau piatră spartă, amestec optimal;
- piatră spartă mare, sort 63-90;
- agregate naturale stabilizate mecanic;
- agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici;
- blocaj din piatră brută;
- îmbrăcămiți rutiere vechi (macadam, macadam penetrat sau semipenetrat, îmbrăcămiți bituminoase sau din beton de ciment, pavaje).

Rolurile pe care le îndeplinește stratul de fundație sunt următoarele:

- rol de rezistență – preia eforturile unitare verticale de la stratul rutier superior, le repartizează pe suprafețe mai mari și le transmite stratului imediat inferior sau terenului de fundare, în limita capacității portante a acestora. Straturile de fundație trebuie să fie astfel realizate încât sarcinile statice sau dinamice din trafic să fie preluate în așa fel încât terenul de fundare să nu fie solicitat peste limitele admisibile. Aceste straturi trebuie să aibă o rezistență stabilă și o grosime suficientă pentru a repartiza cât mai uniform eforturile unitare verticale pe terenul de fundare;

- rol drenant – asigură drenarea și evacuarea apelor infiltrate în structura rutieră, împiedicând stagnarea acestora la nivelul patului drumului (acest rol este esențial pentru menținerea constantă a capacității portante a structurii rutiere);

- rol anticapilar – ascensiunea capilară a apelor subterane. Rolul este îndeplinit de straturi rutiere alcătuite din materiale granulare, având o grosime mai mare decât înălțimea ascensiunii capilare a apelor subterane, amplasate pe terenul de fundare;



- rol antigel – împiedică pătrunderea înghețului până la nivelul pământului din patul drumului (indicându-se utilizarea în straturile de fundație a unor materiale negelive și cu o conductibilitate termică redusă);

- rol anticontaminant (izolator) – oprește pătrunderea argilei din terenul de fundare spre straturile rutiere superioare (de rezistență) ale structurii rutiere.

Dacă unul din cele patru roluri ale straturilor de fundație nu se poate realiza, este necesar între patul drumului și primul strat de fundație un strat de protecție.

Straturile de protecție sunt situate pe pământul din patul drumului cu scopul de a proteja structura rutieră de unele efecte dăunătoare. Aceste straturi pot avea rol drenant, anticapilar, antigel și anticontaminant (funcție de condițiile locale și de necesități).

Patul drumului este suprafața amenajată a terasamentelor pe care se pune structura rutieră. Straturile din componența structurii rutiere prezintă caracteristici fizico-chimice, mecanice și de portanță diferite corespunzător materialelor din care sunt alcătuite, tehnologia folosită la execuție și de rolul pe care îl au în alcătuirea ansamblului.

### **1.3. Caracteristici ale agregatelor naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici**

Caracteristica fundamentală a structurilor rutiere mixte este dată de existența în alcătuirea lor a cel puțin unui strat realizat din agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici sau hidraulici. Aceste straturi conferă structurilor rutiere mixte o comportare în exploatare particulară în raport cu structurile rutiere suple, pentru condiții identice de capacitate portantă și solicitare.

De menționat faptul că experiența acumulată pe plan mondial și național în domeniul executării structurilor rutiere din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici este suficient de vastă pentru a permite formularea unor concluzii și propuneri.

Astfel în anul 1930 s-au executat în SUA, primele încercări de stabilizare a pământurilor cu ciment, iar după anul 1960, tehnologiile de stabilizare a agregatelor naturale cu lianți hidraulici sau puzzolanici s-au extins în Franța, - experiența românească în domeniu este veche de circa 40 ani.

Studiul asupra comportării în exploatare a structurilor rutiere mixte a dus la concluzia că acestea trebuie analizate în strânsă concordanță cu principalele proprietăți ale acestor materiale.

În același timp, trebuie efectuată legătura dintre caracteristicile straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici și fenomenul de fisurare a acestora, datorită contracției sau oboselii în scopul obținerii unor structuri rutiere corect dimensionate și cu o comportare corespunzătoare.

S-a constatat că în afara caracteristicilor fizico- mecanice, considerate frecvent la determinarea dozajului de liant (rezistența la compresiune, încercarea braziliană, stabilitatea la apă) și în cazul agregatelor naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici mai trebuie să fie cunoscute și alte caracteristici folosite la dimensionare și la caracterizarea comportării în exploatare a acestor straturi rutiere (modulul de elasticitate, legile de oboseală).

### **1.3.1. Determinarea rezistenței la compresiune**

Se face pe baza încercării epruvetelor cilindrice la compresiune perpendicular pe generatoare, cu scopul determinării forței de rupere.

$$R_c = \frac{F}{A} \quad [N/mm^2] \quad (1.3)$$

în care,

$R_c$  este rezistența la compresiune;

$F$  - forța de rupere a epruvetei, în N;

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

Pentru un amestec și aceeași vârstă, încercarea la compresiune se efectuează pe 3 epruvete și se ia ca rezultat media valorilor care nu diferă cu mai mult de  $\pm 0,2 N/mm^2$  de valoarea medie a rezistenței la compresiune.

### **1.3.2. Determinarea rezistenței la întindere**

Încercarea este facultativă și presupune încercarea unor epruvete cilindrice, identice cu cele folosite pentru determinarea rezistenței la compresiune, încercării braziliene și determinării forței de rupere.

$$R_t = \frac{2 F}{\pi dh} \quad [N/mm^2] \quad (1.4)$$

în care,

$R_t$  este rezistența la întindere, în  $N/mm^2$ ;

F - forța de rupere obținută prin încercarea epruvetei pe generatoare, în N;

d,h - diametrul și înălțimea epruvetei, în mm.

### 1.3.3. Determinarea sensibilității la apă

Analiza sensibilității la apă se folosește în cazul agregatelor naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici utilizați pentru realizarea straturilor de formă de fundație sau de bază, în cadrul încercărilor care se efectuează pentru determinarea conținutului optim de liant.

Sensibilitatea la apă se apreciază pe baza determinării scăderii rezistenței la compresiune, a umflării volumice și a absorbției de apă a epruvetelor imersate timp de 7 zile, după împlinirea vârstei de 7 zile (în cazul agregatelor naturale stabilizate cu ciment) sau de 21 de zile ( în cazul agregatelor stabilizate cu lianți puzzolanici).

-Scăderea rezistenței la compresiune, se calculează cu relația:

$$\Delta R_c = \frac{R_{c14(28)} - R_{c7(21)+7im}}{R_{c14(28)}} \times 100 \quad [\%] \quad (1.5)$$

în care

$\Delta R_c$  este scăderea rezistenței la compresiune, în %;

$R_{c14(28)}$  - rezistența la compresiune a epruvetelor la 14 sau 28 zile în  $N/mm^2$

$R_{c7(21)+7im}$  - rezistența la compresiune a epruvetelor la 7 sau 21 zile și după 7 zile imersare în apă, în  $N/mm^2$ .

-Umflarea volumică se calculează cu relația:

$$U = \frac{V_{7(21)+7IM} - V_{7(21)}}{V_{7(21)}} \times 100 \quad [\%] \quad (1.6)$$

În care:

$V_{7(21)}$  este volumul epruvetelor la vârsta de 7 zile sau 21 zile, în  $cm^3$ ;

$V_{7(21)+7IM}$  - volumul epruvetelor la vârsta de 7 sau 21 zile și după 7 zile imersare în apă, în  $cm^3$ .

-Absorbția de apă se calculează cu relația:

$$A = \frac{m_{7(21)+7im} - m_{7(21)}}{m_{7(21)}} \times 100 \quad [\%] \quad (1.7)$$

În care:

$m_{7(21)+7im}$  este masa epruvetelor la vârsta de 7 zile sau 21 zile și după 7 zile imersare în apă, în g;

$m_{7(21)}$  - masa epruvetelor la vârsta de 7 zile sau 21 zile, în g.

Încercările de mai sus se efectuează pe trei epruvete și se ia în considerare media lor, abaterile admise fiind de  $\pm 0,5\%$ .

#### 1.3.4. Determinarea pierderii de masă

Pierderea de masă se determină pentru agregate stabilizate cu ciment folosite la realizarea straturilor de fundație sau de bază. Încercarea presupune supunerea epruvetelor cilindrice la 14 cicluri de îngheț-dezgheț sau de saturare-uscarea, după o vârstă de 7 zile în primul caz și de 14 zile (13 zile în mediu umed și o zi imersare în apă) în al doilea caz.

Un ciclu de saturare - uscarea, presupune:

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

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

Un ciclu de îngheț – dezgheț presupune:

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

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

Pe parcursul celor două cicluri, epruvetele sunt examinate vizual, în vederea constatării numărului de cicluri după care au apărut degradări.

După efectuarea ciclurilor de saturare-uscarea sau de îngheț-dezgheț, epruvetele se șterg ușor cu o cârpă umedă, se îndepărtează părțile degradate și se cântăresc.

Pierderea de masă, în urma ciclurilor de saturare – uscarea se determină cu relația:

$$P_m = \frac{m_7 - m_{14v\Delta u}}{m_7} \times 100 \quad [\%] \quad (1.8)$$

În care.

$P_m$  este pierderea de masă în urma ciclurilor de saturare-uscare;

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

$m_{14c\Delta u}$  - masa epruvetelor după 14 cicluri de saturare-uscare și după pierdere în g;

Pierderea de masă în urma ciclurilor de îngheț-dezgheț, se determină cu relația:

$$P_{id} = \frac{m_{13+im} - m_{14cid}}{m_{13+im}} \times 100 \quad [\%] \quad (1.9)$$

în care:

$P_{id}$  este pierderea de masă în urma ciclurilor de îngheț-dezgheț;

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

$m_{14cid}$  - masa epruvetelor după 14 cicluri îngheț- dezgheț și după periere.

Pierderile de masă prin saturare-uscare sau prin îngheț-dezgheț se determină pe trei epruvete și se ia ca rezultat media lor, abaterea admisibilă față de valoarea medie fiind de  $\pm 0,5 \%$

### 1.3.5. Determinarea modului de elasticitate

Starea de eforturi și de deformație într-un strat rutier din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, care face parte dintr-o structură rutieră supusă solicitărilor din trafic este specifică încovoierii sale. (fig 2.1)

Efortul unitar de întindere maxim ( $\sigma_t$ ), apare în punctul A, la interfața dintre stratul respectiv și stratul inferior, și atât timp cât rămâne inferior efortului unitar de rupere din încovoiere ( $R_t$ ), stratul rutier rezistă; în caz contrar acesta rupându-se.

În cazul a două straturi care lucrează cu legătură perfectă la interfață, starea de eforturi poate fi considerată identică cu cea din fig. 2.1 dacă straturile rutiere de agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici lucrează fără legături la interfață, atunci starea de eforturi în acestea este aproximativ prezentată în fig. 2.2 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  $R_{t2}$ ).

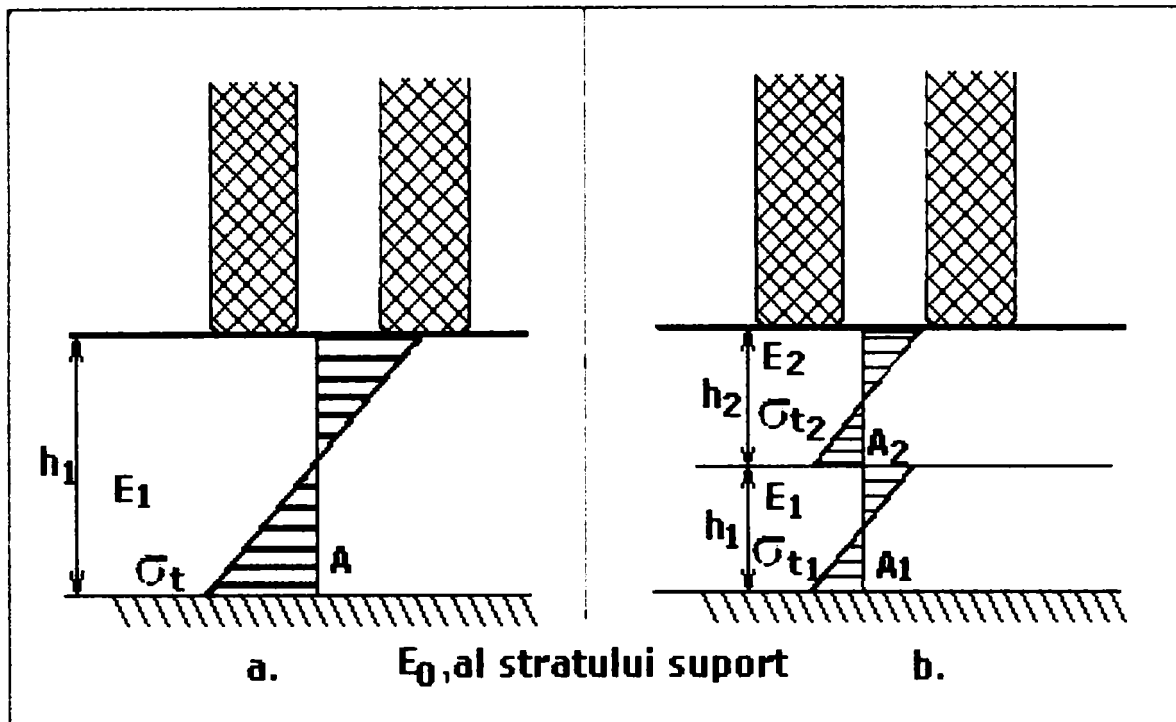


Fig 1.3. Starea de eforturi într-un strat rutier din agregate naturale stabilizate.

Fig. 1.4. Starea de eforturi în cazul a două straturi din agregate naturale stabilizate.

Pentru o stare de solicitare dată, eforturile unitare din straturile rutiere sunt determinate de modulul de elasticitate al materialului respectiv.

Pentru definirea rigidității materialului, la prima încărcare, trebuie cunoscute caracteristicile: modulul de elasticitate ( $E$ ) și rezistența la rupere prin încovoiere ( $R_t$ ).

Se observă că stabilirea numai a rezistențelor la compresiune a materialului ( $R_c$ ) nu este suficientă pentru definirea comportării sale, fiind necesare și încercări pentru obținerea caracteristicilor elastice ale materialelor stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

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

- la întindere prin încovoiere;
- la compresiune;
- la întindere directă;

- la compresiune diametrală.

Determinarea valorilor ( $E$ ,  $R_t$ ) prin încercarea de întindere prin încovoiere este cea mai indicată, deoarece ține seama cel mai bine de comportarea reală a materialului; cu toate acestea este cea mai puțin utilizată în prezent, datorită dificultăților legate de prepararea epruvetelor prismatice din materiale compozite și de efectuarea determinării.

### 1.3.5.1. Determinarea modului de elasticitate prin compresiune sau întindere directă

Pentru determinarea modului de elasticitate în aceste situații, forma și dimensiunile epruvetelor utilizate, trebuie să fie astfel alese, încât în partea centrală a acestora eforturile unitare să fie uniform distribuite.

Literatura de specialitate recomandă utilizarea următoarelor tipuri de epruvete:

- pentru compresiune: epruvete cilindrice cu diametrul de 160 mm și înălțimea de 320 mm;
- pentru întindere: epruvete cilindrice cu partea centrală îngustată pentru a se evita ruperea la capetele epruvetei.

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 1.5. și fig. 1.6.)

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 daN/cm<sup>2</sup>/s pentru încercarea de întindere și de 1,0 daN/cm<sup>2</sup>/s pentru încercarea de compresiune.

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).

Modulul de elasticitate se determină cu formula:

$$E = \frac{\sigma_t}{\varepsilon} \quad [daN/cm^2] \quad (1.10)$$

în care:

$E$  este modulul de elasticitate al materialului analizat la o anumită vârstă, în  $\text{daN/cm}^2$ ;

$\sigma_t$  - efortul unitar maxim, până la care se respectă proporționalitatea cu deformațiile relative, în  $\text{daN/cm}^2$ ;

$\varepsilon$  - deformația relativă corespunzătoare efortului unitar  $\sigma_t$ , determinat cu relația următoare;

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (1.11)$$

în care:

$l$  este distanța dintre cele două inele fixate pe epruvete, în mm;

$\Delta l$  - alungirea, respectiv scurtarea epruvetei în momentul alungirii, a efortului unitar  $\sigma_t$ , în mm.

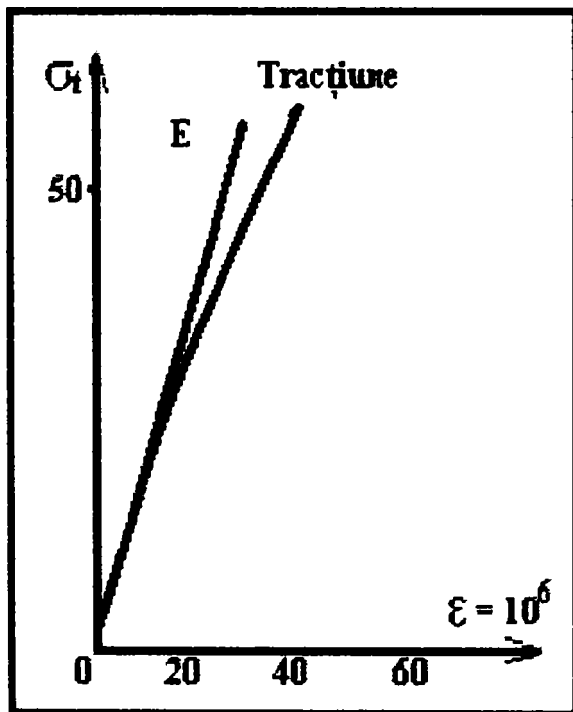


Fig. 1.5. Alura curbei efort unitar-deformație relativă pentru încercarea la întindere.

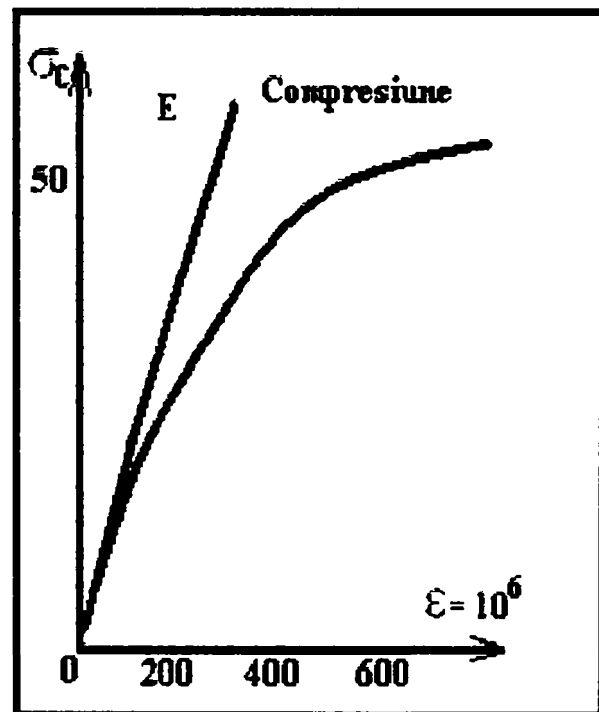


Fig. 1.6. Alura curbei efort unitar-deformație relativă pentru încercarea la compresiune.



În general, modulii de elasticitate ai agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici variază în limite largi, funcție de tipul materialului încercat și de timpul scurs de la preparare (fig. 1.7 și fig. 1.8). Modulii de elasticitate ai acestor materiale au valori cuprinse între 20 000 ...400 000 daN/cm<sup>2</sup>.

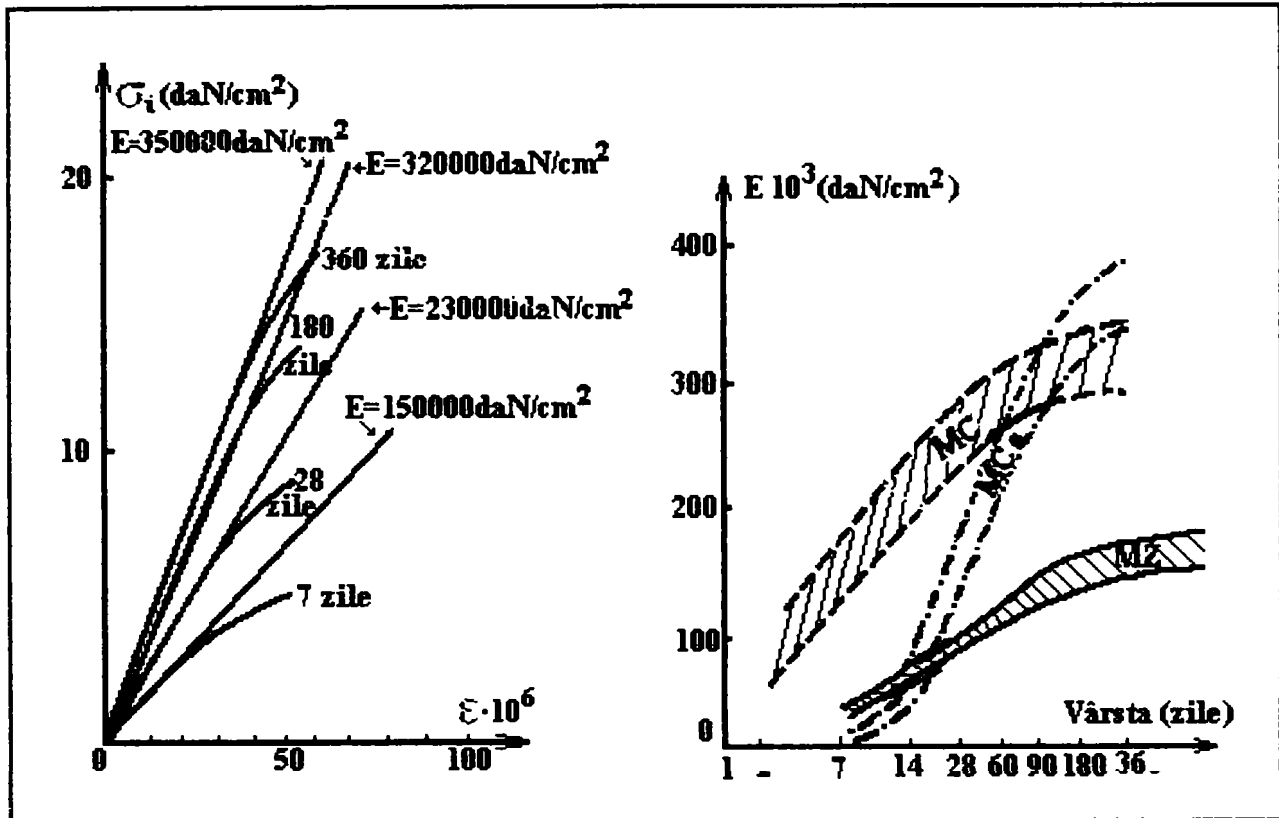


Fig 1.7. Evoluția curbei efort unitar-deformație relativă pentru agregate naturale stabilizate cu ciment funcție de vârstă .

Fig. 1.8. Evoluția modului de elasticitate pentru materiale stabilizate cu ciment(MC),zgură (MZ) și cenușă (MCs) funcție de vârstă.

Alura mai liniară a curbelor efort unitar – deformație relativă pentru agregatele naturale stabilizate cu ciment atestă o comportare mai apropiată de stadiul elastic al acestor materiale în raport cu agregatele naturale stabilizate cu lianți puzzolanici.

În concluzie, se poate afirma că agregatele naturale stabilizate cu ciment au o rigiditate mai mare decât a materialelor stabilizate cu lianți puzzolanici, excepție făcând doar cenușile de termocentrală calcice, care la vârste mari, conduc la obținerea unor moduli de elasticitate mai mari. ( fig. 1.9 și fig. 1.10).

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

- raportul dintre modulul de elasticitate al stratului din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici și modulul de elasticitate al stratului suport (de regulă din agregate naturale nestabilizate 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 sunt foarte mici;

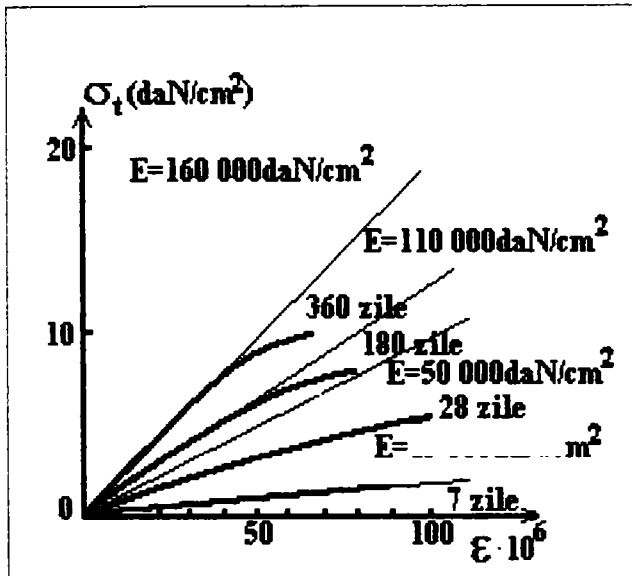


Fig.1.9. Evoluția curbei efort unitar-deformație relativă pentru agregate naturale stabilizate cu zgură funcție de vârstă.

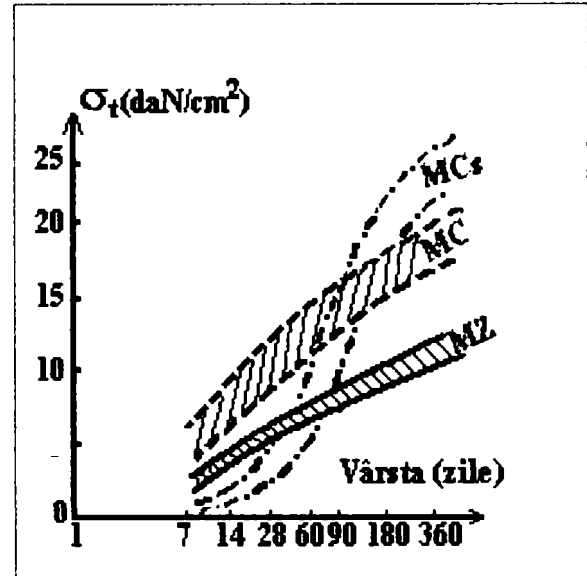


Fig.1.10. Evoluția rezistenței la întindere cu vârsta pentru materiale stabilizate cu ciment (MC), zgură (MZ) și cenușă (MCs).

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

- modulii de elasticitate ai acestor materiale sunt superiori celor ai mixturilor 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 stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, decât în cazul unor grosimi mari. Straturile superioare din mixturi asfaltice sunt însă deosebit de importante pentru preluarea eforturilor orizontale;

- întărirea rapidă și rigiditatea mare la vârste mici a straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici (ciment) nu permite 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.

### **1.3.5.2. Determinarea modului de elasticitate prin compresiune diametrală**

Această metodă este utilizată frecvent pentru agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Ea nu permite însă, decât determinarea uneia dintre valorile  $E$  și  $R_t$  care sunt necesare pentru analizarea comportării elastice a materialului.

Încercarea se realizează cu o presă specială care permite aplicarea unor forțe de max. 50 kN și înregistrarea automată a forței de rupere.

În acest caz, calculul rezistenței la întindere ( $R_t$ ), se realizează cu ajutorul relației de mai jos, iar modulul de elasticitate ( $E$ ) se obține prin relația următoare:

$$E = k \frac{f}{\Delta d} \quad [daN / cm^2] \quad (1.12)$$

unde,

$f$  este forța aplicată pe unitatea de lungime a generatoarei, în daN/cm;

$\Delta d$  - alungirea diametrului epruvetei până 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:

$$k = (1 + \mu) \times \frac{(4 - \pi) + 2(\pi - 2)\mu}{\pi} \quad (1.13)$$

Valorile modurilor de elasticitate obținuți prin această metodă sunt comparabile cu cele obținute prin metodele de încercare descrise anterior.

### 1.3.6. Indicele de calitate elastic ICE

Diferențierea calitativă a straturilor din materiale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se poate efectua prin așa numitul indice de calitate elastic.

Indicele de calitate elastic al unui material este exprimat prin grosimea stratului realizat din acel material, care, executat pe un strat tip ( $E = 1\ 000\ \text{daN/cm}^2$ ) permite trecerea a  $10^6$  osii de  $130\ \text{kN}$  și caracterizarea globală a comportării elastice a materialelor obținute prin stabilizarea agregatelor naturale cu lianți hidraulici sau puzzolanici, funcție de cele două caracteristici care o definesc,  $E$  și  $R_t$ . calculul se realizează în ipoteza sistemului bistrat și conduce la diagrama din figura 1.11.

Trebuie menționat faptul că pentru compararea calității a două materiale diferite se va lua în considerare și vârsta (indicele de calitate micșorându-se o dată cu vârsta).

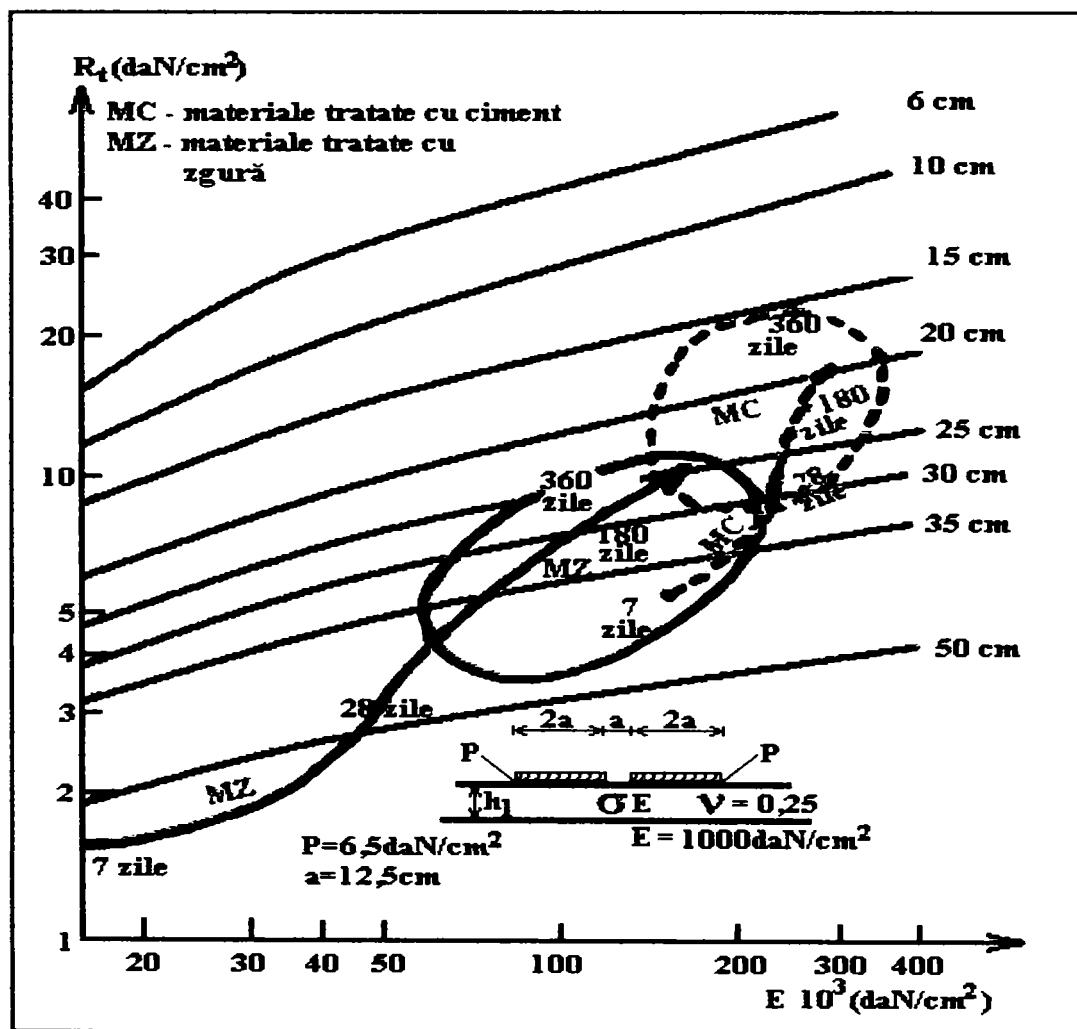


Fig.1.11 Diagrama pentru determinarea indicelui de calitate elastic.

Studiul asupra valorii indicelui de calitate clasic conduce la următoarele observații:

- materialele obținute prin stabilizarea agregatelor naturale cu lianți hidraulici sau puzzolanici sunt cu atât mai performante cu cât ICE este mai mic. Se remarcă o superioritate a performanțelor obținute atunci când se utilizează ca liant cimentul, în raport cu zgura granulată (fig 1.12.);

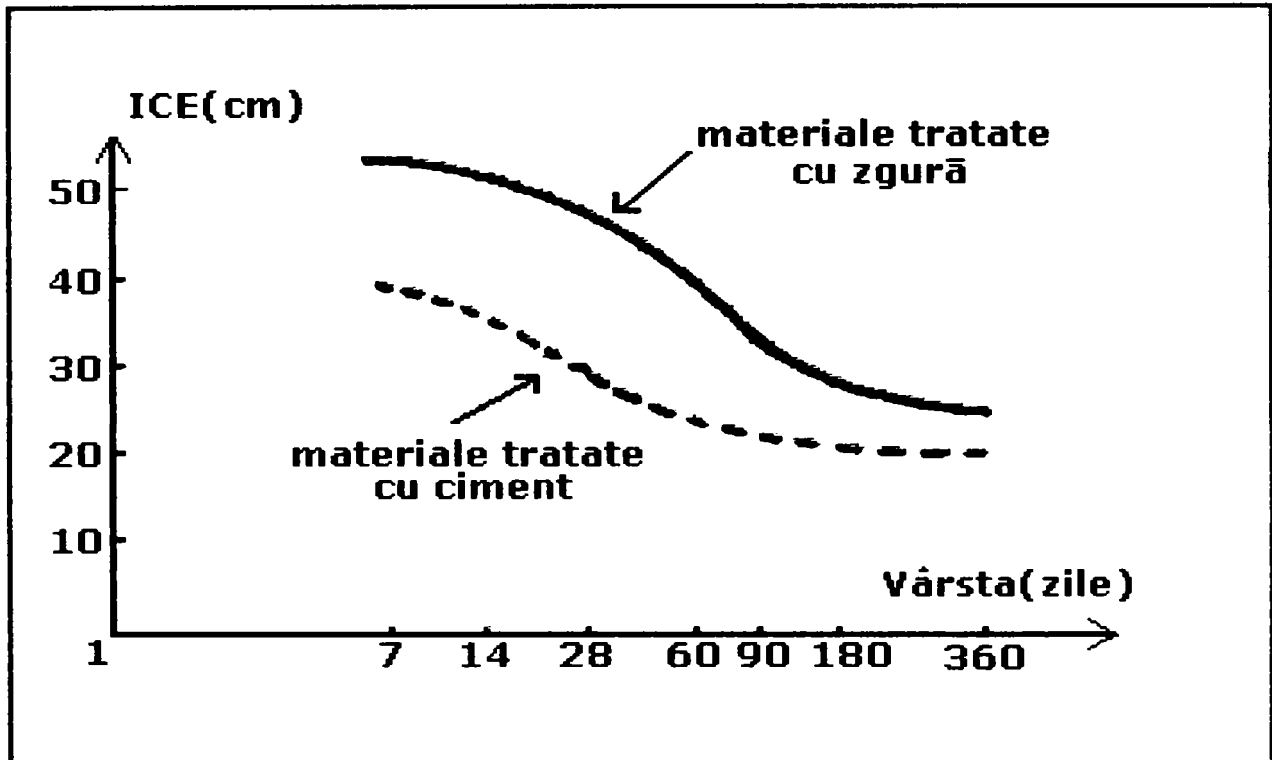


Fig. 1.12 Variația indicelui de calitate elastic în funcție de vârsta materialului.

- pentru două materiale cu aceeași rezistență la întindere, cel mai performant este cel cu modulul de elasticitate (E) mai mic;

- pentru două materiale care au același modul de elasticitate (E), cel mai performant este acela care are rezistența la întindere ( $R_t$ ) mai mare.

Pentru a realiza o capacitate portantă ridicată pentru straturile rutiere din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici este interesantă soluția obținerii unor materiale cu moduli de elasticitate reduși și rezistențe la întindere ridicate, ceea ce este dificil prin utilizarea lianților clasici.

### 1.3.7. Comportarea la oboseală

Având în vedere că în exploatare, structurile rutiere sunt supuse unor solicitări dinamice repetate, pentru determinarea calității agregatelor naturale se pune problema cunoașterii comportării la sarcini repetate a agregatelor naturale.

Comportarea la sarcini repetate a unui material se determină prin tratarea curbelor de oboseală ale acestuia cu aparate de laborator specifice și în condiții de încercare bine determinate. Există două tipuri de curbe la oboseală:

- legi de oboseală obținute prin păstrarea constantă a efortului unitar ( $\sigma$ ) în epruvetă pe tot parcursul încercării;
- legi de oboseală obținute pentru păstrarea constantă a deformației relative ( $\varepsilon$ ) a epruvetei pe tot parcursul încercării.

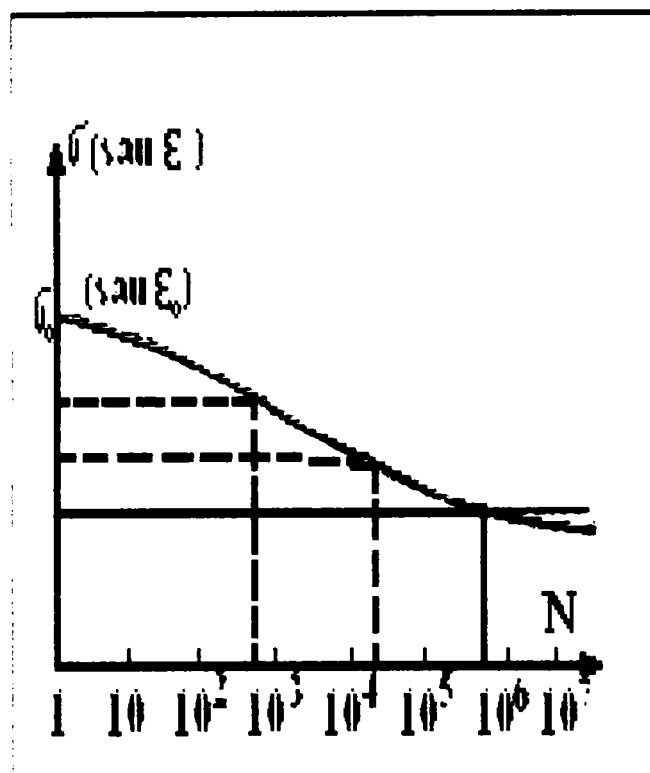
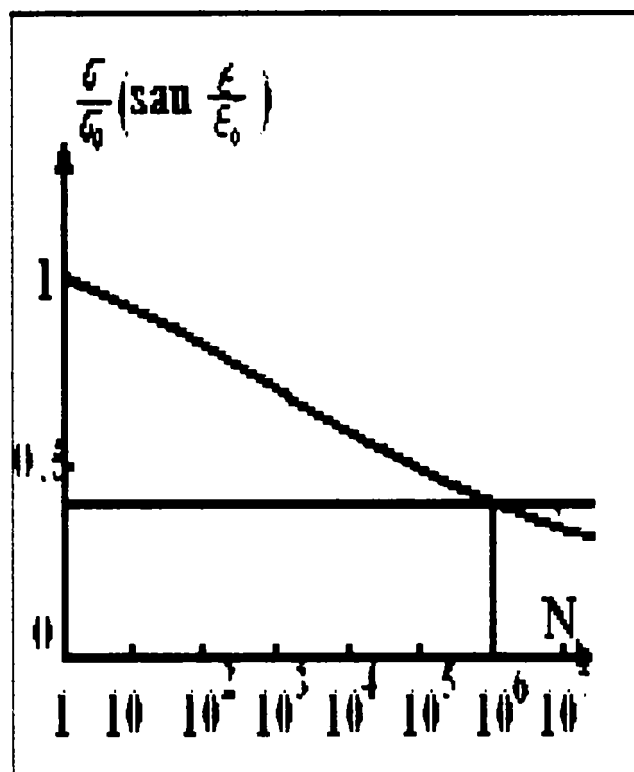
Legile de oboseală sunt curbe de forma : $\sigma = f(N)$ ;  $\varepsilon = g(N)$ , fig. 1.13.

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = f'(N) \quad (1.14)$$

sau

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = g'(N) \quad (1.15)$$

Curbele  $\sigma = f(N)$  dau direct mărimea efortului unitar care produce ruperea materialului după un număr impus de solicitări, în timp ce curbele  $\sigma/\sigma_0=f'(N)$  permit menținerea influenței creșterii numărului de solicitări asupra propagării fisurilor în material.

Fig. 1.13 Curba de oboseală  $\sigma = f(N)$ .Fig. 1.14 Curba de oboseală  $\sigma/\sigma_0 = f(N)$ .

### 1.3.8. Caracterizarea rigidității

În urma solicitării la oboseală, sub efectul sarcinilor repetate, apar de asemenea, fisuri în material care se propagă ulterior, având ca efect o anumită pierdere a rigidității materialului. Aceasta se poate observa prin creșterea deformațiilor (deci micșorarea modului de elasticitate)

În fig. 1.15 se prezintă evoluția deformațiilor în funcție de numărul de cicluri de încărcare, pentru agregatele naturale stabilizate cu ciment, respectiv cu zgura granulată și se disting trei zone:

- până la  $5 \times 10^4$  cicluri, deformația relativă crește foarte repede, cu circa 2...10 % pentru agregate naturale stabilizate cu ciment și cu circa 15...25 %, pentru cele stabilizate cu zgură granulată;

- propagarea fisurilor (intervalul  $5 \times 10^4$ ... $9 \times 10^5$  cicluri) specifică durata de exploatare a materialului, deformația relativă rămâne aproape constantă în cazul agregatelor naturale stabilizate cu ciment, în timp ce pentru cele stabilizate cu zgură

granulată creșterea deformației relative este mai importantă. Variațiile deformațiilor relative indică propagarea fisurilor cu viteze mici;

-ultima fază de la  $9 \times 10^5$  cicluri înainte de rupere, se ating valori critice pentru densitatea fisurilor după care formarea fisurilor se face rapid până la rupere.

În urma analizării comportării la oboseală se rețin următoarele:

- legile de oboseală au o variație liniară (aproape orizontală) ce denotă ca o ușoară diminuare a efortului unitar efectiv dintr-un strat rutier, ca urmare a unei supradimensionări, duce la creșterea foarte mare a numărului de solicitări până la rupere, deci a duratei de exploatare, (fig. 1.15.). adică o reducere a efortului unitar cu 15...20% conduce la creșterea duratei de exploatare teoretică de la  $10^6$  la  $10^7$  cicluri, sau creșterea grosimii stratului rutier cu 10% conduce la mărirea de 5 ori a duratei de exploatare a acestuia;

- legile de oboseală atestă că o mică subdimensionare sau o mică creștere a solicitărilor peste limita prevăzută, care are ca efect o sporire mică a efortului unitar efectiv. Astfel, o reducere 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 până la rupere cu 100.

- între efortul unitar efectiv obținut pentru solicitările caracterizând 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 sunt apropiate. Se poate reține că adaptarea grosimii straturilor din agregate naturale stabilizate 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 stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici cresc în timpul încercării la oboseală, dar rămân la valori reduse până în momentul ruperii, fapt care demonstrează încă o dată sensibilitatea acestor materiale la suprasarcini sau subdimensionare.



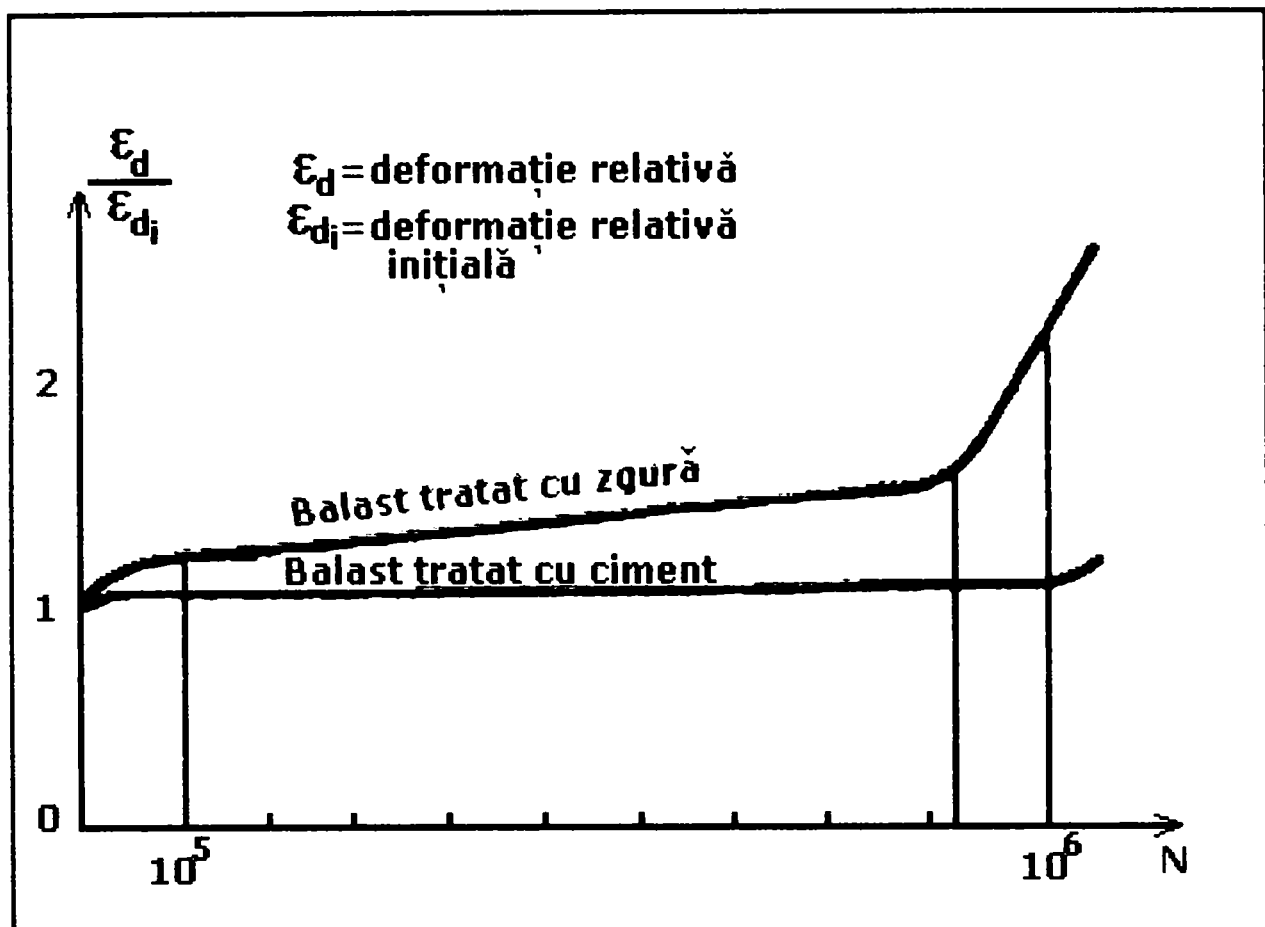


Fig. 1.15 Evoluția deformației relative în timpul încercării la oboseală.

### 1.3.9. Influența factorilor de compoziție asupra calității

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

- dozajul de ciment, care odată cu creșterea sa conduce la îmbunătățirea, aproape în raport de proporționalitate, a rezistențelor mecanice. Fenomenul se manifestă mai bine în cazul cimentului, deoarece în cazul lianților puzzolanici, depășirea unor limite, conduce la scăderea pronunțată a rezistențelor mecanice datorită umflării;

- dozajul de apă: are o influență foarte mare asupra rezistențelor mecanice ale agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Astfel, pentru stabilizările cu ciment, dozajul de apă recomandat pentru obținerea unor rezistențe mecanice maxime, este cu circa 1% sub valoarea umidității optime de compactare Proctor modificat. După depășirea acestei valori, rezistențele mecanice scad foarte periculos (de exemplu, pentru o umiditate cu 1 % mai mare decât umiditatea optimă de

compactare Proctor modificat, rezistențele la întindere sunt cu 55...60 % mai mici decât valoarea maximă).

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

- granulozitatea; cu cât granulozitatea materialului se îndepărtează de zona de granulozitate prescrisă, mai ales în cazul unor agregate naturale bogate în nisip, cu atât rezistențele mecanice obținute sunt mai reduse.

În concluzie, se poate afirma că pentru obținerea unei calități corespunzătoare a straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici, este imperios necesară stabilirea dozajului de apă și realizarea gradului de compactare. La dimensionarea structurilor rutiere mixte, se recomandă adoptarea caracteristicilor minime ale materialelor și nu a celor medii, deoarece parametrii de compoziție nu variază izolat, ci concomitent, motiv pentru care ar trebui adoptată în acest caz o grosime cu circa 15 cm mai mare pentru a compensa toate erorile.

#### **1.4. Elaborarea dozajelor**

Prin stabilirea dozajelor, se înțelege ansamblul de operații efectuate în vederea realizării unor proporții judicioase între diverși componenți care alcătuiesc materialele stabilizate, astfel încât să se obțină în final, caracteristicile fizico-mecanice corespunzătoare.

##### **1.4.1. Puzzolane și activatori**

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.

Cele mai frecvente tipuri de activare, pentru obținerea prizei lianților puzzolanici sunt cele obținute prin utilizarea varului și cimentului.

Compușii care pot apărea în urma reacțiilor puzzolanice sunt:

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

- aluminatul tetracalcic hidratat ( $C_4AlH_3$ ), hexagonal și în anumite condiții, este posibil a se găsi:

- gehlenitul hidratat ( $C_2ASH_8$ );

- strignitul ( $3CaO, Al_2O_3, 3SO_4Ca, 32H_2O$ )

- monosulfoaluminatul ( $3CaO, Al_2O_3, CaSO_4, 12H_2O$ ).

Cercetările efectuate în România, au permis realizarea unor lianți cu fosfogips utilizați la execuția de straturi rutiere prin stabilizarea unor agregate naturale locale.

Sunt definitivate două dozaje:

- cenușa de termocentrală ( 67...73 %) + var (16,5...18,0 %) + fosfogips (9,0...16,5 %);

- zgura granulată + soda caustică + fosfogips.

În România, prin indicativul CD 127-83, sunt recomandate următoarele dozaje funcție de tipul liantului și de granulozitatea materialului 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 Pa35;

-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.

#### **1.4.2.Principii privind stabilirea dozajelor optime**

Pentru ciment și var, lianți rezultați în urma unui proces tehnologic bine stăpânit și cu o aplicabilitate largă pentru stabilizarea materialelor, a fost posibilă elaborarea unor abace, (după modelul din figura 1.16 și figura 1.17) precum și a unor relații de calcul

pentru stabilirea dozajului aproximativ. Aceste relații rezultă prin corelație statistică, pe baza rezultatelor obținute în practică și sunt de forma următoare:

$C$  este  $730 (R_{c7}/M_c)$   $[\text{kg}/\text{m}^3]$ , în care,

$C$  - dozajul de ciment, în  $\text{kg}/\text{m}^3$ , de material stabilizat;

$R_{c7}$  - rezistența la compresiune pe probe păstrate 7 zile în atmosfera umedă, în  $\text{daN}/\text{cm}^2$ ;

$M_c$  - marca cimentului în  $\text{daN}/\text{cm}^2$ .

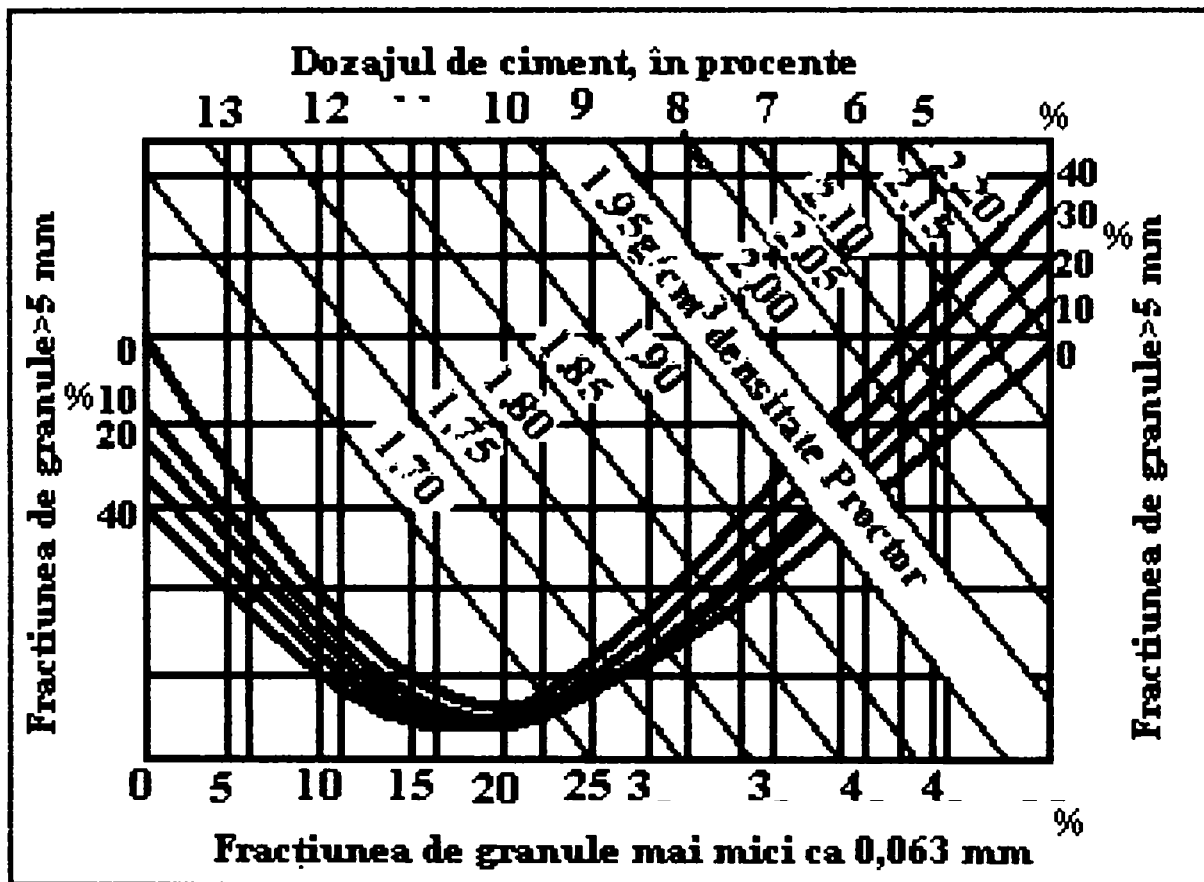


Fig. 1.16 Abaca pentru stabilirea dozajului de ciment

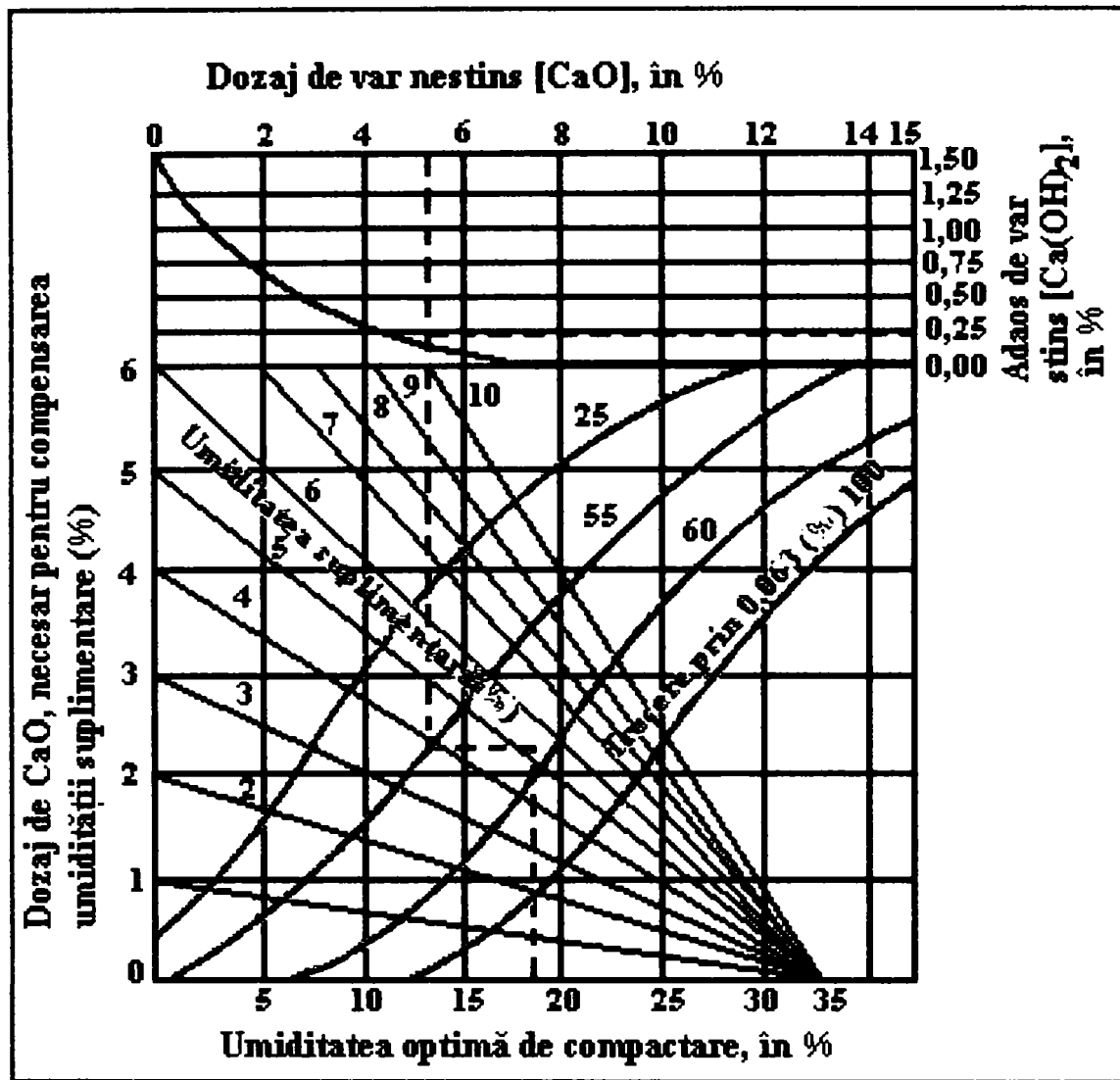


Fig. 1.17 Abaca pentru stabilirea dozajului de var.

#### 1.4.2.1. Proprietățile lianților puzzolanici

Compoziția chimică și mineralogică, cât și unele proprietăți fizice caracteristice determină reacțiile de hidratare (în prezența unui activator), cât și evoluția rezistențelor mecanice la diferite vârste.

Compoziția chimică a lianților puzzolanici

Compoziția chimică a lianților puzzolanici se poate determina prin analiza chimică completă sau și prin analiza diferențiată a principalilor componenți oxidici: bioxidul de siliciu ( $\text{SiO}_2$ ), trioxidul de aluminiu ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), oxidul de calciu ( $\text{CaO}$ ) și oxizii de fier ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

Principalul compus oxidic care influențează activitatea puzzolanică este oxidul de calciu (CaO), calitatea liantului crescând odată cu cantitatea de CaO încorporată.

Astfel pentru cenușa de termocentrală se constată evoluția din fig. 1.18 a rezistențelor mecanice ale amestecurilor funcție de conținutul de silice și alumină.

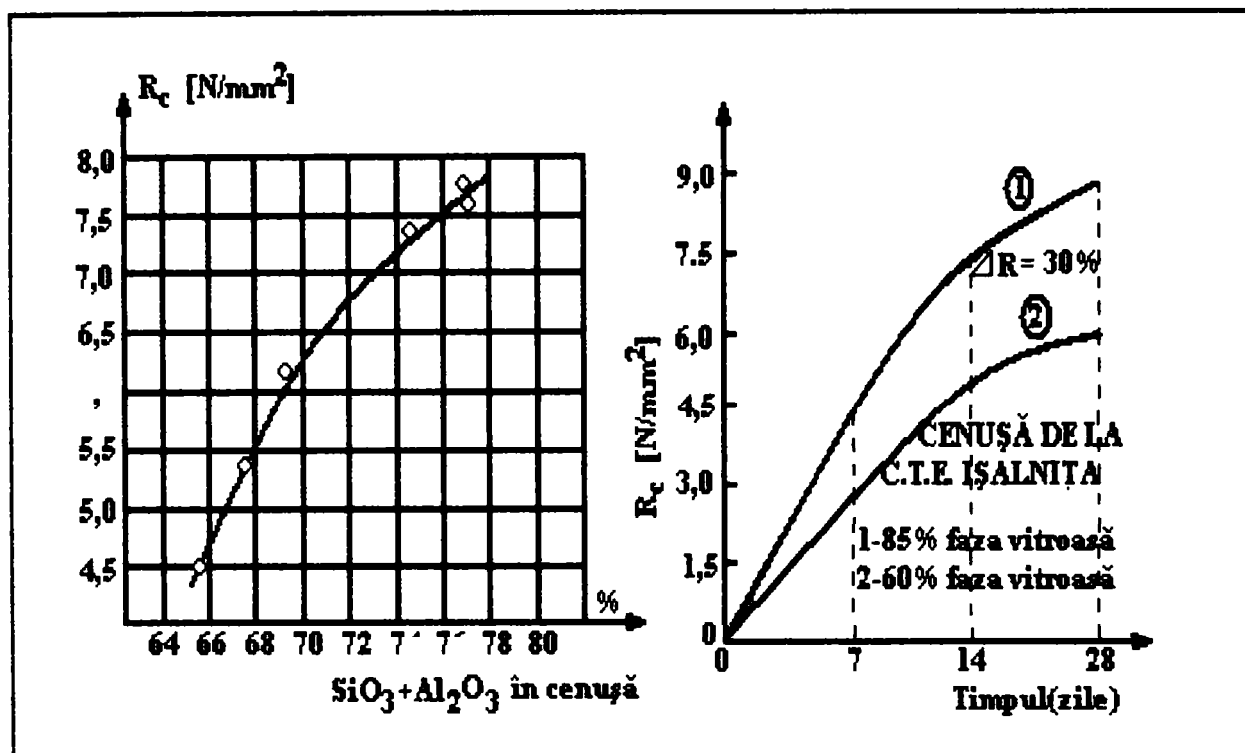


Fig. 1.18. Influența sumei %SiO<sub>3</sub> + %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> asupra activității hidraulice a cenușilor de termocentrală.

fig. 1.19. Influența compoziției mineralogice asupra activității hidraulice a unei cenuși.

### Compoziția mineralogică

Compoziția mineralogică a materialelor cu proprietate puzzolanică se determină prin difracție cu raze X sau prin analiza cu microscopul polarizant. Importanță pentru calitatea reacției puzzolanice, este faza amorfă, care trebuie să fie preponderentă (55...88 %).

Se consideră 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; activitate cu același conținut de Ca(OH), pentru care se determină rezistențele la diferite vârste (fig. 1.19).

### Caracteristici fizice

Principalele caracteristici fizice care influențează reacția de hidratare sunt: granulozitatea, suprafața specifică și densitatea.

Studiile întreprinse în domeniu au evidențiat faptul că pentru o granulozitate fină, densitatea și suprafața specifică mare, liantul puzzolanic desfășoară reacții de hidratare puternice.

Se consideră că activitatea puzzolanică este cu atât mai mare cu cât coeficientul de activitate este mai mare. În aceste condiții, când influența unei singure caracteristici a liantului puzzolanic are repercursiuni asupra calității liantului și bineînțeles asupra calității materialului rezultat prin stabilizare, stabilirea dozajelor de lucru nu se poate efectua decât prin studii și încercări specifice în laborator, efectuate pe amestecuri preparate cu aceleași materiale care urmează să fie folosite practic [40].

#### **1.4.2.2. Stabilirea dozajelor optime**

Pentru stabilirea dozajului optim, în cazul stabilizării cu lianți hidraulici sau puzzolanici, se utilizează următoarele metode.

- metoda clasică;
- metoda simplificată.

Metoda clasică stabilește dozajul optim de liant hidraulic sau puzzolanic pe baza unor încercări de laborator efectuate asupra epruvetelor preparate cu diverse dozaje de liant. Determinarea granulozității agregatelor naturale este o operație foarte importantă (fig.1.20) . De asemenea este necesar să se determine și granulozitatea amestecurilor, care în cazul lianților puzzolanici trebuie să se încadreze într-o anumită zonă de granulozitate (fig. 1.21).

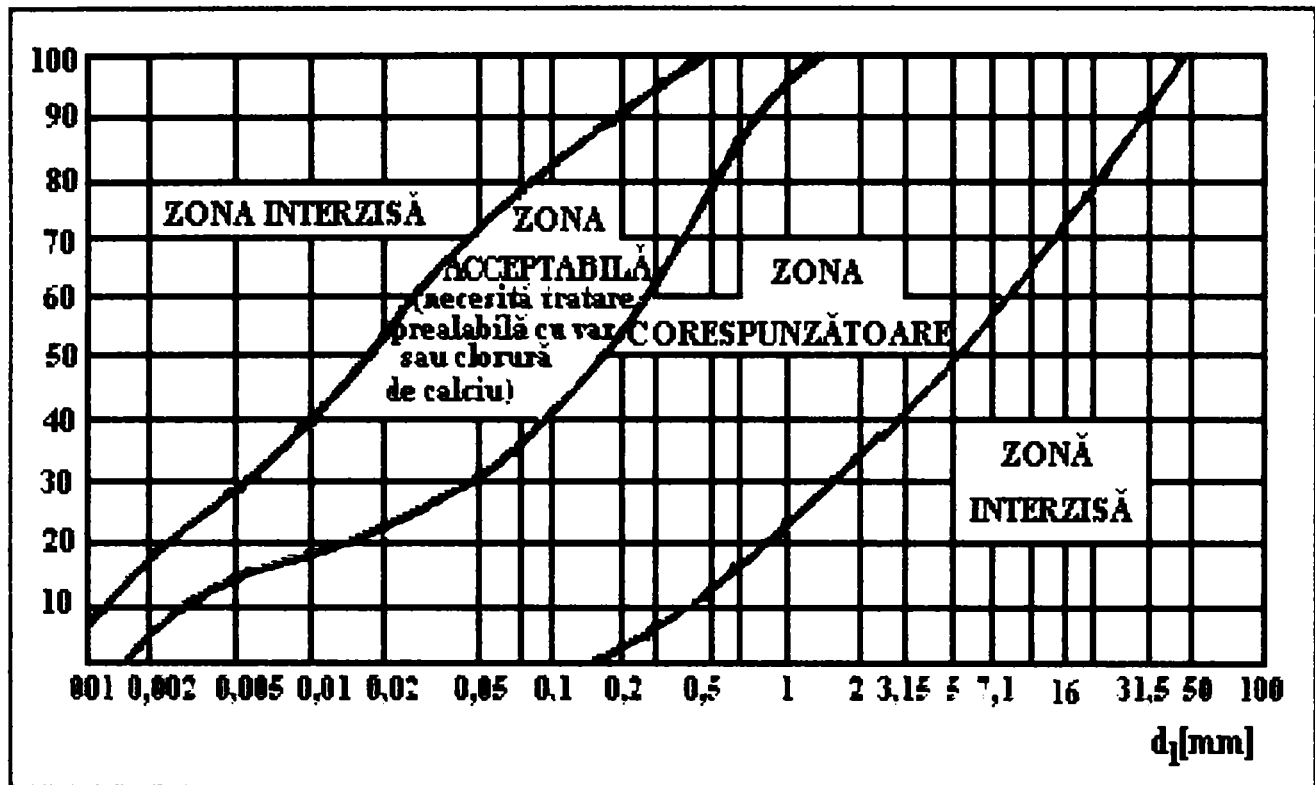


Fig. 1.20 Zona de granulozitate a materialelor care pot fi stabilizate cu ciment.

În cazul în care curba de granulozitate a amestecului nu se înscrie în zona de granulozitate prescrisă, se vor lua măsuri de corectare a granulozității.

În tabelul 1.1 sunt prezentate caracteristicile care trebuie îndeplinite de materialele stabilizate cu ciment, iar în tabelul 1.2, cele stabilizate cu lianți puzzolanici.

### 1.5. Prepararea și punerea în operă a materialelor stabilizate

Prepararea amestecurilor din materiale tratate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, poate fi realizată prin următoarele tehnologii:

- amestecarea la fața locului (in situ);
- amestecarea în instalații fixe;
- stabilizarea materialelor pentru unele straturi rutiere cu utilaje complexe.



Tabelul 1.1

Nr. crt.	Denumirea stratului și a lucrării	Rezistența la compresie la vârsta de 7 și 28 zile $N/mm^2$		Stabilizarea la apă, % max		Pierdere de masă, % max		
		$R_{c7}$	$R_{c28}$	Scăderea rezistenței la compresie $\Delta R_{c,i}$	Umflarea volumică $U_i$	Absorbție de apă $A_i$	Saturare $F_{in}$	Îngheț dezagheț $P_{de}$
1	Strat de bază pentru structuri rutiere mixte, platforme și locuri de parcare	1,5...2,2	2,2...5,0	20	2	5	7	7
2	Strat de fundație pentru structuri rutiere mixte sau rigide ; consolidarea benzilor de incadrare și a acostamentelor	1,2...1,8	1,8...3,0	25	5	10	10	10
3	Strat de formă	0,8...1,2	1,2...2,0	-	-	-	-	-

Tabelul 1.2

Caracteristici	Tipul liantului puzzolanic			
	Zgură granulată de furnal înalt	Cenușă de termocentrală	Tuf vulcanic măcinat	
Rezistența la compresie la : -14 zile, daN/cm <sup>2</sup> -28 zile, daN/cm <sup>2</sup>	Strat de fundație	Strat de bază și ranforsare	Strat de bază și ranforsare	Strat de bază și ranforsare
	min 5 min 8	min 7 min 13	min 7 min 13	min 3 min 5
Scăderea rezistenței la compresie prin imersare în apă timp de 7 zile %				min 6 min 9
			max 25	

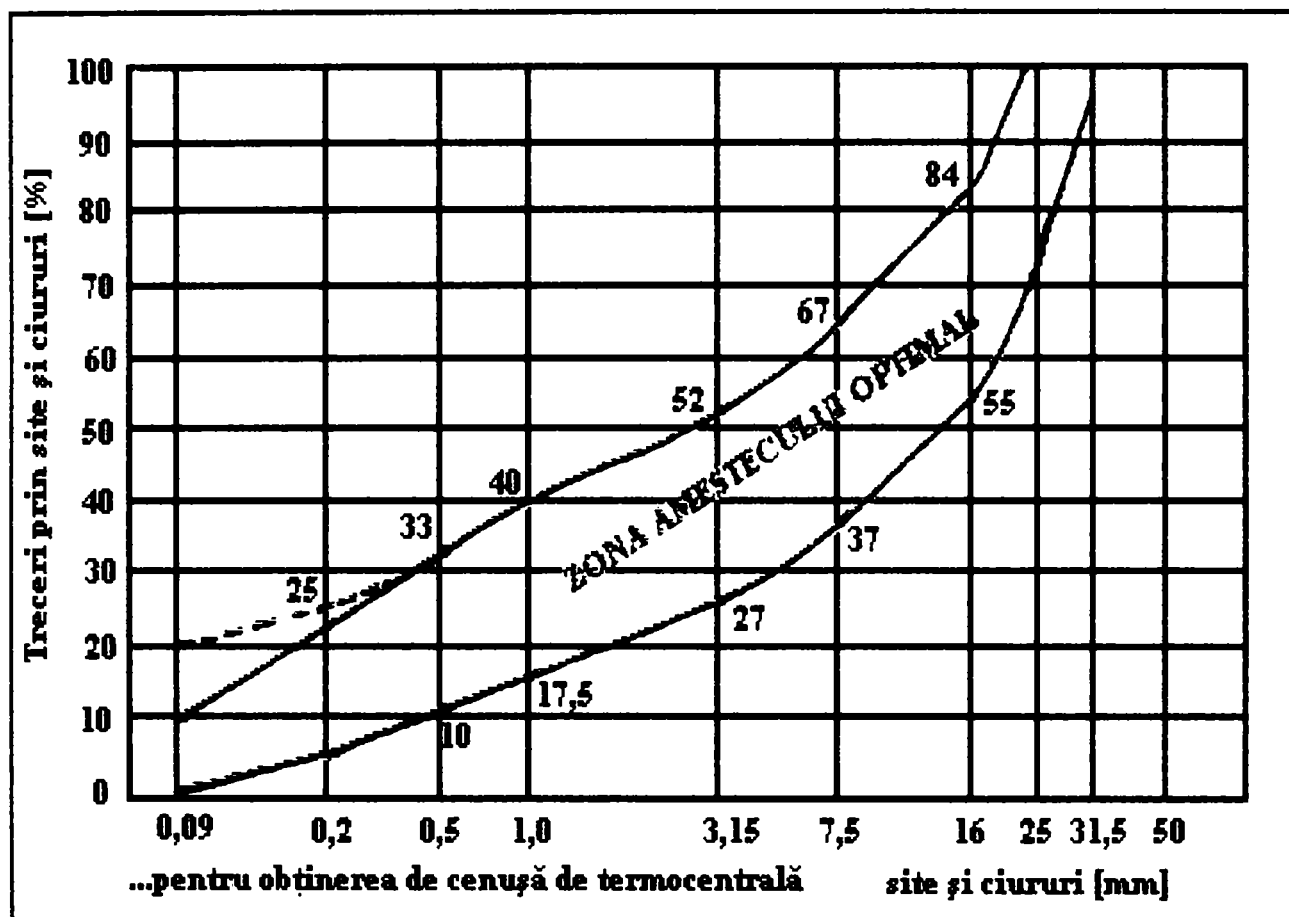


Fig. 1.21 Limitele de granulozitate ale amestecului opțional de agregate naturale, lianți puzzolanici și activator.

### 1.5.1. Prepararea amestecului la fața locului

Metoda amestecului 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 utilizat mai rar, deoarece conduce la obținerea unei slabe omogenizări a amestecului. Se acceptă utilizarea lui în straturi rutiere nedimensionate la oboseală, sau pentru structuri rutiere cu trafic redus.

Omogenizarea amestecului la fața locului presupune ca toate operațiile din procesul tehnologic să fie executate de unul sau mai multe utilaje prin treceri succesive. Tehnologia amestecării la fața locului a materialelor necesită descărcarea acestora în grămezi, sau încet, după repartizarea lor să se obțină, pe fiecare unitate de suprafață, o cantitate de agregate naturale ( $M_{ag}$ ), calculată cu relația:

$$M_{ag} = \rho_{d \max} \times h \times \frac{P_{ag}}{100} \times \left(1 \pm \frac{W_{ag}}{100}\right) \quad [kg / m^2] \quad (1.16)$$

în care:

$\rho_{d \max}$  este densitatea în stare uscată, maximă, în  $kg/m^3$ ;

$h$  - grosimea finală a stratului, după compactare, în  $m$ ;

$P_{ag}$  - proporția de agregate naturale în amestecul uscat, în %;

$W_{ag}$  - umiditatea naturală a agregatelor naturale, în %.

Cantitatea de liant  $M_p$  se calculează cu relația:

$$M_p = \rho_{d \max} \times h \times \frac{P_p}{100} \times \left(1 \pm \frac{W_p}{100}\right) \quad [kg / m^2] \quad (1.17)$$

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, iar cantitatea ( $M_{act}$ ) pe unitatea de suprafață este determinată cu relația:

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

în care:

$\rho_{act}$  este procentul de activator

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 până la omogenizarea completă.

Cantitatea de apă de adaos se stabilește funcție de  $W_{opt}$  și de umiditatea materialului de amestec, luând în seamă și pierderile prin evaporare de circa 1 %.

### 1.5.2. Prepararea amestecului în instalații fixe

La noi în țară, prepararea amestecurilor din materiale stabilizate cu lianți hidraulici puzzolanici se face, fie în instalații pentru stabilizarea nisipului (INS), fie în baterii formate din două sau mai multe betoniere cu dozare volumetrică a componentelor.

În cazul utilizării INS-urilor, primele trei componente ale predozatorului sunt destinate agregatelor naturale, iar ultimul, dotat cu dispozitiv de vibrație, este destinat liantului puzzolanic sau cimentului; când 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.

Există în prezent 3 categorii de instalații fixe în flux continuu, după gradul de perfecționare tehnică atins, pentru dozarea constituenților:

- instalații cu sisteme de dozare prin dispozitive simple, permițând măsurarea debitelor, dozarea acestora fiind volumetrică cu verificări prin cântărire;

- sisteme de dozare care permit controlul ponderat al debitului fiecărui constituent prin injecție. Înregistrarea debitului de apă nu este necesar, în schimb problema de maximă importanță este reglarea cantității de apă de adaos, funcție de umiditatea efectivă a materialelor care intră în amestec;

- sisteme comportând în plus reglarea automată a dozajului în funcție de controlul efectuat asupra debitelor. Există instalații 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 dozaje de lucru (circa 40), fapt care permite trecerea cu ușurință de la un dozaj la altul în timpul zilei.

Activatorul va fi dozat cu dispozitivul de dozare a cimentului cu care este dotată instalația. Activatorii - var hidratat în pulbere sau var nehidratat măcinat - pot fi dozați prin introducerea lor în amestec sub formă de suspensie în apă.

La dozarea apei se vor lua în calcul pierderile de apă în timpul transportului și al așternerii (pentru asigurarea umidității optime de compactare), ținând seama de umiditatea naturală a materialelor componente ale amestecului prin creșterea cu 2...3 procente a umidității optime de compactare la ieșirea din malaxorul instalației.

Grosimea straturilor de material stabilizat puse în operă, este de 10...20 cm, funcție de utilajele de răspândire și de compactare. La începutul campaniei de lucru se stabilește grosimea de așternere a materialului necompactat pentru realizarea grosimii necesare a stratului.

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

Tehnologia de stabilizare pe loc a materialelor din straturile rutiere aflate în exploatare se bazează pe frezarea sau scarificarea materialelor pe o grosime de maximum 30...36 cm, omogenizarea acestora, eventual cu adaos de agregate naturale noi și stabilizarea amestecului rezultat, cu liant de adaos prin intermediul unui utilaj complex.

Repartizarea materialului retratat și bine omogenizat se face o dată cu trecerea utilajului. Această tehnologie a fost introdusă în Franța în anul 1985.

În cazul scarificării materialului din stratul existent este necesar să se efectueze operația de fărâmițare a materialului rezultat, în timpul executării operației de fărâmițare, laboratorul de șantier trebuie să verifice gradul de fărâmițare ( $G_f$ ) cu următoarea relație:

$$G_f = \frac{G_2}{G_1 + G_2} \quad [\%] \quad (1.19)$$

unde:

$G_2$  este masa materialului trecut prin ciurul de 5 mm;

$G_1$  - masa materialului rămas pe ciurul de 5 mm;

$G_f$  - gradul de fărâmițare (recomandabil 55...85 %).

Reașternerea materialului tratat și bine omogenizat, se face o dată cu trecerea utilajului).

Experimentarea tehnologiei a permis evidențierea a două faze importante ale acesteia: studiile prealabile și compactarea.

Este necesar ca prin sondaje judicios repartizate în structura rutieră existentă să se definească:

- grosimile straturilor, granulozitățile materialelor componente și existența sau nu a blocurilor;
- adiția de noi agregate naturale care să îmbunătățească granulozitatea;
- materialului stabilizat în vederea unei bune compactări și a unor rezistențe mecanice corespunzătoare;
- caracteristicile materialului de stabilizat, pentru a se stabili natura și dozajul de ciment necesar.

În aceste straturi se produce fenomenul de fisurare din contracție și respectiv transmiterea fisurilor spre suprafața de rulare, care a dus la îmbunătățirea acestei tehnologii prin introducerea unor fibre sintetice în amestecul agregate naturale – ciment – apă.

Rolul acestora este de armătură (de asemenea crește compactitatea), deoarece în timpul prizei cimentului se opune contracției hidraulice urmare a ancorării puternice a fibrelor sintetice în mortarul de ciment, limitează microfisurarea (pe timp îndelungat) datorită contracției termice și duce la creșterea sensibilă a rezistențelor mecanice ale materialelor stabilizate cu ciment cu ados de fibre sintetice.

Aplicarea acestei tehnologii a evidențiat următoarele avantaje:

- se permite corectarea elementelor geometrice ale drumului în profil transversal și profil longitudinal;
- se poate spori capacitatea portantă a unei structuri rutiere subdimensionate și corectarea granulozității materialelor din unele straturi rutiere;
- utilizarea cimentului, zgurii granulate sau a cenușii de termocentrală cu lianți, permite stabilizarea unor materiale contaminate care nu se pretează la stabilizarea cu lianți hidrocarbonați;
- efectuarea lucrărilor sub circulație;
- posibilitatea stabilizării pe toată lățimea părții carosabile sau numai a marginilor acestora (circa 2 m lățime), care sunt zonele cele mai solicitate de trafic;
- tehnologia conduce la costuri mai mici decât tehnologiile clasice;
- permite realizarea de economii de agregate naturale noi;

Această tehnologie a fost aplicată la executarea lucrărilor de ranforsare a complexului pe DN 7, Deva –Ilia, km 473+100...473+800.

Frezarea structurilor rutiere existente s-a realizat cu utilajul Wirtgen (introdus la noi în țară în 1982) în urma căruia a rezultat materialul mărunțit, tratat cu ciment și reășternut în cordon. A urmat apoi repartizarea cu autogrederul și compactarea cu rulouri netede și vibratoare. După 10 zile de păstrare în stare umedă și de interzicere a circulației peste stratul obținut, s-au așternut celelalte straturi din mixtură asfaltică (în grosime de 21 cm).

#### **1.5.4. Protejarea și tratarea ulterioară**

Straturile din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici vor fi tratate cu apă în vederea menținerii umidității până la acoperirea cu un alt strat rutier în limita a cel mult trei zile de la execuție.

În cazul în care această acoperire nu se poate face în termen de trei zile de la execuție din diverse motive, atunci recurgem la următoarele soluții:

- într-un interval de maximum 10 zile acoperim stratul stabilizat (tratată cu apă pentru păstrarea umidității) și intervenim ca acesta să nu fie sub circulație în condiții nefavorabile;

- într-un interval de maximum 30 zile acoperim stratul stabilizat care a fost tratat cu un strat de protecție alcătuit din emulsie bituminoasă cationică cu rupere rapidă (E.B.C.R.60) de 0,3...0,4 kg/m<sup>2</sup> și nisip în cantitate de 4...6 kg/m<sup>2</sup>.

Așternerea noului strat se face după o prealabilă verificare a suprafeței stratului stabilizat, eliminându-se eventualele denivelări prin realizarea unor decapări și completări cu amestec nou, respectiv urmărire și recompactare.

#### **1.6. Fisurarea din contracție**

Contracția reprezintă micșorarea volumului straturilor rutiere realizate din beton de ciment sau din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în cazul întăririi în aer. Datorită împiedicării contracției în plan orizontal apar eforturi care, la valori mari, duc la fisurare.

##### **1.6.1. Factori care influențează fisurarea din contracție**

###### **1.6.1.1. Influența naturii și a dozajului de liant**

Referitor la natura lianților hidraulici sau puzzolanici utilizați la stabilizarea agregatelor naturale se pot afirma următoarele:

- prin utilizarea lianților hidraulici sau puzzolanici clasici, fisurarea din contracție a straturilor rutiere nu poate fi împiedicată (ecartul dintre fisuri variază funcție de liantul folosit), fenomenul fiind determinat de deformabilitatea mai redusă a agregatelor naturale stabilizate cu ciment precum și de rigiditatea lor mai ridicată;

- corelația dintre rezistența la întindere din încovoiere și modulul de elasticitate este mai favorabilă producerii fisurilor în cazul agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici decât în cazul celor stabilizate cu lianți puzzolanici.

În tabelul 1.3 se poate observa influența dozajului de liant asupra ecartului fisurilor, care nu este semnificativă, în schimb timpul de priză și viteza de întărire influențează direct și semnificativ apariția fisurilor.

Tabelul 1.3

Material	Liant în %	R <sub>t</sub> în daN/cm <sup>2</sup>	E în daN/cm <sup>2</sup>	F
Agregate naturale stabilizate cu ciment (28 zile)	3,5	7,2	222 000	32 x 10 <sup>4</sup>
	4,0	9,3	290 000	32 x 10 <sup>4</sup>
	4,5	10,3	290 000	35 x 10 <sup>4</sup>
Agregate naturale stabilizate cu zgură măcinată (90 zile)	8,0	8,1	262 000	32 x 10 <sup>4</sup>
	12,0	11,0	267 000	40 x 10 <sup>4</sup>
	15,0	11,8	263 000	40 x 10 <sup>4</sup>
Agregate naturale stabilizate cu zgură granulată (90 zile)	6,0	8,3	105 000	80 x 10 <sup>4</sup>
	8,0	11,6	134 000	90 x 10 <sup>4</sup>
	10,0	13,4	182 000	90 x 10 <sup>4</sup>

**1.6.1.2. Influența naturii agregatului natural**

Acest factor influențează fenomenul de fisurare prin coeficientul de dilatație termică al agregatelor naturale, care pentru rocile silicioase este aproape dublu față de cel al rocilor calcaroase. Natura agregatelor și structura suprafeței (care influențează legătura liant- granule) , pot avea o anumită influență asupra deformațiilor la rupere a agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, cu repercursiuni directe asupra fisurării.



### 1.6.1.3. Influența granulozității

S-a observat că fisurarea în cazul nisipurilor stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici este mai mică decât în cazul altor agregate stabilizate cu același tip de liant. Reducerea dimensiunii maxime a granulei ( $D$ ), permite, pentru aceleași rezistențe, obținerea unei rigidități mai reduse și deci și creșterea deformabilității până la rupere. (fig. 1.22)

### 1.6.1.4. Influența gradului de compactare

Compactarea are influență directă asupra rezistențelor la întindere și a modulului de elasticitate al agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Reducerea gradului de compactare printr-o slabă îndesare se răsfrânge asupra rezistențelor mecanice și implicit, asupra fisurării (care este mai redusă), în timp ce reducerea gradului de compactare ca urmare a granulozității nu are influențe asupra fenomenului de fisurare.

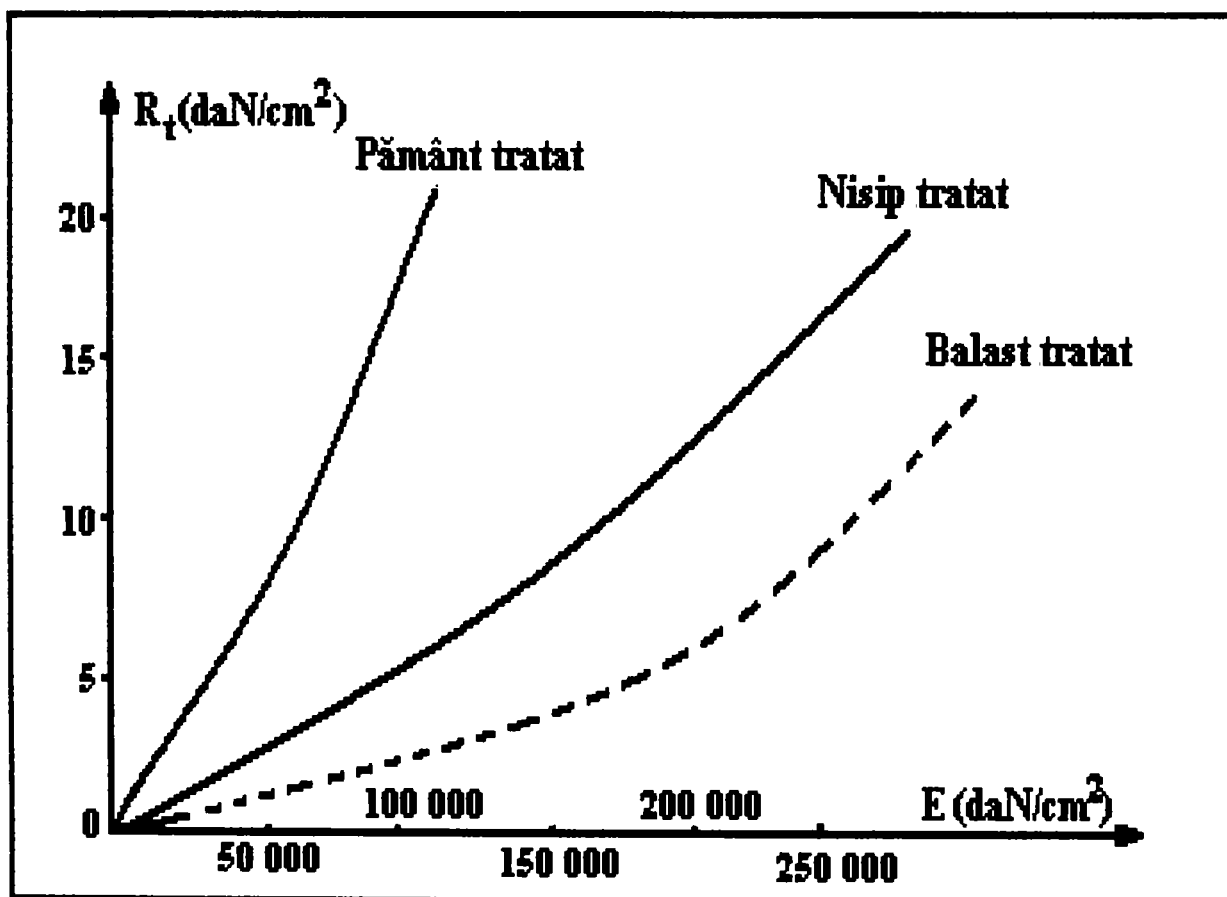


Fig. 1.22 Relația dintre rezistența la întindere și modulul de elasticitate pentru diferite materiale.

#### **1.6.1.5. Influența umidității**

Dozajul de apă trebuie bine stăpânit, pentru obținerea unei densități suficiente și evitarea deformării permanente după punerea în operă sub efectul circulației și pentru realizarea rezistențelor mecanice prescrise. În aceste condiții, influențarea fisurării prin variația umidității la punerea în operă nu este recomandată.

#### **1.6.1.6. Influența părților fine argiloase**

Faptul că pământurile stabilizate cu ciment se comportă bine la fisurare, a dus la ideea că adaosurile de părți fine argiloase ar ameliora fenomenul de fisurare. Există însă o serie de neajunsuri mai importante decât fisurarea și anume:

- sensibilitatea straturilor rutiere 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).

#### **1.6.1.7. 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. Se remarcă faptul că fenomenul de fisurare din contracție a straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici nu poate fi împiedicat, ci cel mult încetinit prin modificarea unor factori de compoziție (tabel 1.4).

#### **1.6.2. Modelarea fisurării din contracție**

Contracția straturilor rutiere din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici este alcătuită din contracția din perioada de priză și contracția termică datorată variațiilor de temperatură zilnică sau anuală. Contracția din perioada de priză poate produce fisurarea, dar fisurile devin vizibile doar după suprapunerea contracției termice.

Tabelul 1.4

Caracteristici fizico-mecanice	Factori de compoziție	-influența asupra fisurii
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	-creșterea pasului între fisuri -creșterea 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 -creșterea deschiderii fisurilor la termen scurt
Creșterea deformabilității	Natura liantului Dimensiunea maximă a granulelor	-creșterea ecartului de temperatură care influențează fisurarea -micșorarea deschiderii fisurilor

Studiul modului de apariție a fisurilor în straturile rutiere 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.

Teoria simplificată a fisurării din contracție are la bază calculul distanței dintre fisuri, care ține seama de forțele care solicită o dală de lungime ( $L$ ) și anume forțele ( $f$ ) exercitate de stratul inferior și eforturile unitare ( $\Gamma$ ) din dală datorate contracției.

## CAPITOLUL 2

# TRANSMITEREA FISURILOR ÎN ÎMBRĂCĂMINȚILE RUTIERE

### 2.1. Considerații generale

Transmiterea la suprafața noului strat de rulare a fisurilor existente în vechiul drum, constituie principala cauză pentru care reabilitarea structurilor rutiere degradate prin execuția unor noi straturi bituminoase nu reprezintă o soluție corespunzătoare pentru o perioadă lungă de timp.

Fenomenul apariției fisurilor, care este una din principalele cauze ale degradării premature a îmbrăcămintei bituminoase executate pe un strat suport cu discontinuități, poate avea diferite aspecte, în concordanță cu numărul mare de factori care guvernează mecanismul de inițiere și propagare a fisurilor.

Implicațiile economice deosebite ale manifestării acestui fenomen a impus înființarea în anul 1983, a Comitetului Tehnic RILEM 157-PRC “Sisteme de prevenire a transmiterii fisurilor în îmbrăcămintile rutiere”, care a organizat conferințe internaționale pe această temă ( Belgia 1988, 1993, Olanda 1996).[39]

Obiectivul principal al acestor conferințe a fost strângerea de informații necesare în vederea întocmirii unui raport asupra stadiului problemei, în viziunea inginerilor și autorităților privind construcția și întreținerea drumurilor.

Contrațiile care apar în cazul straturilor rutiere stabilizate sunt clasificate în felul următor:

- contrații primare, în cadrul cărora se remarcă contracția dinaintea întăririi și contracția hidraulică. Datorită acestora se manifestă primele contrații lente ale materialului, după punerea sa în operă și se produc chiar și în cazul unui material mai puțin rezistent;

- contrații termice, care apar fie datorită variațiilor de temperatură zilnice, fie celor anuale. Primele se înscriu în ecartul de 20...30 °C, în timp ce ultimele ajung până la 50...60 °C.

În timp, contracția materialelor stabilizate crește față de capacitatea lor de alungire-fără a fisura- scade în raport cu vârsta și numărul solicitărilor suportate.

Datorită traficului și variațiilor de temperatură, straturile rutiere stabilizate fisurează sub efectul contracțiilor, iar fisurile transversale, echidistante care apar au tendința permanentă de a se propaga prin straturile bituminoase superioare.

Mecanismul de degradare a noilor straturi bituminoase de suprafață, prin transmiterea fisurilor din structura rutieră existentă, este specific următoarelor tipuri de structuri rutiere:

- sisteme rutiere rigide, cu îmbrăcăminte din beton de ciment;
- sisteme rutiere semirigide, cu straturi de bază și/sau de fundație din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici;
- sisteme rutiere suple cu îmbrăcăminte rutieră din mixtură asfaltică, fisurată.

Mecanismul de degradare poate fi schematizat prin două procese, în general simultane: fisurarea termică și fisurarea mecanică, sub acțiunea sarcinilor din trafic.

În cele mai multe cazuri, inițierea fisurilor și propagarea acestora sunt cauzate de tensiunile de întindere, care depășesc rezistența la întindere a mixturii asfaltice.

În concordanță cu teoria mecanicii ruperii la discontinuitățile introduse prin prezența fisurilor existente în vechea îmbrăcăminte, se produce o concentrare a tensiunilor de întindere la baza noului strat bituminos. Aceasta conduce la inițierea și propagarea fisurii deasupra fisurii existente. Acest tip de fisură, numit în general fisură reflectată, este considerat de tip A, conform figurii 2.1. a ( RDP/nr37/97).

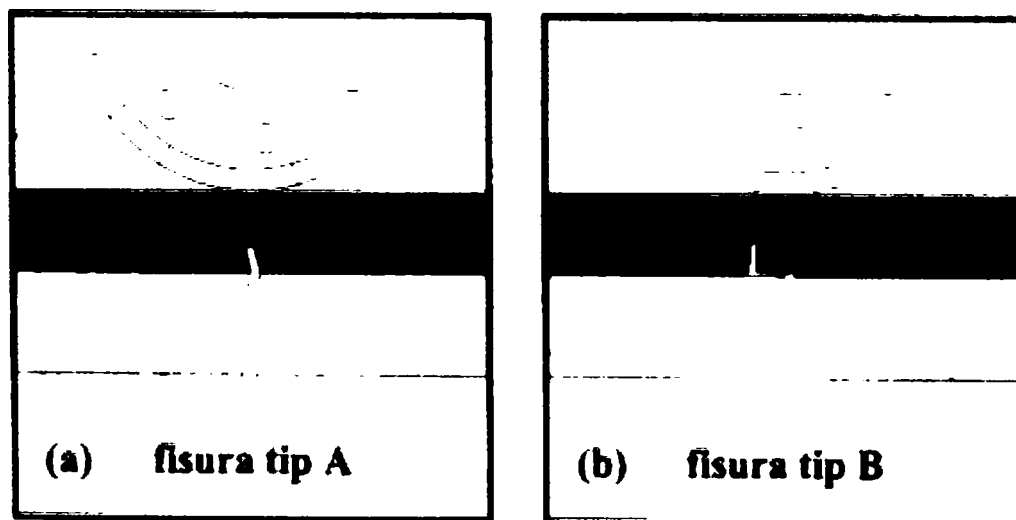


Fig. 2.1 Tipuri de fisuri.

În unele cazuri, în funcție de geometria și proprietățile materialului, fisura poate fi observată la o anumită distanță de fisura inițială. Fisurarea este deci, însoțită de o dezlipire a stratului bituminos de vechea îmbrăcăminte, acest tip de fisură fiind de tip B, conform figurii 2.1.b.

Procesul de fisurare termică este predominant. El este datorat eforturilor unitare de întindere cu valori maxime în dreptul discontinuităților stratului suport și anume: rosturile și fisurile stratului din beton de ciment, fisurile de contracție hidraulică și termică ale stratului din agregate stabilizate cu lianți hidraulici care au fost transmise la suprafața stratului de rulare sau fisurile straturilor bituminoase existente, din mixtură asfaltică îmbătrânită.

Este interesant de menționat faptul că procesul de inițiere a fisurilor nu depinde de caracteristicile structurii rutiere, ci de temperatura suprafeței și de proprietățile mixturii asfaltice din noile straturi bituminoase.

Solicitările traficului nu constituie, în mod obișnuit, o cauză de origine a fisurilor, dar vor accelera procesul de transmitere la suprafață a acestora. Se consideră astfel, că mișcările verticale diferențiate la discontinuitățile stratului suport, datorate circulației vehiculelor, constituie o cauză a transmiterii fisurilor la îmbrăcămintea bituminoasă.

Neuniformitățile capacității portante la nivelul stratului suport al noii îmbrăcăminți bituminoase specifice la lărgirile de drumuri, la lucrările de refacere locală a structurii rutiere sau în zone caracterizate prin pământuri de fundație contractile sau gelive, pot constitui, de asemenea, cauze ale accelerării procesului de transmitere a fisurilor.

Adoptarea măsurilor adecvate de prevenire sau întârziere a acestui proces de degradare, impune o bună înțelegere a factorilor de degradare și cuantificarea eficienței diferitelor soluții de reabilitare. În acest scop, au fost dezvoltate procedee de calcul bazate, în general, pe metoda elementelor finite.

## **2.2. Propagarea fisurilor din contracție prin straturile 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.

Luând în considerare grosimea straturilor stabilizate cu lianți puzzolanici sau hidraulici, s-au constatat următoarele:

- distanța minimă dintre fisuri este de circa 3 m pentru o grosime a stratului stabilizat de 20 cm;
- distanța minimă dintre fisuri este de circa 6 m, pentru o grosime a stratului stabilizat de minimum 30 cm.

Fisurarea este unul din factorii care conduc la micșorarea duratei de exploatare a drumurilor cu îmbrăcăminți bituminoase.

Dintre cauzele posibile ale fisurării, pot fi enumerate următoarele:

- contracția simplă la suprafață;
- fisuri de contracție ale fundației, care se transmit la suprafață;
- fisuri datorate eforturilor termice alternative;
- fisuri datorate îmbătrânirii liantului;
- fisuri datorate eforturilor aplicate din exterior sau dezvoltate din interior când acestea depășesc rezistența la încovoiere a straturilor bituminoase;
- eforturile exterioare apar datorită traficului, iar cele interne se dezvoltă mai ales datorită variațiilor de temperatură.

### 2.3. Principiul inițierii și propagării fisurilor

În straturile bituminoase aderente de stratul suport, contracția termică fiind împiedicată, în cazul unei reduceri a temperaturii  $\Delta t$ , se dezvoltă tensiuni de întindere,  $\sigma_t$ , în concordanță cu următoarea relație:

$$\sigma_t = \alpha E_t \Delta t \quad [\text{MPa}] \quad (2.1)$$

în care :

$\alpha$  este coeficientul de dilatare termică;

$E$  - modulul de elasticitate al mixturii asfaltice, în MPa.

Când această tensiune de întindere se apropie de rezistența la întindere,  $R_t$ , a mixturii asfaltice, reducerea de temperatură  $\Delta t_r$  care produce ruperea stratului bituminos este :

$$\Delta t_r = R_t/E \quad (2.2)$$

Odată fisura inițiată, viteza de propagare a acesteia în stratul bituminos este dată de legea lui Paris:

$$dc/dN = A \cdot K^n \quad (2.3)$$

în care,

$dc/dN$  = creșterea lungimii fisurii pe un ciclu de încărcare;

$K$  = factor de intensitate a tensiunii;

$A, n$  = constante ale materialului.

În principiu, durata de viață a stratului bituminos de grosime  $h$  se calculează cu relația:

$$N = h/(dc/Dn) \quad (2.4)$$

Factorul de intensitate a tensiunii,  $K$ , este o funcție de efortul unitar de întindere  $\sigma_t$  și de lungimea fisurii,  $c$ , și anume:

$$K = f(\sigma_t, \sqrt{c}) \quad (2.5)$$

Calculul tensiunilor de întindere impune cunoașterea modurilor de elasticitate ai materialelor din structura rutieră.

Constanta  $A$  a materialului depinde de un număr mare de factori, iar constanta  $n_t$  de rigiditatea mixturii asfaltice și de cea a bitumului.

Modelarea procesului de fisurare tip B și a solicitării structurii rutiere datorate traficului, face ca metodologia de calcul a duratei de viață a stratului bituminos ca urmare a procesului de transmitere la suprafață a fisurilor să fie foarte complexă.

Este interesant de știut că încă nu există o metodologie de dimensionare a îmbrăcămintei bituminoase, care să ia în considerare criteriul duratei de fisurare maxime.



#### 2.4. Modelarea transmiterii fisurilor prin straturile bituminoase

Propagarea fisurilor dintr-un strat inferior din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici printr-o îmbrăcăminte bituminoasă poate să se producă în mai multe moduri (fig. 2.2).

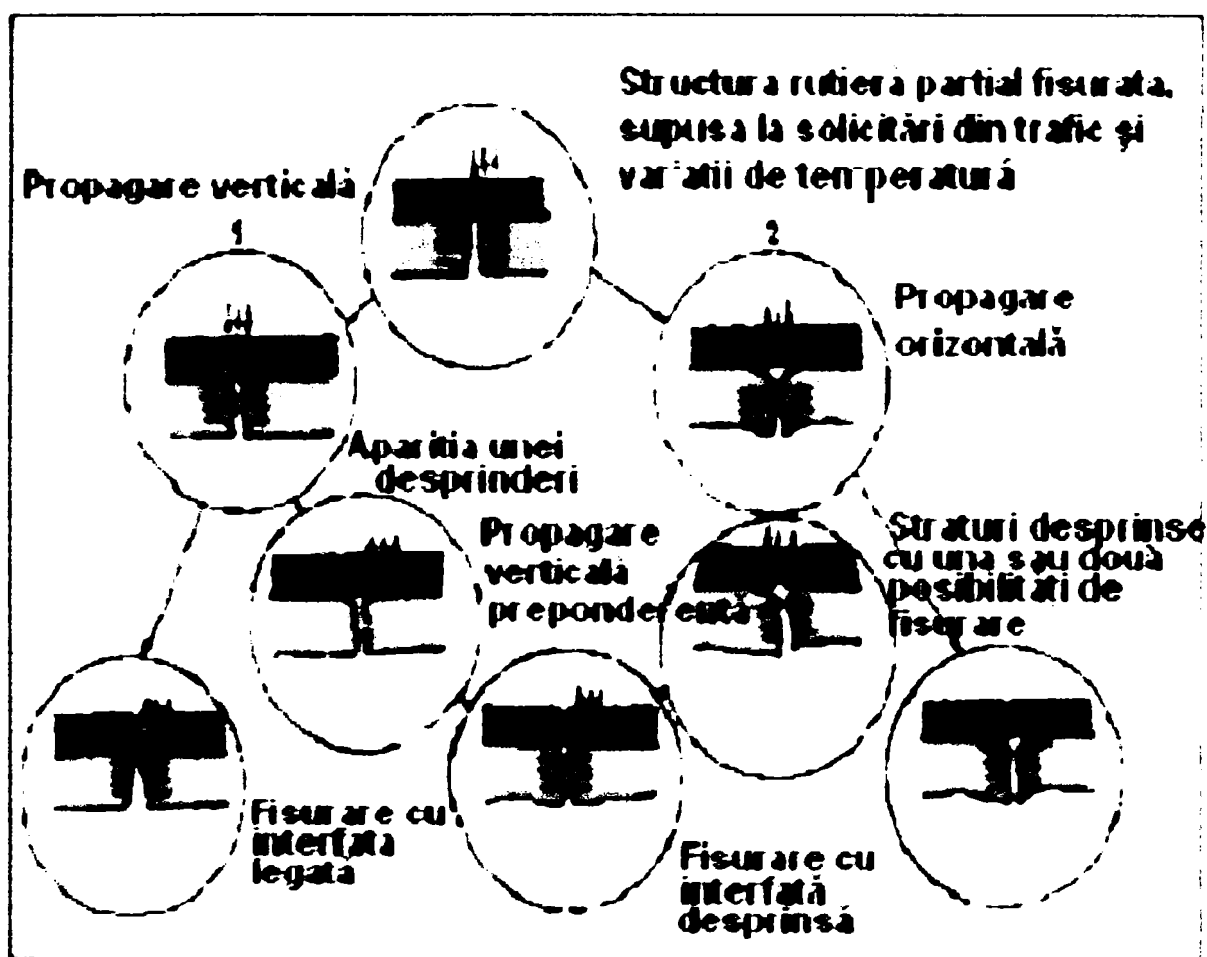


Fig. 2.2 Posibilități de propagare a fisurilor din contracție prin straturile bituminoase superioare.

- în cazul unei legături perfecte între stratul bituminos și stratul fisurat, fisura se va propaga direct pe verticală. În cursul acestui fenomen legătura dintre straturi poate să rămână perfectă sau să se producă o desprindere, caz în care fisura propagându-se, conduce la o înrăutățire a legăturii dintre straturi pe o anumită suprafață;

- în cazul unei legături slabe la interfață, propagarea fisurii nu începe decât după o desprindere a straturilor în zona fisurată. Procesul de propagare a fisurii se continuă fie în dreptul fisurii inițiale, fie la o anumită distanță de aceasta, nefiind exclusă posibilitatea transmiterii fisurii prin ambele moduri, rezultând apariția unor fisuri duble sau multiple la nivelul suprafeței de rulare.

Se poate trage concluzia că modul de transmitere a fisurilor prin straturi bituminoase 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 transmiterii fisurilor din straturile inferioare spre nivelul suprafeței de rulare.

### 2.5. Sisteme de prevenire a transmiterii fisurilor

În timpul experimentărilor efectuate am ajuns la concluzia că nu există încă, nici o metodă eficientă, “miracol”, de prevenire sau de combatere a transmiterii discontinuităților din straturile suport la suprafața unei noi îmbrăcăminți bituminoase.

Soluțiile studiate au drept scop încetinirea acestui proces de fisurare.

Aceste soluții pot fi clasificate în trei categorii, în funcție de scop:

- minimizarea contracției materialului din straturile suport ale îmbrăcămintei bituminoase;
- reducerea tensiunilor de întindere din îmbrăcămintea bituminoasă prin interpunerea între structura rutieră discontinuă și aceasta, a unui sistem antifisură;
- îmbunătățirea rezistenței la fisurare a mixturii asfaltice din îmbrăcămintea rutieră.

Împiedicarea propagării fisurilor din contracție din straturile inferioare din agregate naturale stabilizate cu ciment cu ajutorul unor tipuri de mixturi asfaltice au condus la următoarele concluzii:

- **betonele 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 cât bitumul utilizat este de consistență redusă, cu atât riscul de fisurare este diminuat;
  - în acest context utilizarea unor bitumuri cu consistență redusă, modificate, în doze ridicate, permite încetinirea transmiterii fisurilor.

- **anrobatele bituminoase** se pare că reduc 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 pentru împiedicarea transmiterii fisurilor. Clutarea realizată cu cribluri preanrobate permite obținerea unor rugozități corespunzătoare pentru suprafața de rulare;

- **sistemul bistrat**, -răspândit în Franța- previne apariția 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**, pornește de la ideea anterioară, dorind să îmbunătățească calitățile antifisuri ale stratului de mortar asfaltic. Acestea, prin intermediul unui bitum moale cu penetrația 180/220, modificat în scopul evitării fâgașelor. Liantul este puțin susceptibil și cu ductilitate ridicată la temperaturi reduse.

S-a remarcat în cadrul acestor concluzii tehnologia antifisuri clasică utilizată în Franța, și anume sistemul bistrat realizat dintr-un strat de 1,5...2,0 cm de mortar asfaltic și un covor asfaltic de min 4...6 cm grosime.

## 2.6. Minimizarea contracției straturilor suport

În vederea minimizării contracției termice a straturilor de bază și de fundație cu lianți hidraulici în afara soluției de utilizare a unor lianți cu priză lentă, o soluție folosită pe scară din ce în ce mai largă, este prefisurarea acestor straturi.

De exemplu: experimentările menționate de literatura de specialitate scot în evidență avantajul realizării unei fisurări transversale la distanțe mai mici decât cele corespunzătoare unei fisurări naturale. Astfel aceste fisurări, situate la distanțe de 2...3 m, prezintă o deschidere mică (0,5 mm), ceea ce asigură o capacitate maximă de transfer a sarcinii și limitarea mișcărilor orizontale ale stratului.

Această soluție, destinată contracției drumurilor noi și lărgirii celor existente, prezintă numeroase avantaje, dintre care se evidențiază următoarele:

- limitarea vitezei de transmitere la suprafață a fisurilor de contracție termică, deci, minimizarea grosimii necesare a straturilor bituminoase. Astfel, utilizarea acestei tehnologii permite adoptarea unor grosimi ale straturilor bituminoase de 9...10 cm, în locul celor uzuale de 12...15 cm;

- evitarea utilizării, în straturile bituminoase a bitumului modificat, care scumpește mult costul mixturii asfaltice.

Prefisurarea se bazează pe principiul reducerii secțiunii transversale a stratului stabilizat pe  $1/3...1/5$  din grosime, cu ajutorul unor utilaje specifice, care permit tăierea materialului proaspăt așternut și introducerea în tăieturi a unor folii de plastic sau a unei emulsii bituminoase.

Pentru reducerea contracției au fost, de asemenea, descrise, produse noi, mai puțin susceptibile la fisurare, cum ar fi produsul “Emulscement”, o emulsie cu rupere lentă, în amestec cu ciment.

Eficiența acestui material a fost demonstrată la scară de laborator. Pe șantier, rezultatele sunt variate, astfel încât comportarea dorită nu este întotdeauna atinsă.

În ceea ce privește straturile din beton de ciment, s-a evidențiat faptul că nu este întotdeauna necesară fracționarea acestora.

Tehnica “fracționării” trebuie să inducă fisuri care traversează stratul de beton de ciment, pentru a repartiza dilatația și contracția și a permite transferul de sarcină prin angrenarea granulelor în planul fisurilor. Avantajul pe termen lung al acestor tehnici a fost probat.

Acest tratament antrenează pierderi de portanță. El nu poate fi aplicat decât după un studiu minuțios, completat de o dimensionare structurală a straturilor de acoperire.

### **2.7. Reducerea tensiunilor de întindere prin “antifisură”**

Sistemele “antifisură” sunt constituite în general dintr-un strat intermediar, numit și “interstrat” și se bazează pe capacitatea acestuia, fie de a ranforșa straturile bituminoase, prin îmbunătățirea rezistenței la întindere, la partea inferioară a acestora, fie de a reduce starea de tensiune la baza acestora, prin cantonarea tensiunilor de întindere, în interstrat.

a) Sisteme de ranforsare a straturilor bituminoase.

Mixtura asfaltică este caracterizată în general printr-o rezistență la întindere scăzută.

Kirschner a menționat că această rezistență la întindere poate fi depășită, în cazurile în care deformația specifică de întindere este mai mică de 2...3 %.

Introducerea unui material cu o rezistență la întindere mare și adesea cu alungire redusă, are drept efect, cantonarea fisurilor (sau a zonei de fisurare potențială) în acest material.

Kirschner a identificat de asemenea, cerințele pentru un potențial optim de ranforsare a straturilor bituminoase și anume:

- rezistență la întindere de minim 35 kN/m;
- alungire de maxim 15%;
- modul de elasticitate mai mare decât cel al mixturii asfaltice.

Aceste materiale acționează în sensul coaserii împreună a celor două părți ale fisurii și opresc orice mișcare orizontală a stratului inferior al îmbrăcămintei bituminoase cu condiția existenței unei aderențe eficiente a straturilor.

b) Sisteme de reducere a stării de tensiune de la baza îmbrăcămintei bituminoase.

Interpunerea, în acest scop, a unui interstrat între îmbrăcămintea bituminoasă și suportul discontinuu al acesteia se bazează pe principiul cantonării zonei potențiale de fisurare în acest material, care, în general trebuie să fie caracterizat prin:

- eficiență la întindere de minimum 1,2 kN/m;
- alungire de minimum 50 %

Execuția acestui interstrat se face prin așternerea unei cantități mari de bitum pe stratul suport și desfășurarea unui fabricat special. Solicitățile datorate contracției stratului suport sunt transmise lateral în corpul interstratului și absorbite.

Se menționează că aceste interstraturi au o funcție secundară (dar importantă) de impermeabilizare a straturilor superioare ale structurii rutiere.

La întrebarea: “care din cele două tipuri de sisteme dă cele mai bune rezultate în procesul de întârziere a transmiterii fisurilor?” opiniile specialiștilor sunt împărțite.

Materialele de ranforsare – reducere a stării de tensiune combină avantajele celor două tipuri de sisteme. Caracteristicile materialelor “combinat” se situează în zona de mijloc între cele de ranforsare, cu rezistența la întindere mare și alungirea mică și cele de

reducere a stării de tensiune, cu rezistență la întindere mică și alungire mare, așa cum reiese din fig.2.3.

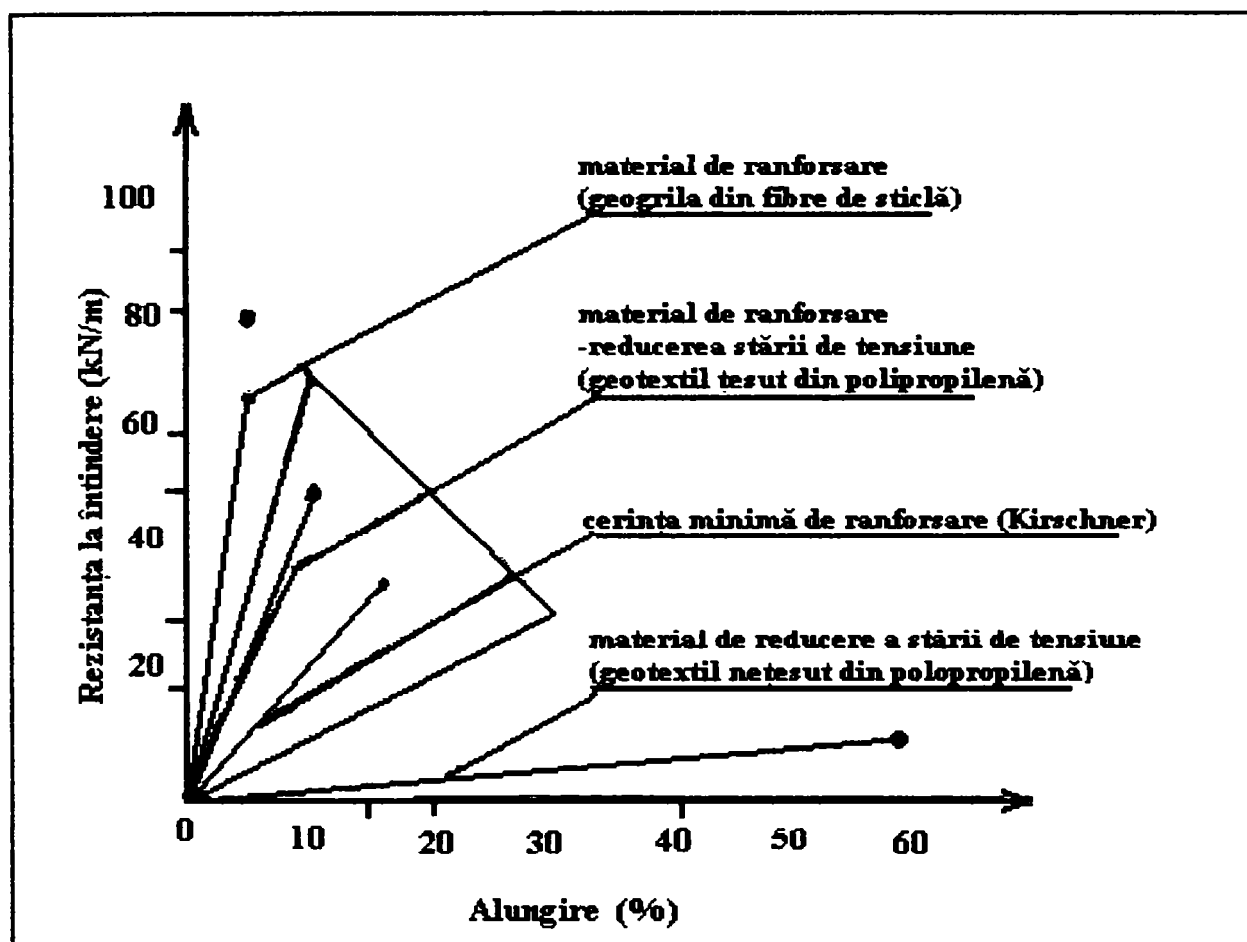


Fig.2.3 Starea de tensiune a materialelor de ranforsare

Ca o concluzie se evidențiază utilizarea următoarelor materiale la execuția interstraturilor:

- geotextile țesute sau netesute, rețele metalice din fibre de sticlă sau sintetice, din polipropilenă, utilizate în general în sistemele de reducere a stării de tensiune ( Anglia, Belarusia, Polonia, Rusia, Scoția, Ucraina);

- geogridurile metalice din fibre de sticlă sau sintetice din polipropilenă, utilizate în general în sistemele de ranforsare a îmbrăcămintei bituminoase (Belgia, Bielorusia, Finlanda, Franța, Olanda, Suedia). Utilizarea acestora permite reducerea grosimii necesare a îmbrăcămintei bituminoase cu 22 – 25 %;

- materiale compozite, alcătuite dintr-o geogrilă din fibre de sticlă montată pe un geotextil neșesut din polipropilenă – Gasphat (Elveția) sau dintr-o grilă rigidă din polipropilenă montată pe un geotextil (Anglia).

Tehnica de fisurare a interstratului prezintă influență asupra eficienței soluției. O tehnică de fixare care prezintă avantaje este înglobarea materialului în slurry –seal.

Alte tehnologii, care au dat rezultate în unele condiții, constau dintr-un tratament de suprafață, armat cu fibre, alcătuit prin interpunerea unor fibre de sticlă tăiate in situ, între două straturi de liant, aplicat sub formă de emulsie, de preferință un bitum elastomer (Franța).

Avantajele acestui tratament de suprafață constau din eficiența la transmiterea fisurilor, simplitatea și rapiditatea execuției și în consecință o creștere redusă a costului, în raport cu cel al unui tratament de suprafață clasic.

În prezent se utilizează două tehnici :

-S.A.M. ( Stress Absorbing Membran), în care tratamentul armat constituie un strat de rulare provizoriu sau definitiv;

-S.A.M.I. (Stress Absorbing Membran Interlayer), interpus între stratul de rulare și suportul acestuia.

Interstratul de reducere a stării de tensiune poate fi alcătuit și dintr-o mixtură asfaltică (Franța). Astfel, se consideră ca mortarul asfaltic cu fibre este un material eficient, adăosul de fibre îmbunătățind rezistența la fluaj a mortarului asfaltic și având o influență pozitivă asupra rezistenței la fisurare (Bicomplex).

Reiese deci, că nu s-a remarcat un material optim în alcătuirea interstratului, eficiența geotextilelor neșesute fiind confirmată doar pentru o perioadă de 2...3 ani.

Eficiența sistemelor de întârziere a transmiterii fisurilor depinde de rezistența la fisurare a materialului.

Reprezentarea în figura 2.4 a rezultatelor încercărilor de fisurare termică (la o temperatură de  $-10^{\circ}\text{C}$  și în cazul unei grosimi de 6,3 cm a îmbrăcămintei bituminoase) permite compararea calității diferitelor materiale.

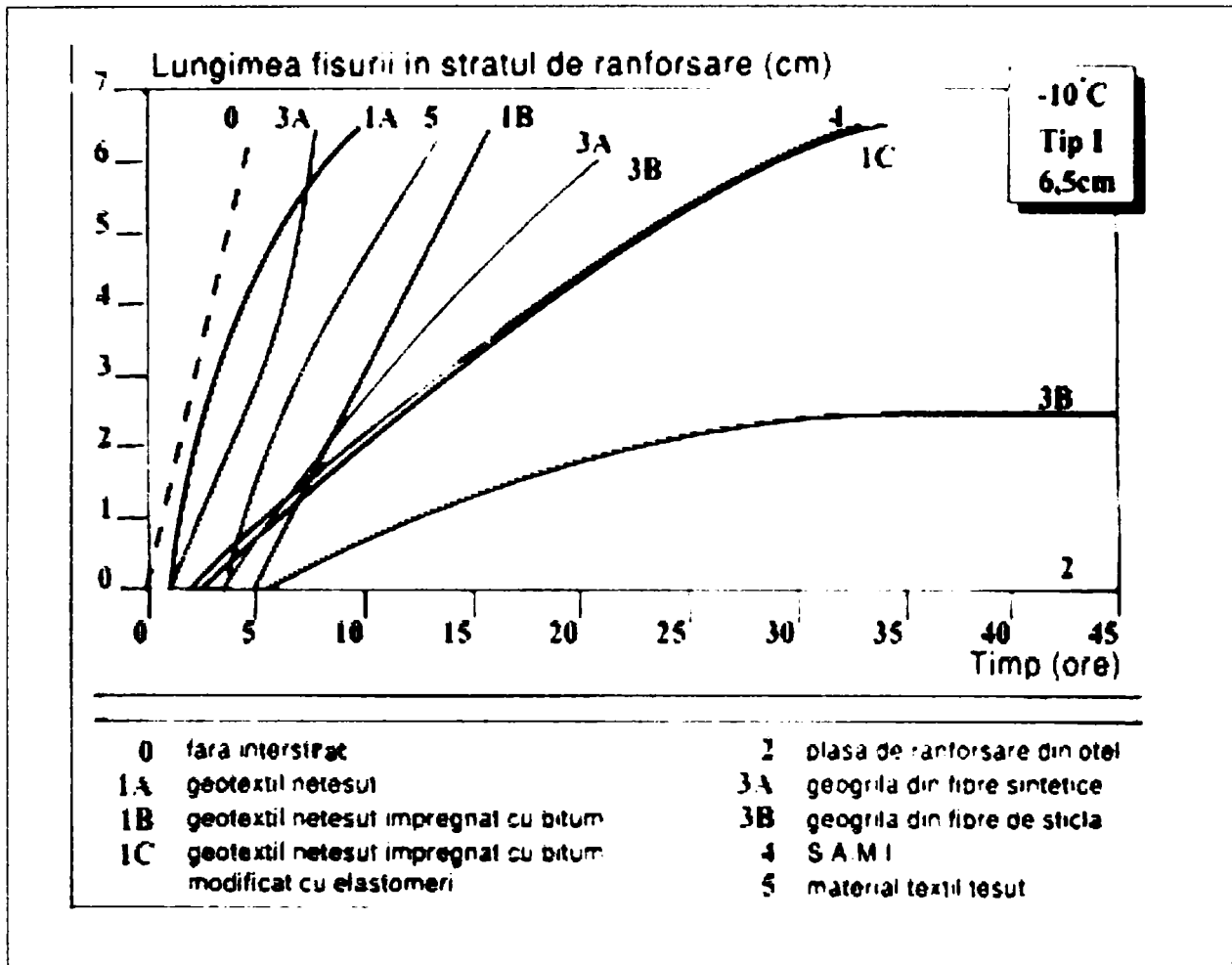


Fig. 2.4. Încercări de fisurare termică

Posibilitățile tehnice ale diferitelor sisteme de a încetini transmiterea la suprafață a fisurilor sunt date în tabelul 2. 1, în funcție de tipul fisurii.

(++ soluție bună )

( + soluție posibilă)

( - nu reprezintă o soluție)



Tabelul 2.1

Tipul fisurii	Interstrat						Straturi din mixtura asfaltica
	Geotextile		Geogriile		SAMI	Mixturi asf cu fibre	
	metalice	Material plastic	Metalice	Material plastic			
A	++	++	++	++	++	++	+
B	++	+	++	+	-	+	-

În tabelul 2.2 sunt prezentate posibilitățile tehnice ale diferitelor sisteme de a remedia diversele tipuri de degradări din îmbrăcămintea bituminoasă existentă.

Tabelul 2.2

Tipul degradării	Interstrat						Straturi din mixtura asfaltica
	Geotextile		Geogriile		SAM I	Mixtu ri asf cu fibre	
	Metalic e	Materi al plastic	metali ce	Material plastic			
Crăpături longitudinale							
-oboseală	++	++	++	++	+	++	+
-între structură și banda de lărgire	++	++	++	++	-	-	-
Crăpături transversale	++	++	++	++	+	+	+
Dezlipirea îmbrăcăminții	++	+	++	+	-	-	-
Făgașe:							
-primare	++	+	++	+	-	-	++
	+	-	+	-	-	-	+
Ondulări	+	-	+	-	-	-	+

Cea mai importantă soluție de prevenire a transmiterii fisurilor este însuși stratul bituminos.

Grosimea lui și performanțele mecanice ale mixturii asfaltice influențează durata de viață finală a drumului reabilitat, chiar dacă noul strat bituminos este executat pe un interstrat corespunzător.

Este posibil să se ajungă la o rezistență la fisurare mai mare, modificând compoziția sau constituenții mixturii asfaltice. Utilizarea fibrelor și a lianților modificați cu polimeri a fost considerată eficientă, de numeroși autori. Mortarul asfaltic poate fi considerat, de asemenea, un material bun antifisură, dacă este îmbunătățit cu fibre sau cu bitum-polimer.

### **2.8. Fisurarea îmbrăcăminților rutiere și combaterea fisurilor**

Degradarea îmbrăcăminților rutiere începe o dată cu debutul formării fisurilor. Fisurile încep să se dezvolte în interiorul straturilor rutiere și din această cauză, momentul debutului lor nu poate fi cunoscut. Ele se propagă spre suprafața îmbrăcăminților și indică un mecanism de deteriorare, prin obținerea materialelor componente a acestora. Se produc fisuri individuale (longitudinale și transversale) și multiple (localizate sau dezvoltate pe suprafețe întinse).

În cazul îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, fisurile se datorează contracției betonului, deplasărilor produse de variațiile de temperatură, mișcărilor patului de pământ al drumului (umezirii sau uscării pământului, fenomenului de îngheț-dezghet, tasării pământului), neuniformității grosimii și rezistenței fundație etc.

În cazul îmbrăcăminților bituminoase se poate produce o fisurare fină pe suprafața îmbrăcămintei, datorită îmbătrânirii bitumului, când îmbrăcămintea devine friabilă. Fisurile și crăpăturile pot fi generate de rosturi ale straturilor inferioare, unde pot avea loc deplasări diferențiate deoarece constituie suporturi discontinue, de încărcările mari din trafic și din variația temperaturii și, de asemenea, de cauzele enumerate la îmbrăcămințile din beton de ciment (umezirea sau uscarea patului de pământ, fenomenul de îngheț-dezghet, tasarea patului și a altor straturi, neuniformitatea grosimii și a rezistenței fundației etc.).

O cauză importantă a producerii fisurilor și crăpăturilor este scăderea capacității portante a straturilor rutiere datorate fie umezirii excesive a patului de pământ, fie fenomenului de oboseală a patului și a straturilor, fie creșterii traficului.

Sunt trei feluri de soluții constructive pentru întârzierea și atenuarea fenomenului de fisurare a îmbrăcămintilor de drumuri:

- prin remedierea cauzelor declanșării acestui fenomen. De exemplu, este posibil ca prin executarea unor drenuri la marginile părții carosabile, să crească rezistența patului de pământ al drumurilor. Sau executarea la timp a ranforsării unei structuri rutiere, prin creșterea grosimii sale, mărește timpul de propagare a fisurilor;

- prin prevenirea propagării în continuare a fisurilor, când se pot aplica, de asemenea drenuri și straturi de ranforsare;

- prin luarea unor măsuri constructive de micșorare a efectelor fisurilor și crăpăturilor, cum sunt:

- îmbunătățirea proprietăților stratului superior utilizând bitumuri și agregate naturale granulare cu caracteristici superioare;

- executarea sub stratul de ranforsare, pe îmbrăcămintile rutiere fisurate și crăpate, ce constituie suporturi discontinue pentru straturile de ranforsare, a unui interstrat, care absoarbe eforturi și deformații, întârzie propagarea fisurilor în straturile superioare. Este cazul folosirii geotextilelor. Absorbirea eforturilor și prevenirea propagării fisurilor se datorează modulului scăzut al geotextilelor, iar bitumului ce impregnează geotextilul i se atribuie un rol de distribuire a eforturilor între cele două straturi. Geotextilul acționează ca un schelet ce asigură o grosime optimă a peliculelor de bitum;

- se mai folosesc soluții de armare cu geogriile și geocompozite a straturilor rutiere, tratamente de suprafață armate cu diverse fibre, etc.

## **2.9. Determinări și evaluări efectuate asupra tehnologiilor antifisuri**

Literatura de specialitate evidențiază eforturile deosebite efectuate în scopul modelării în laborator a mecanismului de fisurare a materialelor, ținându-se seama de faptul că nu există o standardizare pentru mixturile asfaltice care se opun transmiterii fisurilor existente, fisuri din contracție, în particular alegerea unei compoziții optime pentru obținerea efectului de întârziere maxim și luând în considerare realitatea că

sistemele antifisuri sunt în general puse la punct plecând de la observații în situ, pe sectoare de încercare cu martor.

Modelarea în laborator a mecanismului de fisurare este evidențiată printr-o multitudine de încercări bazate pe diverse principii și care au fost utilizate pentru determinarea rezistenței la fisurare a mixturilor asfaltice și pentru cuantificarea efectelor sistemelor de prevenire a transmiterii fisurilor.

Numeroase tentative vizează o clasificare calitativă a produselor, în condiții de încercare bine definite.

În prezent, încercările sunt deseori utilizate pentru a furniza parametrii necesari modelării matematice a fenomenului, prin metoda elementelor finite.

Pentru evaluarea soluțiilor de remediere a fisurilor s-au folosit noțiunea de „indice de fisurare”,  $I$ , calculat în raport cu frecvența apariției fisurilor înaintea aplicării acestor tehnologii.

Indicele de fisurare se definește ca raportul dintre numărul de fisuri observate după aplicarea tehnologiei antifisuri și numărul de fisuri existente înaintea execuției lucrărilor.

Pentru aprecierea nivelului de gravitate al fisurării, se aplică principiul următor, în funcție de starea de fisurare:

- apariția fină, considerată o semifisură;
- fisura de lungime mai mare de 0,5 m, considerată o fisură;
- fisura ramificată și divizată, indiferent de lungime, considerată o fisură și jumătate;
- fisura foarte degradată cu dislocări de materiale, (groapa, faianțarea) considerată două fisuri.

Indicele fisurilor corectate reapărute în raport cu cele existente înaintea lucrărilor, se calculează după un număr de ierni stabilit

O altă modalitate folosită în tehnica rutieră franceză de evidențiere a randamentului unei soluții testate este, „eficacitatea relativă” în raport cu tehnologia martor, din punct de vedere al timpului de transmitere al unei fisuri printr-un anumit material în condiții de laborator.

Eficacitatea procedurii testat de împiedicare a transmiterii fisurilor,  $r$ , este definit în literatura de specialitate franceză, ca un raport dintre timpul de fisurare a complexului rutier testat și timpul de fisurare a complexului rutier martor.

Modalitatea de apreciere este cea prezentată în tabelul 2.3:

Tabelul 2.3

$r = \frac{\text{timp de fisurare a straturilor fisurate}}{\text{timp de fisurare a mortarului}}$	Aviz tehnic
$r < 0.7$	Tehnologie ineficace
$0.7 < r < 0.9$	Tehnologie cu eficacitate medie
$r > 0.9$	Tehnologie foarte eficace

Constatările relevă importanța deosebită a efectului de întârziere a transmiterii fisurilor.

Este demn de reținut faptul că acele câteva fisuri care în final reapar, rămân foarte fine, nu se degradează și prin urmare nu necesită o întreținere specifică.

### 2.9.1. Determinări de laborator efectuate asupra complexelor antifisuri

Eficiența complexelor antifisuri proiectate trebuie urmărită pe sectoare experimentale pentru a putea trage concluzii, dar în prealabil aceste tehnologii trebuie testate în laborator pentru a se putea evidenția rolul lor în împiedicarea transmiterii fisurilor.

#### 2.9.1.1. Determinarea la contracție – încovoiere ( L.R.P.C d' Autun)

Pentru diferite procedee dezvoltate: mortar asfaltic, geogridurile, geotextilele, fibrele, etc., interpusse între stratul fisurat și noul strat de uzură, s-a dorit evaluarea eficacității acestora, prin încercarea de laborator dezvoltată la LRPC d' Autun.

Aceasta permite determinarea timpului de transmitere a unei fisuri printr-un anumit material (fig .2.5).

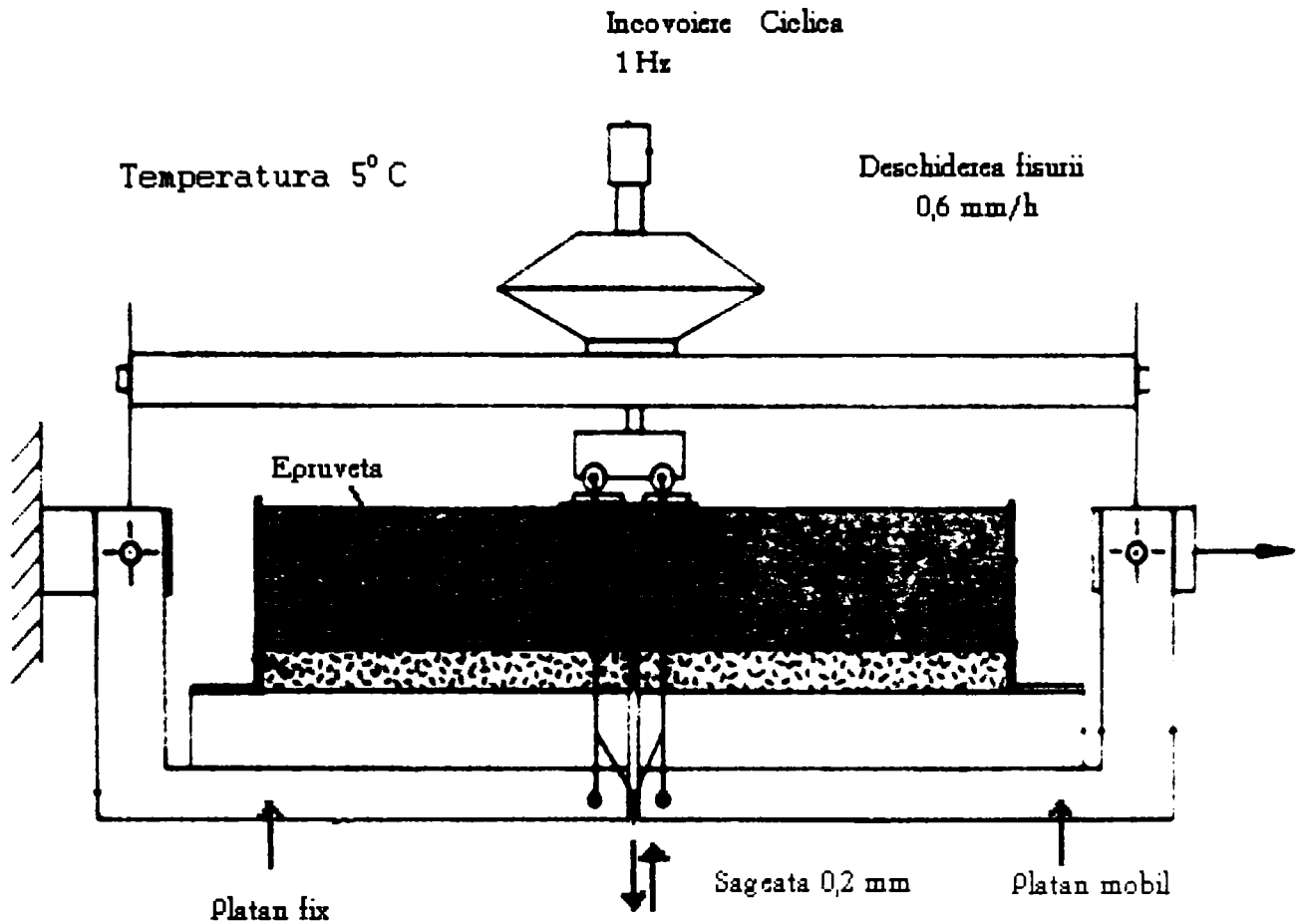


Fig. 2.5 Aparat pentru testarea eficienței tehnologiei antifisuri

Încercarea constă în a aplica materialului testat o solicitare la încovoiere alternantă (simulând traficul) combinată cu un efort de tracțiune longitudinală permanentă și foarte lentă (simulând contracția termică). Concepția de realizare a mașinii permite crearea unui efect de tăiere în dreptul fisurii, ceea ce face să varieze, într-o foarte largă gamă, parametrii încărcării (temperatura, frecvența solicitării, viteza de deschidere a fisurii).

Pentru aceasta a fost creat un aparat (fig.2.5) care prin încercarea de contracție – încovoiere, simulează concomitent tensiunile induse de variațiile de temperatură și efectul traficului greu.

Determinarea se efectuează într-o incintă cu temperatura constantă (+5 °C) în modul următor:

- contracția termică a straturilor fisurate este simulată prin deplasarea platanului mobil cu o viteză medie de 0,01 mm/min (viteză care corespunde unei viteze de descreștere 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 .

Epruveta paralelipipedică este astfel realizată:

- un strat suport de 15 mm grosime, prefisurat în mijlocul său (mediul său);
- produsul antifisură de studiat;
- un strat de uzură care poate să fie un beton bituminos 0/10 de 6 cm grosime, fie un material specific complexului de studiat.

Rezultatul încercării este luat ca medie pe trei epruvete, reprezentând variația lungimii fisurii în raport cu timpul relativ - se obțin informații privind momentul de amorsare a fisurii și timpul de rupere și este exprimat relativ la comportamentul unui complex martor alcătuit din 2 cm de mortar 0/4 cu bitum 80/100, sub un beton asfaltic de 6 cm 0/10, realizat cu bitum 50/70, ca strat de uzură.

Încercarea întindere - compresiune, poate contribui în mod util la punerea la punct sau la proiectarea acestor procedee de împiedicare a transmiterii fisurilor. Această încercare nu are un caracter predictiv direct al comportamentului în teren, ci doar permite situarea mixturii asfaltice sau a sistemului de mixturi asfaltice, în raport de martori binecunoscuți în laborator.

Este foarte importantă – pe lângă încercarea la întindere – compresiune d'Autun- și încercarea de ornieraj, deoarece, la proiectarea și experimentarea acestor tehnologii antifisuri, trebuie găsit un compromis (mai bine zis un echilibru) între exigențele contradictorii: eficacitatea straturilor antifisuri care conțin mixturi asfaltice noi și plastice și stabilitatea la ornieraj a mixturilor asfaltice inflexibile.

Rezultatele încercării de contracție-încovoiere reprezentate grafic, conform fig. 2.5, oferă informații privind momentul de amorsare a fisurii, viteza de propagare a fisurii și timpul de rupere prin care se estimează eficiența materialului studiat.

În Franța, materialul etalon pentru comparația tuturor rezultatelor este bistratul format din 2 cm mortar asfaltic și 6 cm beton asfaltic.

Se acceptă, de asemenea, pentru comparație și stratul de 6 cm beton asfaltic.

### 2.9.1.2. Fisurometru E.N.T.P.E. / Gerland”

Simularea în laborator a fenomenului de transmitere a fisurilor se face cu aparatul fisurometru E.N.T.P.E./Gerland (Ecole Nationale de Travaux Publics de l'Etat în colaboarare cu întreprinderea Gerland Routes ), alcătuit dintr-un ansamblu de captatori de tensiuni și deformații plastice, un sistem de transmitere ultrasonoră favorizând urmărirea evoluției fisurării în stratul de uzură, în dreptul fisurii din stratul suport.

Aparatul (fig. 2.6) permite aplicarea unor cicluri de forfecare a unei epruvete din stratul (straturile) superior (superioare) ale drumului. Forma și dimensiunile epruvetei sunt reprezentate în fig. 2.7.

Parametrii solicitării sunt:

- temperatura ( $\theta$ );
- viteza deschiderii și închiderii platanului mobil ( $v$ );
- amplitudinea deschiderii platanului mobil ( $e$ );

Parametrul geometric este grosimea stratului de uzură.

Viteza  $v$  și amplitudinea  $e$  a deplasării platanului mobil este reglabilă în limitele următoare:

- $0 < e < 20$  mm;
- $1,25 < v < 11$  mm/h.

Aparatul permite simularea în laborator a fenomenului de transmitere a fisurilor date de contractia termică. Concepția sa actuală nu permite introducerea solicitărilor mecanice provocate de o fisurare în modul II, produsă de trecerea vehiculelor. (fig 2.8).

Trei criterii permit caracterizarea evoluției microfisurării stratului de uzură și pot defini un criteriu practic de sensibilitate a structurilor rutiere în ceea ce privește transmiterea fisurilor.



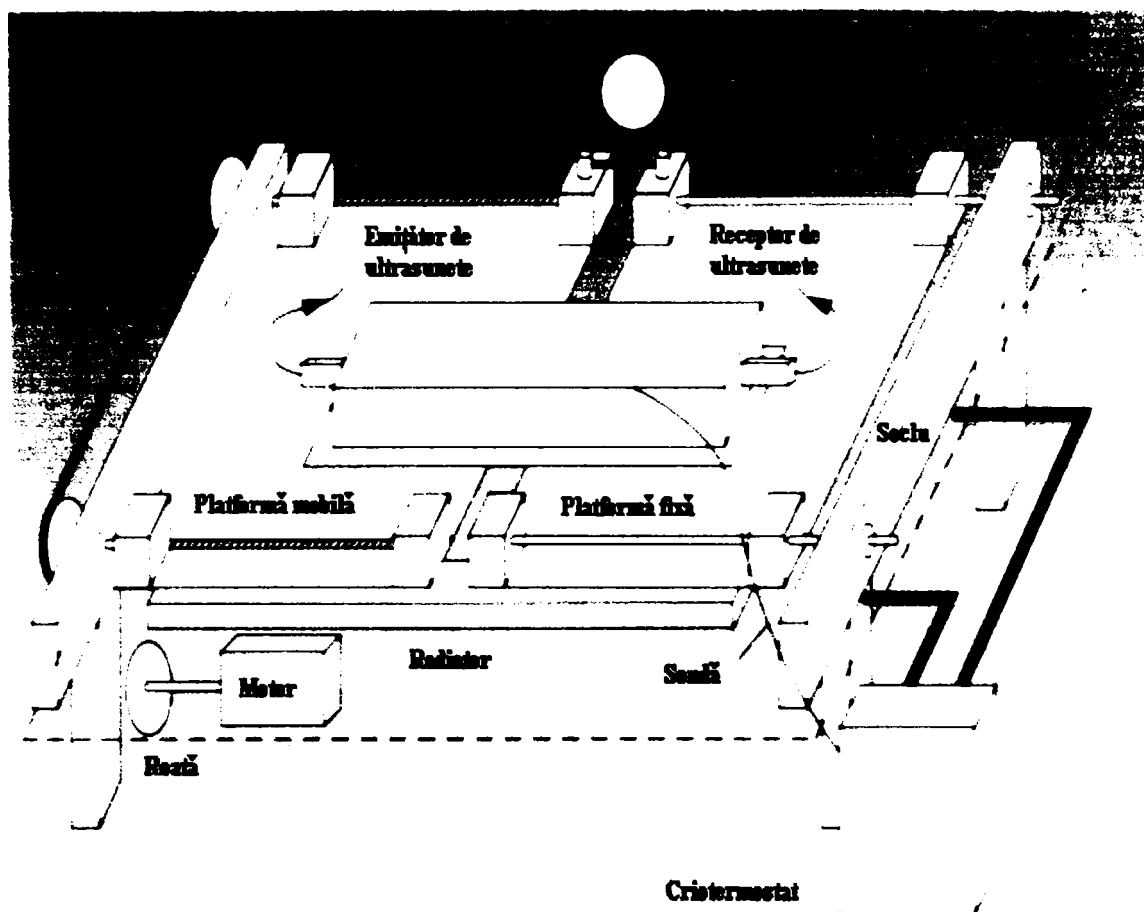


Fig. 2.6. Schema aparatului E.N.T.P.E./Gerland.

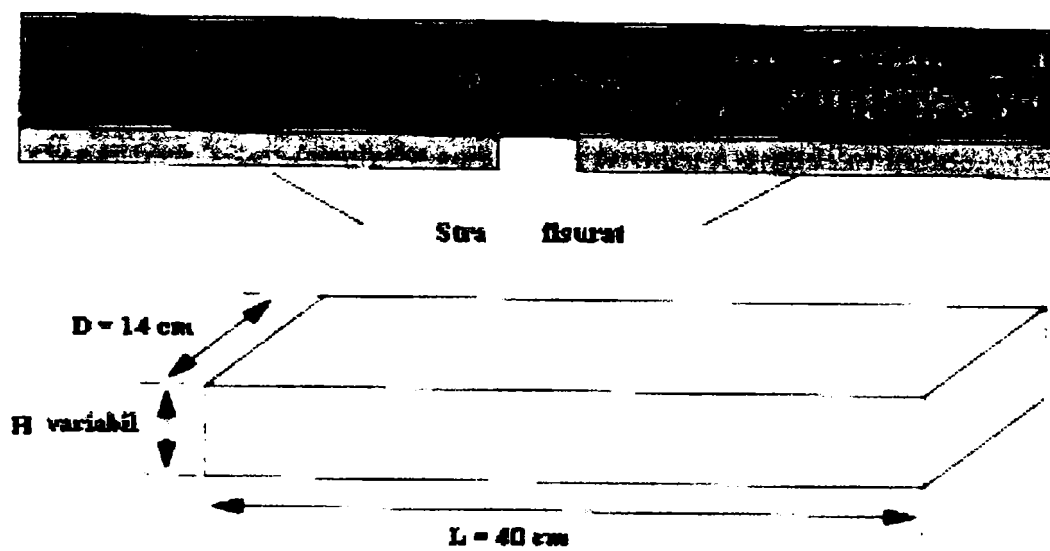


Fig. 2.7. Geometria epruvetei.

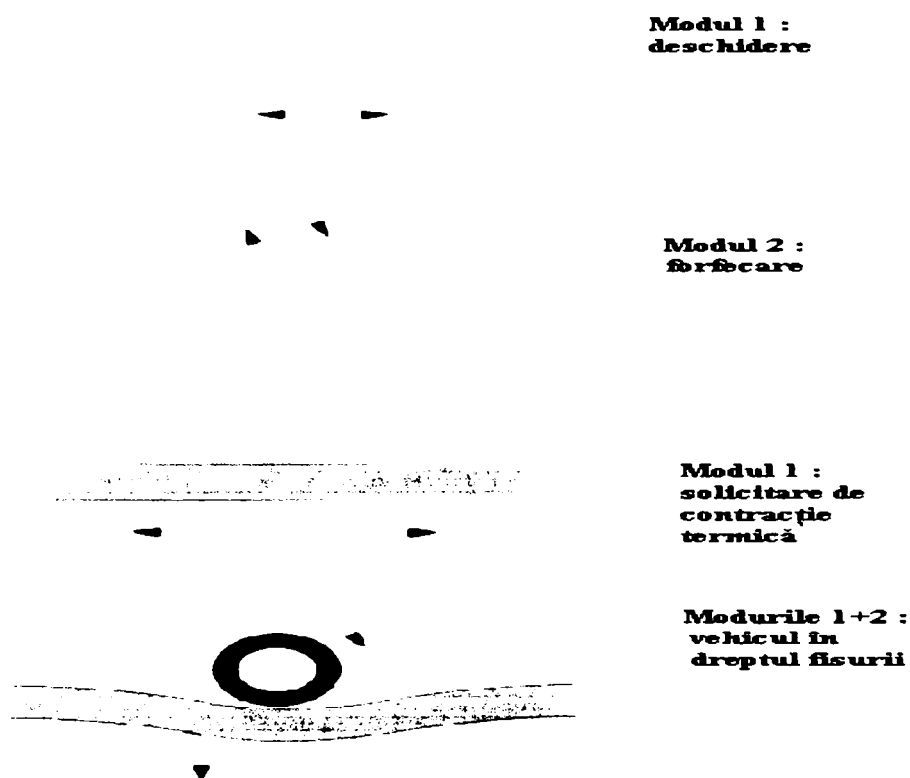


Fig. 2.8. Modul de fisurare a structurilor rutiere mixte

### 2.9.1.3. Încercarea de contracție la temperatură scăzută

Centrul de cercetări rutiere din Bruxelles (C.R.R.) a dezvoltat un test pentru complexe antifisuri, prin simularea contracției termice a straturilor tratate.

Această încercare se efectuează la  $-10^{\circ}\text{C}$ . Epruveta este alcătuită dintr-un complex antifisuri și un strat de uzură, fiind supus la ciclul de deschidere și închidere a rostului, de 4 cm. Viteza de deschidere a rostului este de 9 mm/h.

Ciclurile sunt menținute până la ruperea stratului de uzură sau dezlipirea la interfață (tabelul 2.4)

Tabelul 2.4

Epruveta	Martor	Liant 1 7.5 % SBS	Liant 2 6 % SBS
Nr de cicluri până la rupere	3	19	4

#### 2.9.1.4. Încercarea la smulgere

Evaluarea aderenței dintre straturile ce alcătuiesc complexul pentru a evita oboseala prematură și eventuala rupere a stratului de suprafață (uzură), se face pornind de la încercarea de smulgere (fig.2.9).

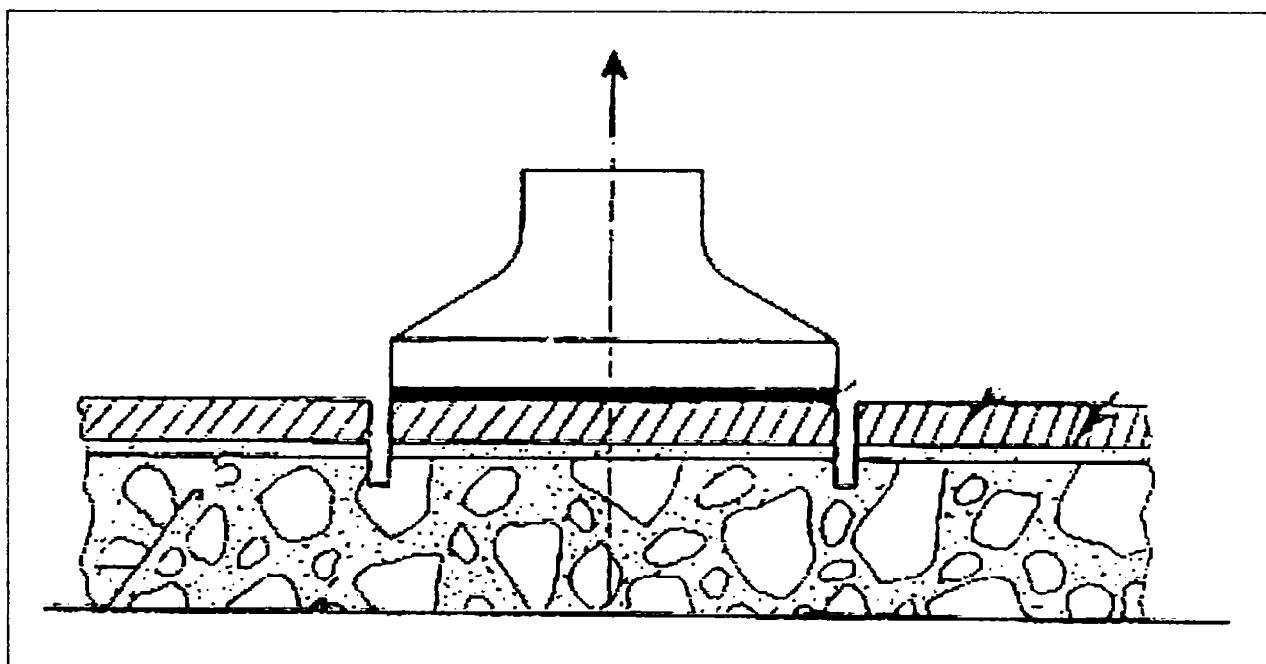


Fig. 2.9 Schema încercării de smulgere.

Probele pătrate de 5 cm, sunt decupate prin tăiere, până la suport și apoi supuse la tracțiune, la viteza de deplasare impusă la 1,65 mm/min. tabelul 2.5 oferă rezultatele obținute, ce caracterizează lipirea diferitelor straturi care nu s-au rupt, în ciuda deformațiilor sau tensiunilor impuse.

Tabelul 2.5

Temperatura încercării, în °C	-10 °C	10 °C	20 °C
	>2,0	0,32	0,16

### 2.9.1.5. Încercarea de ornieraj

Întrucât încercarea de smulgere caracterizează eficacitatea complexelor antifisuri la temperatură joasă, a fost necesară completarea acesteia cu încercarea de ornieraj, la temperatura cea mai mare de lucru.

Această temperatură, sub o îmbrăcăminte bituminoasă de 4 cm, este în jurul valorii de 45 °C (în Franța); această valoare a fost reținută ca temperatura de referință pentru această încercare. Epruveta testată este constituită dintr-un strat suport din anrobat bituminos (rezistent la formarea fâgașelor) al complexului rutier și un strat de uzură din beton asfaltic pur.

Această încercare permite:

- stabilirea grosimii membranei;
- determinarea grosimii îmbrăcămintei bituminoase, în funcție de intensitatea traficului, caracteristicile geometrice ale traseului drumului și caracteristicile liantului.

Se mai cunoaște de asemenea și încercarea de etanșitate, în cadrul căreia epruvetele stratului de uzură (care pot fi fisurate) după încercarea la contracție-încovoiere, fac obiectul de etanșitate sub o coloană de apă de 40 cm, timp de mai multe săptămâni. Această încercare arată dacă etanșitatea poate fi conservată și membrana nu s-a rupt, chiar dacă au apărut fisuri la suprafață.

## CAPITOLUL 3

**PREVENIREA ȘI REMEDIEREA FISURILOR**

În acest moment, o problemă deosebit de dificilă o constituie găsirea unor soluții optime pentru acele sectoare de drum al căror grad avansat de fisurare pune în pericol eficiența lucrărilor de reparații și ranforsare, în special în cazul unor suprafețe cu fisuri agresive (cazul betoanelor de ciment puternic degradate).

Este binecunoscut faptul că, indiferent de soluția aleasă, fisurile existente în stratul suport vor traversa în timp, straturile asfaltice care se aștern, motiv pentru care nu se poate vorbi efectiv despre: “soluții antifisură”, ci despre “soluții de întârziere a transiterii fisurilor”.

**3.1. Generalități**

Straturile din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici prezintă a serie de fisuri datorate contracției termice, variațiilor termice exterioare, (care conduc la deplasări orizontale ale marginilor fisurii) și traficului greu, cât și altor cauze mai rar manifestate, dintre care pot fi menționate:

- geometria drumului (profil longitudinal, curbe sau aliniamente);
- tehnicile de așternere și de compactare a straturilor bituminoase;
- umflarea solurilor argiloase.

Apariția fisurilor fiind inevitabilă, trebuie împiedicată a se transmite la stratul superior prin conceperea și experimentarea unor tehnologii atât pentru prevenirea cât și pentru remedierea procesului de fisurare. Propagarea acestor fisuri prin straturile bituminoase superioare, în general nu poate fi evitată. Fisurile fixe care nu influențează negativ uniformitatea suprafeței de rulare constituie o comportare normală a structurilor rutiere mixte.

Se impune evitarea situației când fisurile se lărgesc, iar suprafața din jurul lor se degradează progresiv, afectând confortul și siguranța circulației și chiar comportarea mecanică a structurii rutiere, ceea ce implică necesitatea întreținerii structurale, ca să

avem o suprafață cu o uniformitate corespunzătoare cu fisuri fine cu deschideri reduse în timpul iernii și la distanțe mici pentru evitarea concentrării eforturilor.

Deci trebuie avute în vedere următoarele:

- deschiderea fisurilor să fie redusă în timpul iernii;
- evoluția procesului de fisurare să nu conducă la degradarea îmbrăcăminteii până la sfârșitul perioadei de exploatare prognozată.

Se știe că deschiderea fisurilor depinde de distanța dintre fisuri și coeficientul de dilatație termică a agregatelor naturale utilizate (trebuie evitate agregatele silicioase)

De asemenea putem spune că distanța dintre fisuri este condiționată de:

- calitatea legăturii dintre stratul rutier din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici și suportul său. O legătură bună induce fisuri mai dese și deci mai fine, în timp ce pentru o legătură necorespunzătoare se obține o distanță mare între fisuri, dar acestea sunt mai deschise.

- caracteristicile mecanice în momentul fisurării. La rezistențe mecanice ridicate (rigiditate mare), fisurile sunt depărtate și deschise în timp ce pentru rezistențe mecanice mai mici (puțin rigide), se obțin fisuri mai dese și mai fine.

Se impune evitarea suprapunerii a doi sau mai mulți factori care favorizează obținerea în timp scurt a unei rigidități ridicate, dintre care se pot enumera:

- lianți hidraulici cu întărire rapidă;
- dozaje ridicate de liant;
- temperaturile mari la punerea în operă;
- utilizarea unor agregate naturale cu diametrul granulelor mai mare de 20 mm.

### **3.2. Tehnologii rutiere antifisuri**

Fisurarea din contracție a agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în cazul straturilor rutiere cu comportare monolită este inevitabilă și constituie materializarea deformațiilor și eforturilor sub efectul traficului și al variațiilor de temperatură.

Tehnologiile aplicate pe suprafețele fisurate sau pe suprafețele care pot deveni fisurate, țin seama de faptul că straturile rutiere din agregate naturale stabilizate cu

lianți hidraulici sau puzzolanici nu funcționează ca un element monolit, ci ca un element microfisurat, iar comportarea lor în exploatare este intermediară între straturile monolit și cele obținute din agregate naturale stabilizate mecanic și trebuie să urmărească reducerea la maxim a vitezei de propagare a fisurilor, dacă nu se poate împiedica apariția la nivelul superior al îmbrăcăminteii.

Tehnologiile realizate pe plan mondial pentru împiedicarea transmiterii fisurilor din contracție, dezvoltate în straturile din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, prin straturile bituminoase superioare se împart în două:

- tehnologii pentru provocarea și localizarea fisurilor;
- tehnologii pentru stoparea transmiterii fisurilor prin straturile bituminoase ( de suprafață sau de interpunere).

În țara noastră, tehnologiile rutiere antifisuri se bazează pe folosirea geotextilelor, geogriurilor și a mixturilor asfaltice.

De asemenea, în perioada anilor '70, a fost realizată în premieră în România, soluția structurilor rutiere inverse, pentru evitarea apariției fisurilor de contracție la nivelul suprafeței de rulare.

Dintre tehnologiile rutiere antifisuri cunoscute, am studiat și experimentat:

- structuri rutiere inverse;
- interpunerea unor mixturi asfaltice antifisuri;
- tehnologii de interpunere, bazate pe utilizarea geotextilelor

### **3.2.1. Tehnologii pentru provocarea fisurilor**

Prin provocarea și localizarea fisurilor din contracție în straturile rutiere din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici se urmăresc următoarele:

- stabilirea poziției fisurii cu facilitățile determinate de întreținerea ușoară cât și prin intervențiile necesare pentru a-i reduce efectele;

- se reduce pasul dintre fisuri și implicit deschiderea acestora cu implicații directe asupra concentrării de eforturi mai mici în stratul bituminos superior, în vecinătatea zonei fisurate.

Aceste tehnologii constau în:

- crearea de fisuri ordonate prin ajustarea tehnologiilor de realizare a rosturilor la îmbrăcămințile din beton de ciment;
- crearea de fisuri neordonate, fără a ține seama de locul apariției și de forma acestora.

Din categoria fisurărilor ordonate se remarcă:

- micșorarea locală a grosimii stratului rutier. În această situație se aplică principiul potrivit căruia, fisurile din contracție apar în secțiunile transversale cele mai slabe ale stratului. Pentru aceasta se micșorează grosimea stratului cu ajutorul unor materiale (profiluri din cauciuc, rigle din lemn, etc.) cu cca 1/10 în zone stabilite și se obține o fisurare regulată a stratului rutier ca urmare a contracției.

Experimentările efectuate în Franța au condus la următoarele concluzii asupra celor două soluții:

- poziționarea unui profil de cauciuc la interfața dintre stratul suport și cel stabilizat, conduce la apariția unei fisuri în secțiunea respectivă;
- prezența unui profil de cauciuc la mijlocul stratului provoacă o rupere a acestuia în plan orizontal prin zona profilului, fisura transversală nefiind obligatoriu regulată;
- montarea acestor profile este o operație grea, înglobând multă manoperă, fapt pentru care tehnologia este destul de puțin utilizată.

Rosturi tăiate. Tehnologia constă în tăierea unor rosturi la distanțe egale, bine stabilite în stratul din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici la sfârșitul compactării, cu ajutorul unui utilaj special. Tăierea rostului se face cu un cuțit fixat pe cilindrul vibrant, care taie printr-o folie de polietilenă, pentru evitarea deteriorării marginilor rostului.

Acest procedeu și-a demonstrat eficiența în Franța. Astfel, la distanța de 3; 5 și 7 m, a evidențiat următoarea evoluție a procesului de fisurare în timp: după primele ierni n-au apărut fisuri pe primul sector (distanța dintre rosturi de 3 m); o începere a fisurării este vizibilă pe al doilea și fisurarea este completă pe ultimul rost.

Rosturi active. Rostul activ creează discontinuități regulate la distanțe reduse în stratul rutier cu deschidere mică și fără concentrări de eforturi și asigură continuitatea



mecanică a structurii rutiere față de solicitările verticale; fapt ce se realizează prin forma sinusoidală a profilului introdus în stratul rutier care limitează deplasările dalelor la trecerea vehiculelor. Concomitent cu aceasta îmbunătățește îmbinarea dintre dalele adiacente pe timpul iernii (când deschiderea fisurilor este maximă), permițând o bună repartizare a eforturilor de la o dală la alta și datorită distanței reduse dintre rosturi (2,0 m) face ca deschiderea fisurilor să fie redusă, dalele conlucrând între ele într-o anumită măsură.

Profilul ondulat din material plastic se introduce cu ajutorul unui utilaj în stratul proaspăt, încât să fie la maxim 4,0 cm de partea superioară

În figura 3.1 este prezentată tehnologia rosturilor active.

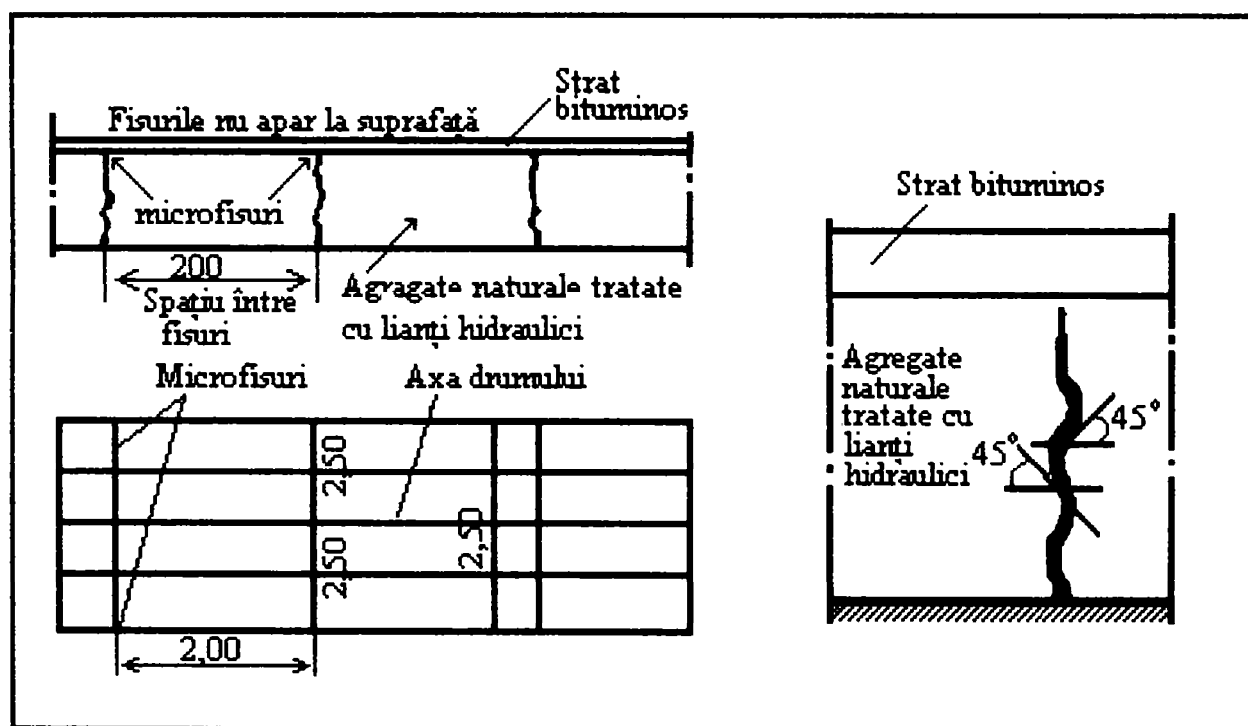


Fig. 3.1 Tehnologia rosturilor active.

#### Prefisurarea cu emulsie bituminoasă (CRAFT)

Această tehnologie crează fisuri pe toată înălțimea stratului din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici la punerea acestuia în operă, alegându-se distanța (2...3 m) dintre acestea și atenuează efectele lor.

A fost experimentată în anul 1988 în Franța, fiind numită CRAFT (Creation Automatique de Fissures Transversales) concepându-se un utilaj special care permite crearea automată a fisurilor transversale prin acest procedeu care asociază o acțiune mecanică (realizarea fisurii prin tăiere) și o acțiune chimică (interpunerea între fisuri).

Emulsia bituminoasă cationică cu rupere rapidă, în acest caz are următoarele efecte:

- prin faza sa apoasă cu pH redus, ea încetinește priza liantului, favorizând crearea unei zone de rezistențe mecanice mai mici - localizează fisurarea;

- prin faza dispersată (bituminoasă), crează o discontinuitate permanentă, permițând prelocalizarea fisurilor, dar și impermeabilitatea zonelor respective

Utilajul este format dintr-un tractor cu echipamentul de prefisurare montat frontal. Brațul de manipulare articulată sub formă de compas, permite poziționarea lui la marginea stratului suport și tăierea acestuia (max. 30 cm) și pe o lățime de max. 3,50 m. Operația de tăiere este înlesnită printr-un dispozitiv de vibrare. Concomitent cu tăierea, se face și injectarea emulsiei bituminoase în discontinuitatea creată. Reglarea operațiilor se face automat.

După terminarea operației de prefisurare, se trece la compactarea stratului și la continuarea procesului tehnologic de execuție a structurilor mixte.

Aceste experimentări au demonstrat că prefisurarea CRAFT este mai eficientă decât 5...6 cm de beton asfaltic în fața propagării fisurilor.

Tehnologia de prefisurare cu emulsie bituminoasă (CRAFT), a fost aplicată în anul 1997, pe DN 6, Caransebeș – Băile Herculane, km 418+440...418+560, de Facultatea de Construcții din Timișoara, în colaborare cu Direcția Regională de Drumuri și Poduri Timișoara. Ca urmare a deteriorării accentuate a structurii rutiere existente pe acest sector de drum și a necesității de a asigura gabaritul de liberă trecere în zona unui pasaj superior de cale ferată, s-a decis refacerea întregii structuri rutiere, optându-se pentru următoarea alcătuire:

- strat de fundație din balast cu grosimea de 20 cm;
- strat de fundație din balast stabilizat cu 5,0 % ciment, de 15 cm;
- strat de legătură din B.A.D. 25, de 6,0 cm;

- strat de uzură din B.A.16, de 4,0 cm.

Balastul cu granulozitatea 0-31, stabilizat cu ciment a avut echivalentul de nisip 67,3% și uzura Los Angeles 29,6%. Caracteristicile de compactare determinate în laborator au fost: max  $2190\text{kg/m}^3$  și  $W_{op} = 5,7\%$ , iar dozajul optim de liant de 5,0%. După așternerea balastului stabilizat cu autogrederul, în stratul necompactat s-au executat discontinuități transversale, manual, pe circa jumătate din grosimea stratului, la intervale de 2,0 m, care au fost umplute cu emulsie bituminoasă cationică cu rupere rapidă (E.B.C.R.60). După ruperea emulsiei s-a compactat stratul cu un compactor cu rulouri netede și protejat cu o peliculă de emulsie bituminoasă timp de 8 zile (pentru banda de circulație din stânga), respectiv 6 zile (pentru banda de circulație din dreapta); în această perioadă, circulația a fost interzisă pe sectorul în lucru.

#### Prefisurarea Olivia.

Această nouă tehnologie experimentată de Viafrance, în octombrie 1992, pentru prefisurarea straturilor realizate din agregate naturale tratate cu lianți hidraulici, constă în declanșarea unei fisuri în partea superioară a stratului stabilizat cu liant hidraulic prin reducerea secțiunii stratului pe toată lățimea șoselei (se introduce o bandă din plastic de lățime care să asigure pornirea fisurării – o treime din grosime, o valoare adesea admisă, un sfert sau o cincime).

Această bandă din plastic este suficient de fină ( $e = 40...80\ \mu\text{m}$ ) pentru care se poate considera o conservare a transferului de sarcină pe grosimea stratului prin deformarea acestei benzi din agregate la compactare.

Utilajul de prefisurare „Olivia”, conceput și realizat de Viafrance, dă posibilitatea introducerii verticale a acestui film de plastic subțire ( $80\ \mu\text{m}$ ) în acest strat stabilizat de diferite grosimi (6; 8; 10 cm) variabile printr-un simplu reglaj și de diferite lățimi (reglabile de 2; 4 sau 5 m).

Prefisurarea este realizată în principiu înaintea compactării cu un pas de fisurare de 3 m. Constatările făcute au arătat buna poziționare a filmului de plastic în corpul drumului și realizarea efectului de prefisurare scontat.

#### Fisurarea neordonată

Aplicarea acestei tehnologii urmărește reducerea transmiterii fisurilor prin straturile bituminoase din alcătuirea structurilor rutiere mixte, prin creșterea numărului de fisuri care conduce la reducerea deschiderii fisurilor datorate contracției termice.

Stratul lucrează ca un ansamblu de dale mici articulate, care sub trafic au un comportament intermediar între un strat monolit și unul din agregate naturale netratate cu lianți. Această microfisurare se face fie de derularea traficului de șantier în perioada de priză a liantului hidraulic, fie prin solicitarea stratului după întărire la încărcări concentrate mari.

Solicitarea la încărcări verticale concentrate se face prin lovirea stratului în mijlocul fiecărei benzi de circulație cu o bilă cu masa de o tonă, care cade liber de la o înălțime de 10...30 cm, așezat pe o suprafață de contact uniformizată cu nisip fin, în vederea obținerii unui contact perfect. Loviturile fiind date în mijlocul fiecărei benzi de circulație, ruperea se propagă în diagonală în realitate fisurarea se produce sub formă de petale.

Întrucât această tehnologie implică reducerea capacității portante a stratului rutier (soluție dezavantajoasă atât economic cât și tehnic) răspândirea ei este foarte redusă.

### **3.2.2. Tehnologii rutiere antifisuri de suprafață**

Propagarea fisurilor la nivelul suprafeței de rulare trebuie analizată cu atenție și discernământ și contrar aparențelor este o decizie pretențioasă, deoarece nu sunt soluții general valabile, ci tehnologii care pot fi aplicate în fiecare caz în parte, pornind de la constatările din teren și ținând seama de evoluția tehnică în domeniul rutier.

Astfel, în multe cazuri, nefiind afectată starea de viabilitate a drumului se pot aplica măsuri pentru:

- împiedicarea transmiterii fisurilor spre straturile superioare;
- refacerea și asigurarea impermeabilității îmbrăcămintei;
- reducerea cheltuielilor de întreținere ulterioare.

Pornind de la cauzele propagării fisurilor (traficul, prin eforturile unitare de tăiere în zona fisurilor și mișcările din contracții termice sau hidrice; care împreună contribuie la deschiderea și închiderea fisurilor) au fost gândite și aplicate o serie de tehnologii pe

bază de mixturi asfaltice sau tratamente bituminoase care să permită îndeplinirea obiectivelor menționate anterior.

#### Mixturi asfaltice antifisuri

Experimentările din Franța și SUA au permis stabilirea următoarelor concluzii privind rolul mixturilor asfaltice la remedierea fisurilor.

#### Betoanele asfaltice:

- la grosimea stratului de minimum 9 cm, fisurile nu apar la suprafața în 6 ani;
- la utilizarea bitumului moale, fisurarea este mai redusă, deci se impune folosirea bitumurilor moi, modificate cu dozaje ridicate;

- utilizarea bitumului pur trebuie aplicată cu precauție, pentru a se evita formarea fâgașelor ținând seama de conținutul de liant ridicat (deci trebuie ținut cont de faptul ca evitarea fisurilor să nu se transforme în provocarea ormierajului).

#### Betoanele asfaltice cu fibre:

- au grosimi de 3...5 cm și sunt destinate straturilor de uzură (agregatele au granulozitate discontinuă 0-14; 0-10 sau 0-6; conținutul de bitum cu penetrația de 50 – 70 1/10 mm, fiind 6,5...7,6 %; conținutul de părți fine – treceri prin sita de 0,08 mm-este, de asemenea, ridicat 10...13 %;

- au comportări foarte bune (s-au aplicat de circa 18 ani în Franța) în cazul unor suporturi deformabile (deflexiuni mari) sau obosite (îmbrăcămînți faianțate);

- se observă calitatea lor de a întârzia transmiterea fisurilor din contracție și chiar dacă apar, rămân fine și nu produc degradări.

#### Anrobatele bituminoase:

- încetinesc transmiterea fisurilor ca urmare volumului lor de goluri mai ridicat;
- îngreunează depistarea fisurilor în prima lor perioadă de apariție la suprafață, din același motiv (volumul de goluri).

#### Mortarele asfaltice:

- permit obținerea unei bune impermeabilizări a suprafețelor fisurate;
- se evită riscul formării fâgașelor datorită grosimii reduse a stratului (1,6...2,0 cm)

- se folosesc numai agregate naturale concasate (0-3 sau 0-6), cu un conținut de părți fine de 10...15% și un dozaj de bitum cu penetrația 180...200 1/10 mm de 9,0...12,5%;

- este recomandabil ca bitumul utilizat să fie modificat;
- crește eficiența mortarelor asfaltice antifisuri la folosirea fibrelor.

Sistemul bistrat:

- s-a experimentat în Franța pentru prevenirea apariției fisurilor la suprafața de rulare;

- este format dintr-un strat de mortar asfaltic (nisip 0-4 cu 9...10% bitum, de regulă modificat cu stiren-butadien-stiren, SBS) cu grosimea de 1,5...2,0 cm, pe care se aplică un beton asfaltic cu grosimea de 4...6 cm (bitumul poate fi modificat), (fig. 3.2).

- complexul bistrat a demonstrat o eficiență foarte ridicată pentru încetinirea transmiterii fisurilor;

- o bună comportare din punct de vedere al evitării formării fâgașelor (în mod deosebit cel care are în componență mortar asfaltic cu fibre).

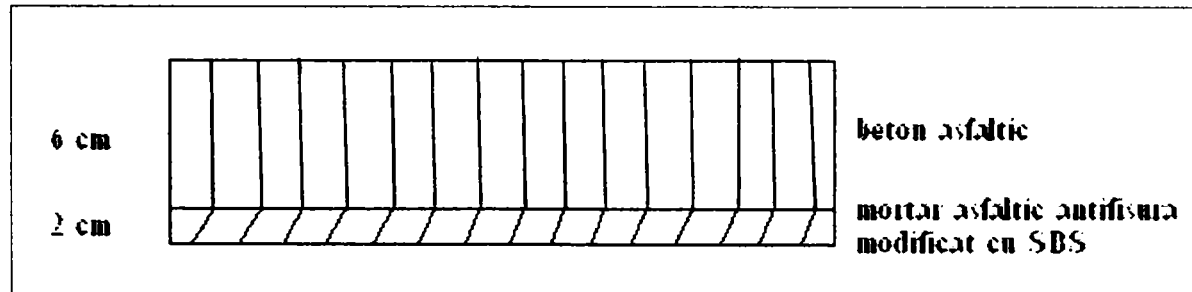


Fig. 3.2. Sistem bistrat cu mortar asfaltic modificat cu stiren butadien și beton asfaltic

Alte sisteme bistrat experimentate în Franța, ce trebuie amintite aici, sunt:

- 2 cm mortar asfaltic cu fibre și cu bitum modificat cu SBS și 3 cm beton asfaltic cu fibre și cu bitum modificat cu SBS și 3 cm beton asfaltic cu fibre (fig. 3.3).

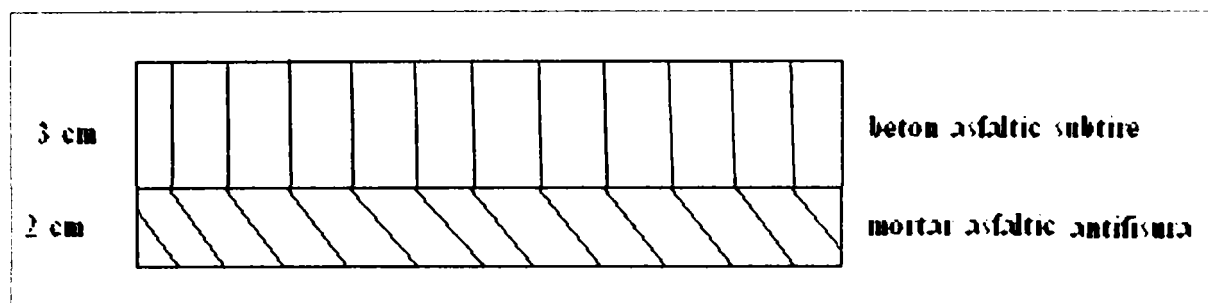


Fig.3.3. Sistem bistrat cu mortar asfaltic modificat și beton asfaltic cu fibre și cu bitum modificat

Acest bistrat se aplică pe sectoarele cu suprafața cu uniformitate corespunzătoare datorită grosimii reduse a straturilor ce alcătuiesc complexul și are o eficiență ridicată împotriva fisurilor de contracție.

- 3...4 cm beton asfaltic cu fibre cu rol antifisuri și 2 cm beton asfaltic (fig.3.4).

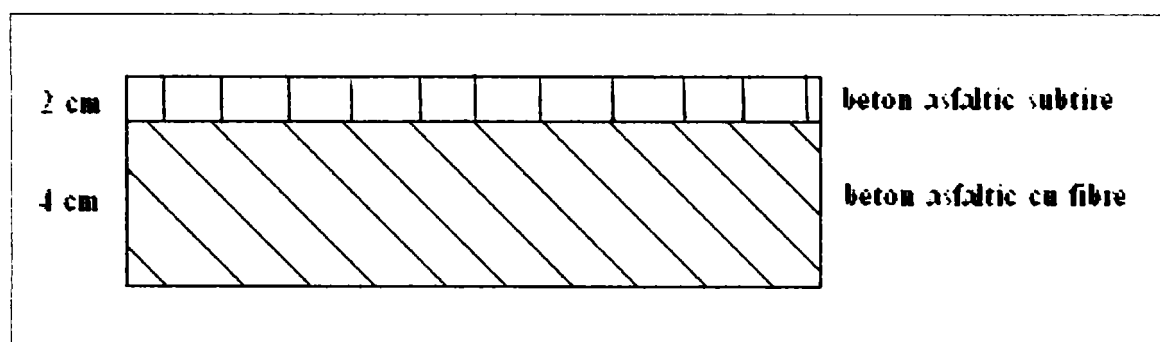


Fig.3.4. Sistem bistrat din beton asfaltic cu fibre și beton asfaltic subțire

În acest caz s-a constatat că, după trei ani, experimentat pe o structură rutieră mixtă fisurată cu strat de bază din balast cu stabilizat cu ciment, lipsa fâgașelor și a fisurilor transversale. De asemenea trebuie menționat faptul că este mai puțin eficient decât sistemul precedent în lupta împotriva fisurilor din contracție.

#### Tratamente bituminoase antifisuri

Observațiile experimentărilor efectuate au permis desprinderea următoarelor concluzii privind utilizarea tratamentelor bituminoase pentru prevenirea transmiterii fisurilor din contracție din straturile inferioare:

- tratamente bituminoase clasice pot amâna transmiterea fisurilor fine, dar nu împiedică fenomenul;

- tratamentele bituminoase groase se bazează pe principiul modificării bitumului pur cu cauciuc sau elastomeri pentru a realiza o peliculă mai groasă (3 mm).

Dozaje folosite:

- bitum 75...80 %, pudră de cauciuc 24...30 % și ulei 1...5 %; dozajul de liant este de 2,0...3,2 l/m<sup>2</sup>, iar agregatele naturale se răspândesc încălzite și uneori preanrobate cu 0,25...0,75 % bitum;

- aceleași dozaje ale componentilor, doar că pudră de cauciuc provine 40% din cauciuc vulcanizat și 60 % din cauciuc nevulcanizat, din care 30 % cauciuc natural, obligatorie fiind încălzirea și preanrobarea agregatelor naturale;

- bitum 80/120, în proporție de 60 %, pudră de cauciuc 16 %, din pneuri uzate (cauciuc natural 50 % și cauciuc sintetic 50 %) și 4 % ulei. Agregatele naturale sunt sort 10 – 14 sau 16 - 20, spălate și încălzite puternic ( se recomandă să nu fie preanrobate). Liantul are o vâscozitate ridicată, care conduce la dozaje de așternere mari (3 kg/m<sup>2</sup>);

- bitum cu penetrația 80/100 1/10 mm , modificat cu 10 % elastomeri în instalații industriale. Agregatele naturale sunt spălate și încălzite.

Folosirea tratamentelor nu rezolvă problema împiedicării transmiterii fisurii și ținând seama că raportul randament/preț este mic, la care se adaugă o tehnologie pretențioasă, concluzia este că aceste soluții sunt puțin aplicate.

Geotextil sub tratament bituminos simplu

S-a aplicat încă din anul 1978 în Franța, cuprinzând:

- stropirea unei emulsii bituminoase în cantitate de 400 g/m<sup>2</sup>, pe suprafața suport în prealabil curățită;

- întinderea geotextilului;

- realizarea unui tratament bituminos simplu, realizat dintr-o peliculă de liant bitum-polimeri (sub formă de emulsie bituminoasă în cantitate de 1,7 kg/m<sup>2</sup>) și așternerea de agregate naturale sort 4-6 sau 10-14.



Această tehnologie are un efect favorabil, prin prezența geotextilului la reducerea fenomenului de transmitere a fisurilor.

Și în țara noastră s-a aplicat soluția tratamentelor bituminoase armate cu geotextile (TRABINTEX), concepută de Facultatea de Construcții din Timișoara în colaborare cu DRDP Timișoara, pentru tratarea îmbrăcăminților bituminoase fisurate sau faianțate, precum și pentru protejarea zestrei drumurilor cu îmbrăcăminte din macadam.

Soluția concepută în anul 1987 și experimentată în 1988 pe DN 57, Orșova – Moldova Nouă și constă în:

- stropirea emulsiei bituminoase cationice cu rupere rapidă (E.B.C.R. 60), în cantitate de 1,4...1,6 kg/m<sup>2</sup>, pentru amorsarea suprafeței în prealabil reparată și temeinic curățată;

- întinderea geotextilului (NETESIN 300) fără cute, pe întreaga suprafață, după ruperea emulsiei;

- răspândirea criblurii 8 – 16, în mod continuu și uniform, 13...15 kg/m<sup>2</sup>;

- stropirea emulsiei (E.B.C.R. 60) în cantitate de 1,5...1,7 kg/m<sup>2</sup>;

- răspândirea criblurii 3-8, în cantitate de 5...7 kg/m<sup>2</sup>, după ruperea emulsiei, pentru împănarea învelișului creat, cu scopul de a umple golurile dintre agregate și de a le încleșa cât mai bine, ducând la creșterea rezistenței TRABINTEX-ului;

- compactarea tratamentului bituminos, prin 4...5 treceri ale compactorului cu ruloari netede.

Sectorul se dă în circulație după 3...4 ore.

Tratamente bituminoase duble peste un geotextil POLYFELT.

Această tehnologie executată în Franța, cuprinde următoarele operații:

- curățirea temeinică a suprafeței, urmată de stropirea liantului Mictar A (bitum 180...220 1/10 mm, fluxat cu 3 % ulei) în cantitate de 1 kg/m<sup>2</sup>, pentru amorsare;

- întinderea perfectă a geotextilului POLYFELT (geotextil nețesut armat cu fibre de polipropilenă) pe întreaga suprafață a părții carosabile;

- realizarea tratamentului bituminos dublu, respectând următoarele etape:

- stropirea geotextilului cu 1,8 kg/m<sup>2</sup>, liant Mictar A;

- așternerea agregatelor naturale sort 8-10, în cantitate de  $9\text{kg/m}^2$ ;
- compactarea;
- stropirea suprafeței cu  $1,3\text{kg/m}^2$ , Mictar A;
- așternerea agregatelor sort 4-6, în cantitate de  $7\text{kg/m}^2$ ;
- compactare.

Comportarea în exploatare după 3 ani a fost corespunzătoare.

Complexul antifisuri geotextil - tratament bituminos Armaco.

Și în acest caz geotextilul utilizat este neșesut, aproape imcompresibil și cu rezistență la întindere ridicată și în plus este întins mecanic cu ajutorul unui derulator, iar pe de altă parte, liantul utilizat la impregnare este un bitum modificat cu elastomeri cu coeziune ridicată. Complexul format are o suplețe ridicată, mai ales la temperaturi scăzute, fapt care îi conferă o comportare corespunzătoare pentru împiedicarea propagării fisurilor.

### **3.2.3. Tehnologii rutiere antifisuri de interpunere**

Datorită evitării efectelor necompetitive ale tehnologiilor rutiere antifisuri de suprafață s-au conceput și experimentat complexe antifisuri interpuse între vechea îmbrăcămintă și noile straturi bituminoase.

Este bine de spus că rolurile importante ale membranei bituminoase, armate sau nu cu geotextile, pentru împiedicarea propagării fisurilor prin straturile bituminoase sunt:

- preluarea mișcărilor în dreptul fisurării, datorate contracțiilor hidraulice sau termice, inclusiv cele datorate traficului, fără a le transmite stratului superior;
- constituirea unui suport îndeajuns de elastic, dar să nu conducă la deformații importante (elastice sau plastice) ale stratului superior, întru-cât atunci acesta obosește, ori conduce la apariția fâgașelor la nivelul suprafeței de rulare.

Tehnologiile rutiere antifisuri de interpunere trebuie să asigure 7...10 ani următoarele obiective:

- conservarea etanșeității structurii rutiere;
- limitarea apariției fisurilor la fisuri fine nedegradate;

- limitarea degradării interfeței strat stabilizat- strat bituminos prin diminuarea concentrărilor de eforturi în zona fisurii.

Aceste soluții de interpunere asigură în același timp cu combaterea fisurilor și creșterea capacității portante a complexului rutier, prin executarea straturilor bituminoase superioare.

La structurile rutiere noi, este indicată plasarea armăturii antifisuri la partea inferioară a straturilor bituminoase; la un raport de 3...6 este prelungită durata de apariție a fisurilor comparabil cu sectoarele narmate; la plasarea armăturii la mijlocul stratului de bază bituminos, nu se obțin rezultate corespunzătoare.

#### Structuri rutiere inverse

Constau în conceperea și experimentarea unui strat rutier din materiale granulare cu un volum ridicat de goluri (macadam, macadam bituminos), care se interpune între stratul inferior și straturile bituminoase și evită, în acest mod, transmiterea fisurilor spre suprafață.

Trebuie aplicate cu discernământ, având în vedere capacitatea portantă inferioară a acestor straturi la drumurile cu trafic important.

În România, structuri rutiere inverse s-au realizat între stratul de nisip stabilizat și îmbrăcămintea bituminoasă, prin aplicarea următoarelor variante de straturi de bază:

- piatră spartă îndopată cu split bitumat de 8 cm grosime;
- piatră spartă îndopată cu B.A.D.25, de 10 cm grosime.

Comportarea acestor structuri rutiere a evidențiat netransmiterea fisurilor de contracție din stratul de nisip stabilizat; s-au transmis la suprafață într-un mod apropiat de al unor structuri rutiere suple, și mai puțin al unor structuri rutiere mixte [8].

De asemenea, în țara noastră, începând cu anul 1994, în cadrul DRDP Craiova, pe DN 65, Slatina – Pitești, km 65+500...65+800, s-a experimentat o soluție nouă de structură rutieră inversă, care constă în aplicarea peste îmbrăcămintea din beton de ciment, deteriorată, a unui strat rutier alcătuit din mixtură asfaltică antifisură, urmată de aplicarea stratului de uzură din mixtură asfaltică obișnuită B.A.8 sau B.A.16.

Stratul rutier alcătuit din mixtura asfaltică antifisură, numită mixtură poroasă antifisură (M.P.A.), de către realizator, marele inginer de drumuri Emil Bănică, arhitectul drumurilor oltene-, are următoarele caracteristici:

- alcătuire din materiale concasate cu diametrul mare, (cu granula maximă până la 25 mm);
- conținut foarte ridicat de cribluri (peste 80%) și în special criblura 16-25 (aproximativ 60%) îi conferă stabilitate, prin încleștarea internă a granulelor;
- granulozitatea aleasă permite obținerea unui volum de goluri ridicat, (20%) și deci o densitate scăzută, între 1,8...2,0, după natura agregatelor naturale;
- constituie un ecran bun împotriva transmiterii fisurilor sau crăpăturilor în stratul de uzură;
- conținut scăzut de bitum (1,8...2,0 %);
- asigurarea unui grad de compactare corespunzător prin “aranjarea” optimă a granulelor de mixtură, urmarea unei compactări anergice, utilizând compactoarele vibratoare și/sau compactoare cu pneuri.

Această soluție am experimentat-o în anul 1995, pe DN 67, Târgu Jiu – Horezu, la km 110+000...111+000.

Și în acest caz, stratul de interpunere între o îmbrăcămintă de beton de ciment deteriorată cu degradări importante (fisuri și crăpături, suprafață șlefuită, rupturi, faianțări, etc.) și noua îmbrăcămintă bituminoasă, este realizată din mixtură asfaltică cu volum mare de goluri și un conținut redus de bitum.

Mixtura asfaltică a avut următorul dozaj:

- |                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| - pietriș 16-25                      | = 66 %; |
| - criblura 8-16                      | = 20 %; |
| - nisip natural 0-7                  | = 12 %; |
| - bitum D80/120 de Suplacu de Barcău | = 2 %.  |

Stratul rutier alcătuit din mixtură asfaltică antifisură, are o grosime de 8,00 cm, pe acest strat fiind realizată îmbrăcămintea din B.A.16, cu grosimea de 6 cm.

Granulozitatea agregatelor naturale pentru mixtura asfaltică antifisură, s-a obținut din amestecul de agregate prezentat în tabelul 3.1

Tabelul 3.1

Treceri prin sita sau ciurul de.....mm				
0,09	3,15	8	16	25
0...3	6...10	10...15	35...45	90...100

Zona granulometrică pentru mixtura asfaltică antifisură este cea reprezentată în fig.3.5.

Consider necesară modificarea dozajului de 2% bitum (acesta este prea redus), prin mărirea la 2,5...3,0%, și/sau folosirea unui bitum modificat, ținând seama că atunci când execuția stratului de uzură nu se poate face în aceeași zi, o parte a mixturii antifisură este dislocată de pneurile autovehiculelor.

După patru ani de la execuție au apărut două fisuri transversale complete și patru fisuri transversale parțiale.

După opt ani de exploatare au apărut la suprafața de rulare în proporție de 75 %, fisurile din stratul suport – îmbrăcămintea din beton de ciment .

După zece ani de exploatare, fisurile au apărut la suprafața stratului de uzură în proporție de 87 %.

Această soluție trebuie studiată cu atenție și mult discernământ în continuare, pentru a deveni o variantă viabilă de tratare a suprafețelor fisurate cu eficiența maximă.

Personal consider că este o primă etapă în drumul lung al definirii și aplicării soluțiilor antifisuri corespunzătoare.

### 3.3. Interpunerea unor mixturi asfaltice antifisuri

Stratul de mortar asfaltic între suportul fisurat (îmbrăcămintea bituminoasă sau din beton de ciment fisurată) și stratul superior are ca efect absorbirea (împiedicarea) deplasărilor relative ale celor două margini ale fisurii și astfel se evită sau se încetinește propagarea fisurii spre suprafață.

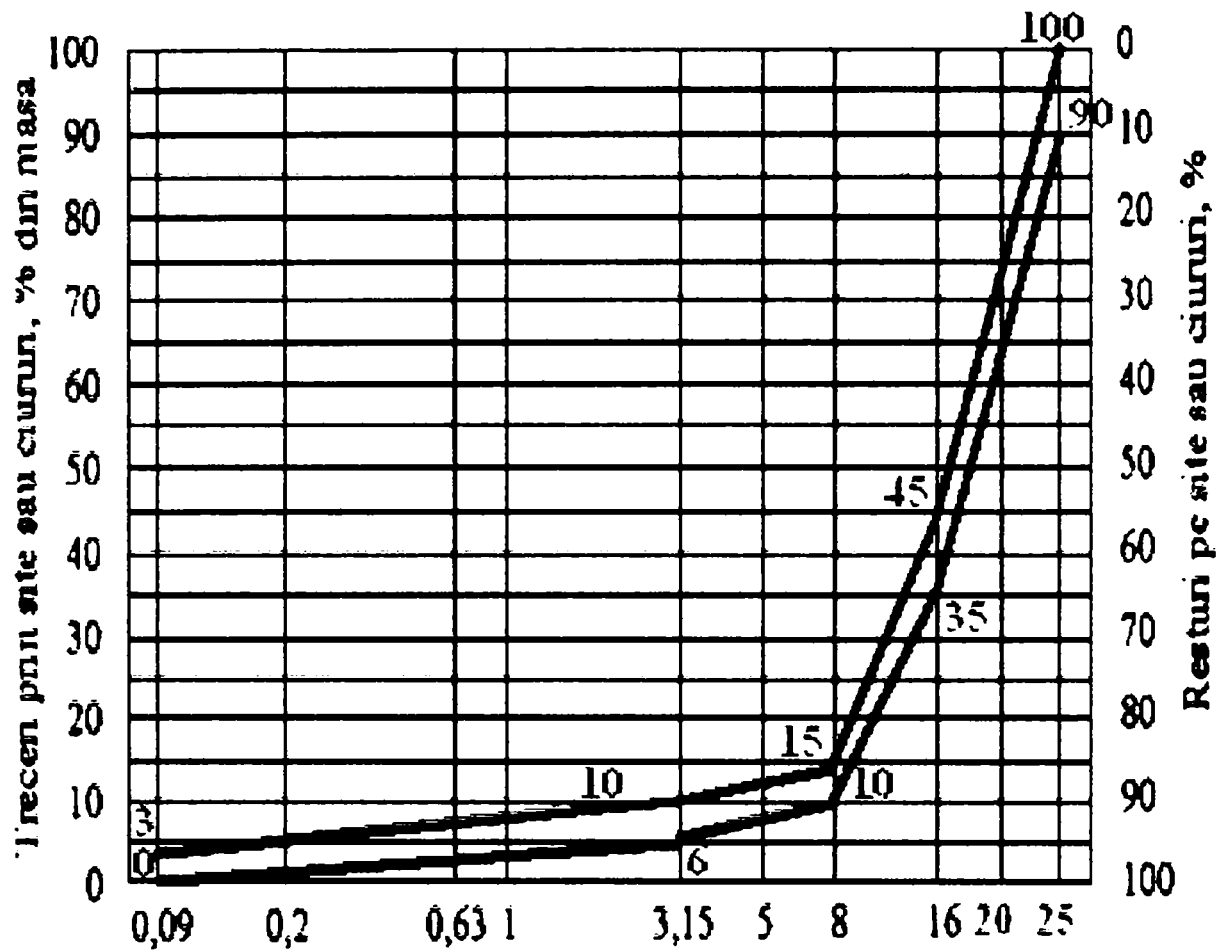


Fig.3.5. Zona granulometrică pentru mixtura poroasă antifisură

Acest strat rutier permite:

- menținerea impermeabilității;
- conservarea calității suprafeței și continuitatea stratului de rulare;
- reducerea costurilor de întreținere pentru colmatarea fisurilor.

Stratul suport trebuie să prezinte o bună planeitate, în caz contrar – un strat cu deformații excedentare (1 cm sub lata de 3 m) – se impune reprofilarea prealabilă prin frezare, sau preluarea denivelărilor cu un strat cu o bună comportare în vederea evitării formării fâgașelor, ținând seama că grosimea mare a stratului realizat din mortar asfaltic implică riscul apariției ormierajului, iar reducerea grosimii stratului de mortar sub 2 cm, duce la lipsa de eficacitate a acestuia în ceea ce privește împiedicarea transmiterii fisurilor.

Stratul de uzură B.A.16 asigură protecția mortarului asfaltic, conferă uniformitate căii și aduce un aport structural, facilitând crearea unei macrotexturi corespunzătoare și o rugozitate ridicată, cât și o puternică aderență la orice viteză.

Această soluție – folosirea mortarelor asfaltice de 2 cm – constituie sistemul antifisuri clasic (folosit în Franța) și au granulozitatea agregatului natural provenit din roci dure concasate, cuprinsă între 0...2 mm, cu un conținut de părți fine de 10...15 % și ca liant folosindu-se bitum pur sau frecvent un bitum modificat (dozajul fiind de 9,0...12,5 %). Adesea, pentru îmbunătățirea comportării mortarelor asfaltice la formarea fâgașelor, dozajele includ fibre minerale sau organice.

### **3.3.1. Interpunerea unor mortare asfaltice**

Mortarul asigură, așa cum s-a mai arătat anterior, reducerea eforturilor în dreptul fisurilor sau crăpăturilor, și contribuie la creșterea impermeabilității complexului rutier, printr-o acroșare puternică de stratul suport.

Bogăția sa în mastic și în liant, îi conferă o rezistență la fisurare net superioară, în comparație cu un strat bituminos obișnuit, având totodată și o mai mare rezistență la oboseală și la îmbătrânire.

#### **3.3.1.1. Sectoare experimentale cu mortare antifisuri**

În țara noastră, această soluție a fost agreată datorită eficienței ridicate la împiedicarea transmiterii fisurilor: astfel interpunerea de mortare asfaltice între o îmbrăcămintă fisurată și noua îmbrăcămintă bituminoasă, în mod deosebit pentru întreținerea și ranforsarea îmbrăcăminților din beton de ciment deteriorate.

În anul 1995, DRDP Brașov a aplicat în premieră această tehnologie pe DN 13, Brașov – Târgu Mureș, km 121+900...122+580 și km 127+200...128+060, iar în anul 1997 am experimentat în cadrul DRDP Craiova, în colaborare cu Facultatea de Construcții din Timișoara, aceeași metodă pe DN 67, Târgu Jiu – Horezu, km 120+400...121+000, cu un sector martor, km 121+100...122+043.

La alegerea acestei tehnologii antifisuri pentru experimentare au contribuit unele concluzii stabilite pe plan mondial, cu privire la folosirea unor mixturi asfaltice cu soluții antifisuri.

Proiectarea dozajului pentru mortarul asfaltic s-a efectuat în cadrul laboratorului de drumuri al Departamentului de Inginerie Geotehnică și Căi de Comunicație Terestre din Timișoara, în colaborare cu Șantierul Tg Jiu al SC ANCORAD OLTENIA S.A Craiova.

Au fost folosite următoarele materiale:

- nisip natural 0-3, cu echivalentul de nisip de 90%;
- nisip de concasaj (cariera Meri), cu coeficientul de activitate 1,1;
- filer de Basarabi, cu finețea de măcinare de 95,5 %;
- bitum D 80/120, de Suplacu de Barcău, cu penetrația la 25 °C de 102 1/10 mm și punctul de înmuiere înel și bilă de 46 °C.

Granulozitatea agregatului natural, pentru mortarul asfaltic, s-a obținut din următorul amestec de agregate naturale (tabelul 3.2 ).

Tabelul 3.2

Material	Dozaj %	Treceri prin sita de.....mm			
		0,009	0,2	0,63	3,15
Nisip natural	60	2,1	5,9	26,2	56,8
Nisip de concasaj	26	1,4	4,8	12,0	23,9
Filer	14	13,3	13,9	14,0	14,0
Total	100	16,7	24,5	52,8	94,7

Dozajul de lucru la 100 părți mixtură asfaltică a fost următorul:

- nisip natural =54,6 %;
- nisip de concasaj =23,7 %;
- filer =12,7 %;
- bitum = 9,0 %.



Încercările fizico-mecanice efectuate în laborator asupra acestui tip de mixtură asfaltică au condus la rezultatele din tabelul 3.3.

Tabelul 3.3

Caracteristica	Rezultatele obținute în laborator
Densitatea aparentă pe cilindri Marshall, în kg/m	2215
Stabilitatea Marshall, în kN	4,8
Indicele de curgere, în mm	3,8
Absorbția de apă pe cilindri Marshall, în %	5,7
Rezistența la compresiune la 22°C, în N/mm <sup>2</sup>	2,8
Rezistența la compresiune la 50°C în N/mm <sup>2</sup>	0,5

Datele prezentate demonstrează că dozajul proiectat corespunde unui mortar asfaltic clasic, conform STAS 174-94.

În timpul lucrărilor au fost efectuate încercări fizico-mecanice asupra mixturii asfaltice prelevate de la nivelul malaxorului, rezultatele fiind cele prezentate în tabelul 3.4.

Tabelul 3.4

Caracteristici	Rezultate obținute în urma verificării calității pe șantier
Dozajul de bitum, (%)	8,8...9,3
Granulozitatea, treceri prin sita de:	
0,09 mm	16,0...18,2
0,2 mm	23,7...25,1
0,63 mm	53,3...54,5
3,15 mm	96,2...97,6
Rezistența aparentă pe cilindri Marshall, (kg/m <sup>2</sup> )	2190...2220
Absorbția de apă pe cilindri Marshall (%)	5,0...5,9
Stabilitatea Marshall (kN)	4,5...5,2
Indicele de curgere (mm)	4,2...4,4
Rezistența la compresiune la 22°C (N/mm <sup>2</sup> )	2,6...2,8
Rezistența la compresiune la 50°C (N/mm <sup>2</sup> )	0,5...0,6

Aceste rezultate confirmă că mortarul asfaltic a corespuns în general calității cerute prin standardele în vigoare, chiar dacă atât în laborator cât și pe șantier s-a constatat un surplus de părți fine.

De asemenea stabilitatea Marshall a avut în cele mai multe cazuri valori sub limita admisibilă, rezultatele fiind determinate de proporția ridicată de nisip natural din amestec. Totuși se speră ca stabilitatea mortarului asfaltic să nu influențeze în mod negativ comportarea straturilor bituminoase, cu atât mai mult cu cât stratul din mortar asfaltic nu este strat de uzură.

Ca o observație pentru viitor, se remarcă necesitatea ca mortarul asfaltic să conțină mai mult nisip de concasaj (cel puțin 50 % din amestecul de nisipuri).

Sectorul experimental cu strat intermediar antifisuri din mortar asfaltic l-am executat în perioada 18 septembrie 1997... 26 septembrie 1997, mixtura asfaltică fiind preparată la fabrica tip MARINI, de la Drăgoeni.

Transportul mixturii asfaltice am efectuat-o cu autobasculante cu bene metalice neacoperite. Regimul termic al mortarului asfaltic la preparare și punere în operă a fost următorul:

- temperatura mortarului asfaltic la ieșirea din malaxor = 150...160 °C;
- temperatura mortarului asfaltic la așternere = 120...130 °C;
- temperatura mortarului asfaltic la începerea compactării = 90...100 °C.

Răspândirea mortarului asfaltic am efectuat-o cu răspânditorul finisor NPK-Nicolina, preluând denivelările existente în îmbrăcămintea deteriorată din beton de ciment.

Înainte de executarea stratului antifisură, am procedat la curățirea temeinică a rosturilor, fisurilor și crăpăturilor existente și colmatarea lor cu mastic bituminos. De asemenea, suprafața îmbrăcămintei existente a fost curățată și amorsată cu emulsie bituminoasă cationică cu rupere rapidă, în cantitate de 0,6...1,0 l/m<sup>2</sup>.

Pentru cele două sectoare (experimental și martor) am aplicat următoarele soluții de îmbrăcămintă bituminoasă:

-pe sectorul experimental am realizat un strat de mortar de 2,0 cm grosime, un strat de legătură din B.A..D.25 de 6 cm grosime și un strat de uzură din B.A.16 de 4 cm grosime;

-pe sectorul martor am realizat un strat de legătură de 7 cm grosime din B.A.D.25 și un strat de uzură din B.A.16 de 5 cm grosime.

Suprafața nu prezenta denivelări mai mari de 1 cm sub lata de 3 m și nu a fost nevoie de frezări sau de preluarea denivelărilor înainte de a realiza stratul din mortar asfaltic.

Granulozitatea agregatului natural pentru betonul asfaltic deschis cu criblură (B.A.D. 25) , s-a obținut din amestecul de agregate naturale, prezentat în tabelul 3.5.

Dozajul de lucru la 100 părți mixtură asfaltică a fost următorul:

- nisip natural 0 – 3 = 19,2 %;
- nisip de concasaj = 17,2 %;
- criblură 8 – 16 = 20,1 %;
- pietriș ciuruit 16 -25 = 35,4 %;
- filer = 3,8 %;
- bitum = 4,3 %.

Tabelul 3.5

Mat	%	25	16	8	3,15	0,63	0,2	0,09	t0,09
N 0-3	20				0,7	6,6	11,2	1,1	0,4
Pc 16-25	37	0,4	31,0	5,6					
Cr 8-16	21		0,1	18,8	2,0	0,1			
Nc 0-7	18			0,5	9,2	4,6	2,7	0,4	0,6
Filer	4						0,1	0,4	3,5
Total	100	0,4	31,1	24,9	11,9	11,3	14,0	1,9	4,5
Curba gr.		99,6	68,5	43,6	31,7	20,4	6,4	4,5	
Limite STAS		90- 100	60- 80	35-55	20-35	10-30	5-20	1-6	

Rezultatele încercărilor pe cilindri Marshall sunt cele evidențiate în tabelul 3.6

Tabelul 3.6

Caracteristici	Rezultate obținute pe șantier	Limite STAS
Absorbția de apă pe cilindri Marshall (%)	3,4	2...6
Densitatea aparentă, kg/m <sup>3</sup>	2318	min. 2,3

Zona de granulozitate pentru betonul asfaltic deschis cu criblură (B.A.D.25) este cea indicată în fig. 3.6.

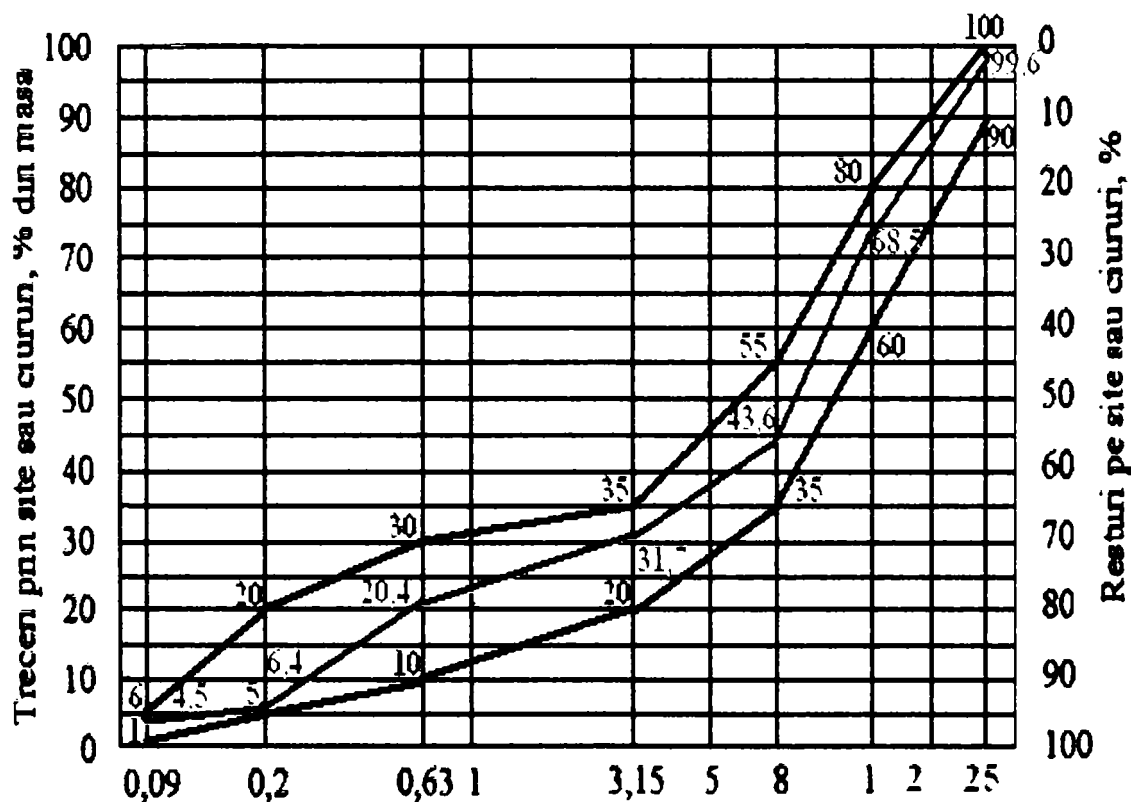


Fig. 3.6 Granulozitatea betonului asfaltic deschis cu criblură ( B.A.D.25 ).

Granulozitatea agregatului natural pentru betonul asfaltic bogat în criblură (B.A.16), s.a obținut din următorul amestec de agregate naturale: (tabelul 3.7).

Tabelul 3.7

Material	%	16	8	3,15	0,63	0,2	0,09	T0,09
Nisip 0-3	20			0,7	6,6	11,2	1,1	0,4
Criblură 8-16	45	0,1	40,4	4,4	0,1			
Nisip concasaj 0-7	25		0,7	12,8	6,3	3,7	0,7	0,8
Filer	10					0,2	1,0	8,8
Total	100	0,1	41,1	17,9	13,0	15,1	2,8	10,0
Curba gran	100,0	99,9	58,8	40,9	27,9	12,8	10,0	
Limite STAS		90-100	55-78	30-55	18-35	11-25	8-11	

Încercările fizico-mecanice determinate în laborator asupra mixturii asfaltice (B.A. 16) au evidențiat rezultatele cuprinse în tabelul 3.8.

Tabelul 3.8

Caracteristici	U.M	Rezultate obținute pe șantier	Valori conf. normativelor în vigoare
Densitatea aparentă	t/m <sup>3</sup>	2,436	min. 2,35
Absorbția de apă	%	0,2	1...5
Rezistența la compresiune la 22 °C	daN/cm <sup>2</sup>	35	30...52
Rezistența la compresiune la 50 °C	daN/cm <sup>2</sup>	9	7...12
Stabilitate la 60 °C (Marshall)	daN	1188	min. 600

Dozajul de lucru la 100 părți mixtură asfaltică a fost următorul:

- nisip natural 0 – 3 = 18,8 %;

- nisip de concasaj = 23,5 %;
- criblură 8 - 16 = 42,3 %;
- filer = 9,4 %;
- bitum = 6 %;

Zona de granulozitate pentru betonul asfaltic bogat în criblură (B.A.16), este indicată în fig. 3.7.

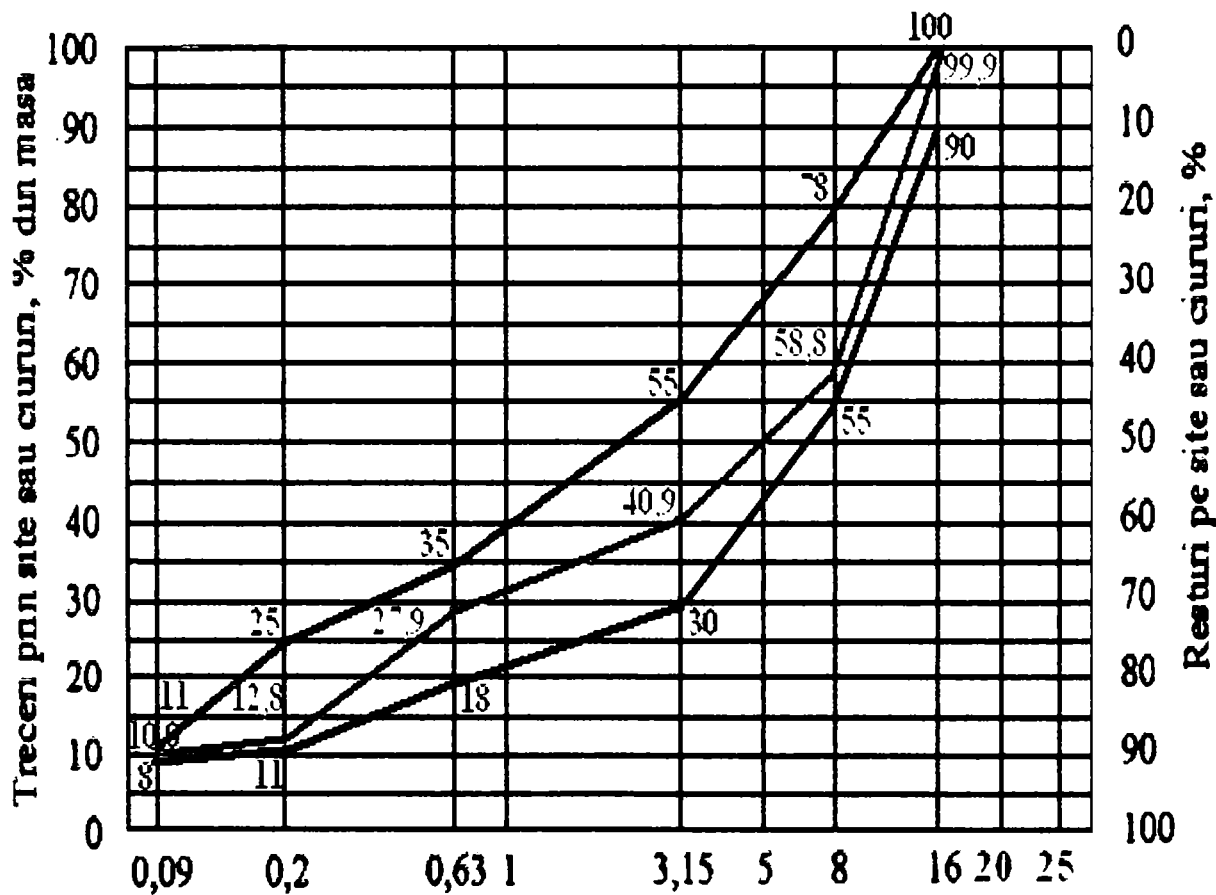


Fig. 3.7. Granulozitatea betonului asfaltic bogat în criblură (B.A.16 ).

În anul 2004, s-a executat reabilitarea primară a DN 67 Drobeta Turnu Severin – Tg Jiu – Rm. Vlcea, iar pe sectorul respectiv situația era următoarea:

- nici o fisură nu era transmisă la nivelul suprafeței de rulare (fig. 3.8, fig. 3.9, fig. 3.10 și fig. 3.11);

- pe sectorul martor multe fisuri s-au transmis la suprafața stratului de uzură (fig. 3.12, fig. 3.13, fig. 3.14 și fig .3.15 );

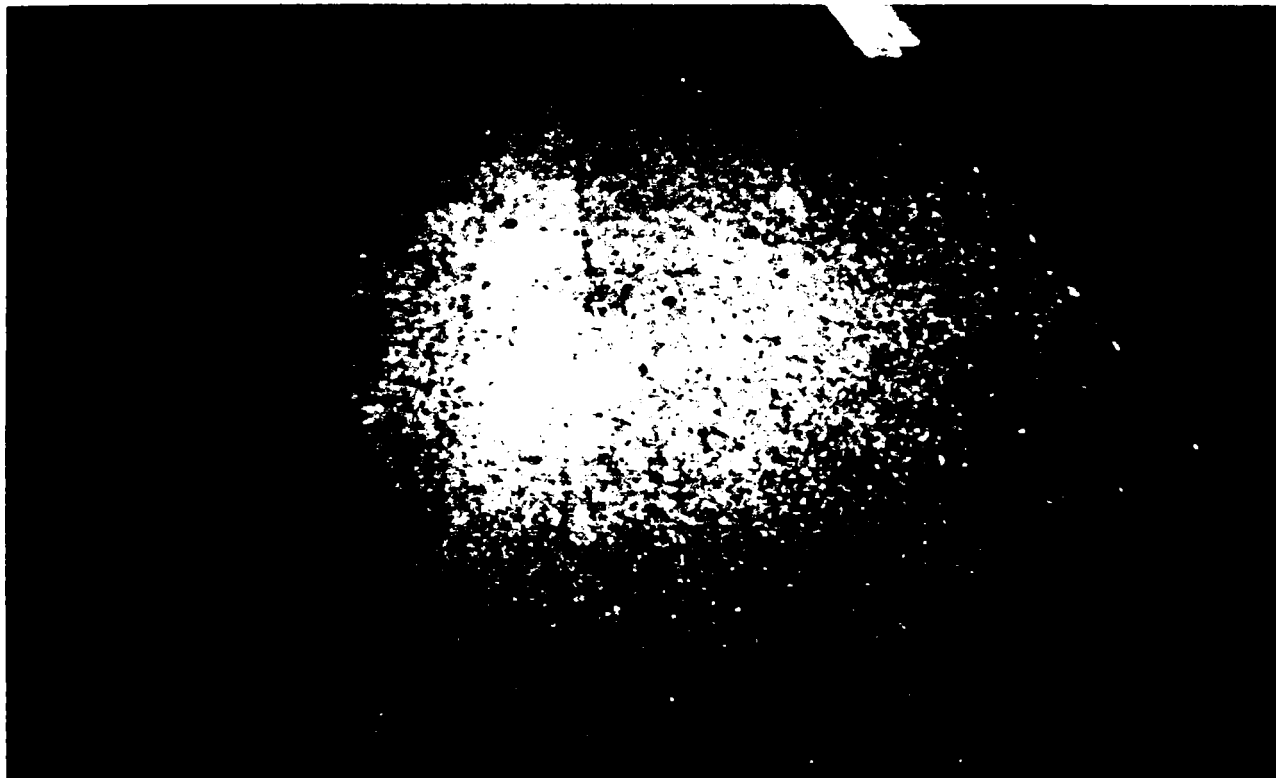


Fig. 3.8. Sector experimental antifisuri – DN 67 km 120 + 500.

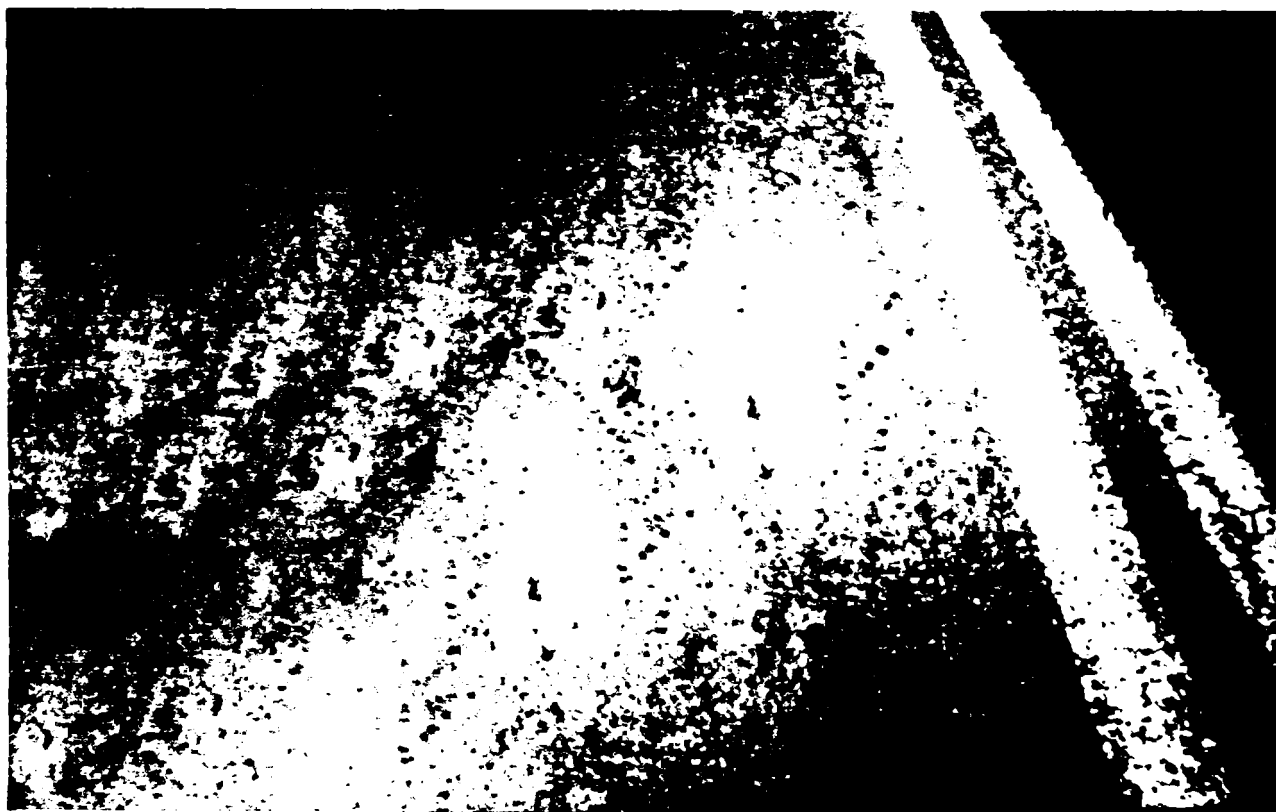


Fig. 3.9. Sector experimental antifisuri – DN 67 km 120 + 600.



Fig. 3.10. Sector experimental antifisuri – DN 67 km 120 + 800.



Fig.3.11. Sector experimental antifisuri – DN 67 km 121+050.





Fig. 3.12. Sector experimental martor – DN 67 km 121 +150.

- parametrul de degradare corespunde unui calificativ "foarte bun" (fără defectiuni);
- parametrul de rugozitate măsurat pe sectorul experimental corespunde calificativului „foarte bun”;
- investigarea vizuală a sectorului experimental a evidențiat o comportare foarte bună a acestuia.

În consecință, soluția de interpunere a unui strat de mortar asfaltic între stratul fisurat și noile straturi este o reușită și merită susținută pentru aplicarea ei pe scară largă.

În anul 1998, am aplicat aceeași tehnologie de realizare a unui mortar asfaltic între îmbrăcămintea fisurată și noua îmbrăcăminte bituminoasă pentru ranforsarea îmbrăcăminților din beton de ciment.

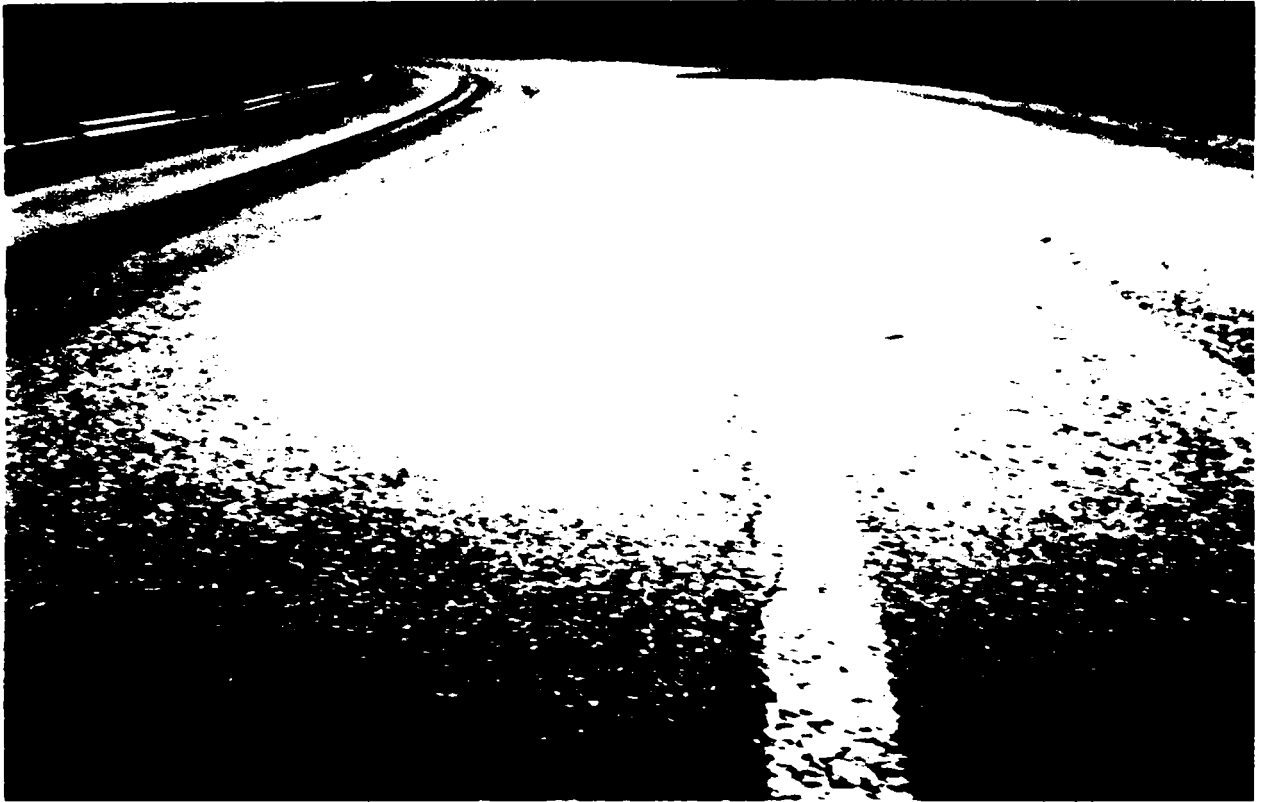


Fig. 3.13. Sector experimental martor – DN 67 km 121 + 400.

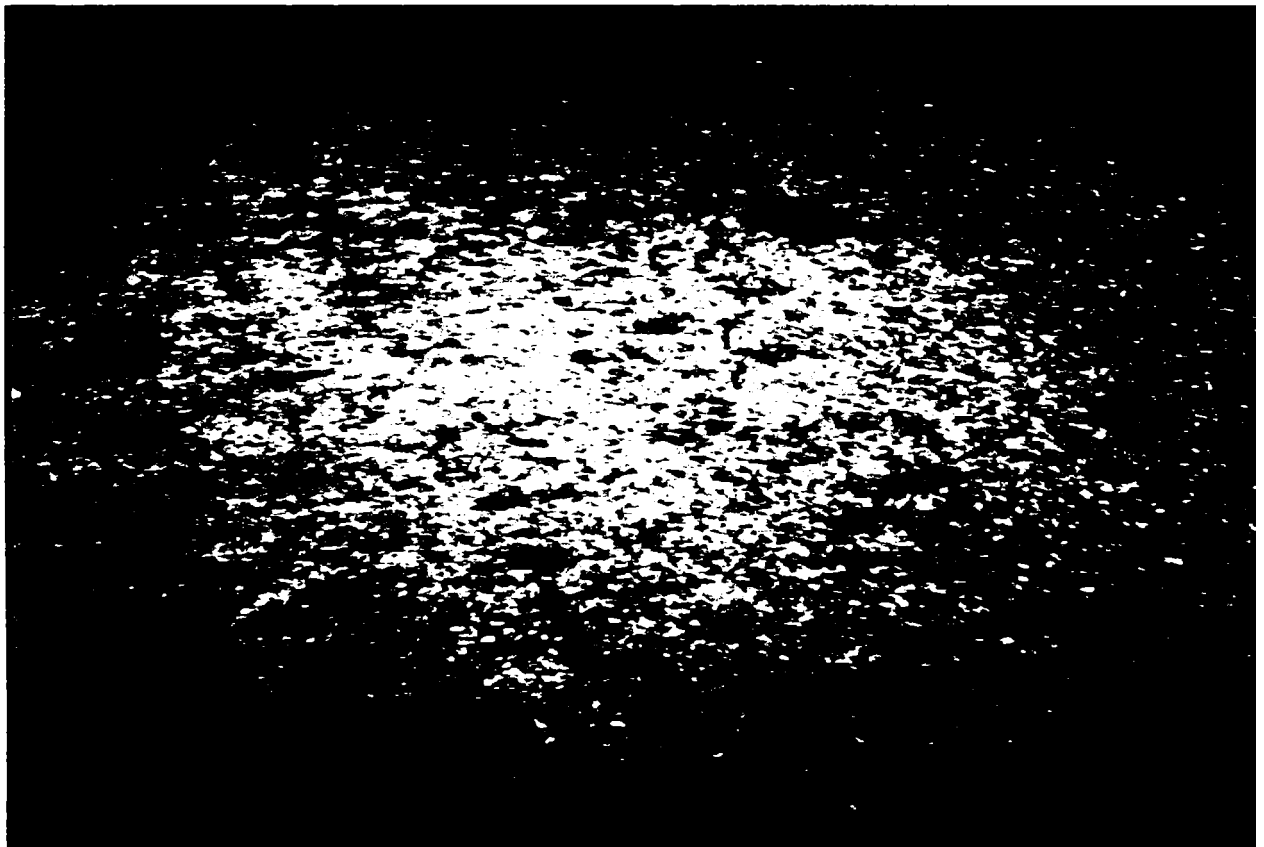


Fig. 3.14. Sector experimental martor cu fisuri transversale – DN 67 km 121 + 550.



Fig. 3.15. Sector experimental martor cu fisuri transmise de la stratul suport, stratului de uzură – DN 67 km 121 + 600.

Sectorul experimental a fost situat pe DN 67, km 108+950...110+000 și a constat din realizarea unui strat din mortar asfaltic de 2 cm, un strat din B.A.D.25 de 6 cm și un strat din B.A.16 de 4 cm.

Proiectarea dozajului pentru mortarul asfaltic s-a efectuat de Laboratorul Direcției de Drumuri și Poduri Craiova.

Dozajul de lucru la 100 părți mixtură asfaltică a fost următorul:

- Nisip natural 0-3 = 54,6 %;
- Nisip de concasaj 0-3 = 23,7 %;
- Filer = 12,7 %;
- Bitum = 9,0 %.

Modul de preparare și tehnologia de transport, așternere, compactare și urmărire au fost similare celor prezentate anterior – fiind realizate cu aceleași echipamente și același personal.

Granulozitatea agregatului natural pentru betonul asfaltic deschis cu criblură (B.A.D.25) s-a obținut din următorul amestec de agregate naturale, conform tabelului 3.9.

Tabelul 3.9

Material	%	25	16	8	3.15	0.63	0.2	0.09	T0.09
Criblură 16-25	30		24.7	5.3					
Criblură 8-16	30		1.5	25.9	2.2	0.4			
Nisip de concasaj 0-8	18			0.3	4.0	7.7	4.4	1.2	0.4
Nisip natural	18			0.1	7.2	5.6	2.9	0.6	0.6
Filer	4						0.1	0.5	3.4
Total	100		26.2	31.6	14.4	13.7	7.4	2.3	4.4
Curba granulomet rică		100	73.8	42.2	27.8	14.1	6.7	4.4	
Limite STAS		90- 100	60-80	35-55	20-35	10-30	5-20	1-6	

Rezultatele încercărilor pe cuburi sunt valori ce dau informații privind folosirea unor mixturi asfaltice corespunzătoare, exprimate în tabelul 3.10.

Tabelul 3.10

Caracteristici	U.M	Rezultate obținute pe șantier	Limite conform normativelor în vigoare
Densitatea aparentă	Kg/m <sup>3</sup>	2235	min. 2200
Absorbția de apă	%	4,4	3...8

Rezultatele încercărilor pe cilindri Marshall se înscriu în normativele în vigoare și sunt evidențiate în tabelul 3.11.

Tabelul 3.11

Caracteristici	U.M	Rezultate obținute pe șantier	Limite conform normativelor în vigoare
Densitatea aparentă	Kg/m <sup>3</sup>	2349	min. 2250
Absorbție de apă	% vol.	1,9	3-6
Stabilitate (S) la 60 °C	kN	10,7	min. 4,5

Dozajul de lucru la 100 părți mixtură asfaltică a fost următorul:

- nisip natural 0 – 3 = 17,1 %;
- nisip de concasaj = 17,1 %;
- criblură 8 – 16 = 28,7 %;
- pietriș 16 -25 = 28,7 %;
- filer = 3,9 %;
- bitum = 4,5 %.

Zona de granulozitate pentru betonul asfaltic deschis cu criblură (B.A.D. 25) se observă că se încadrează foarte bine în zona granulometrică prevăzută de normativ și este cea indicată în fig. 3.16.

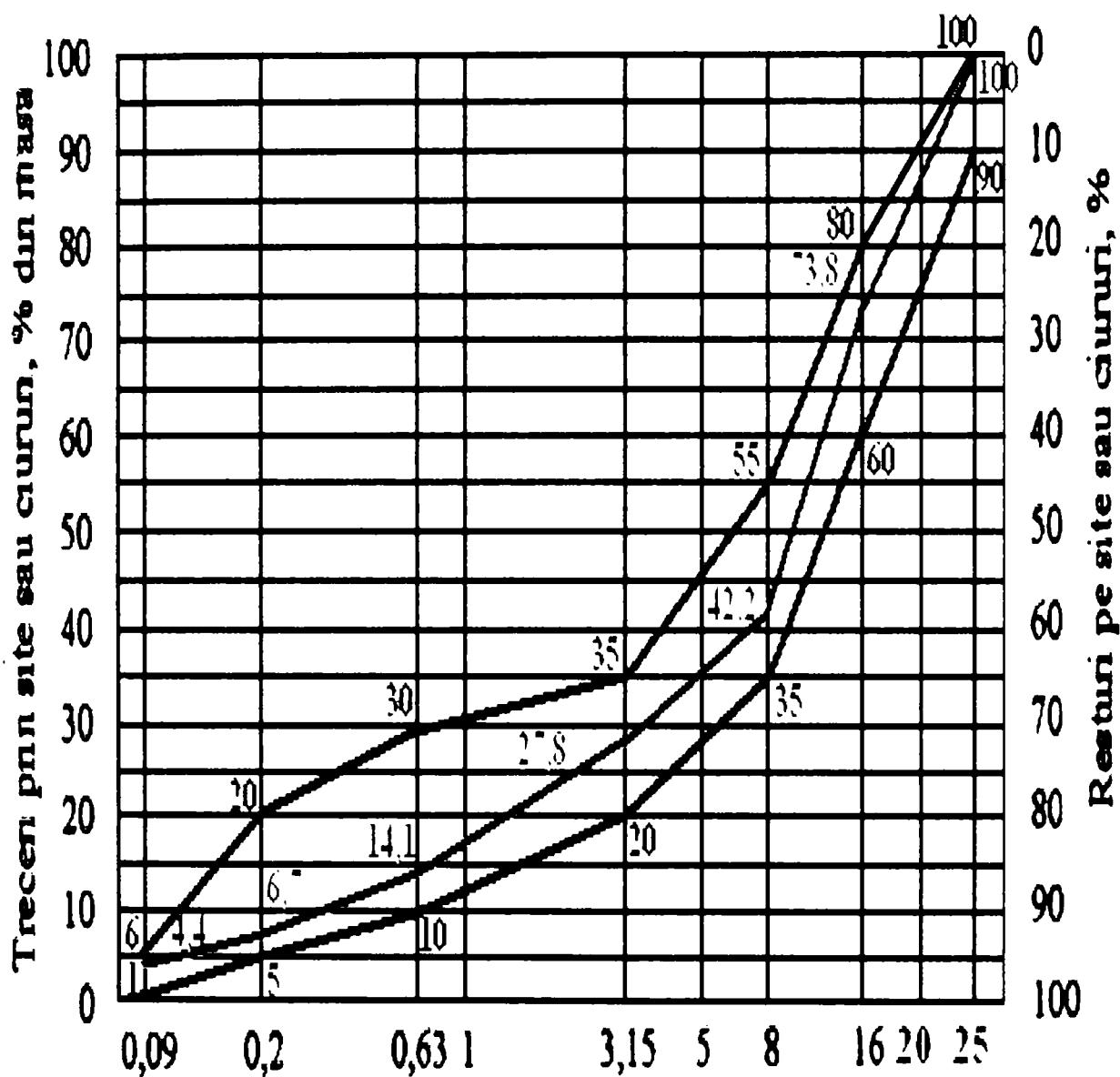


Fig. 3.16. Granulozitatea pentru betonul asfaltic deschis cu criblură (B.A.D. 25).

Granulozitatea agregatului natural pentru betonul asfaltic bogat în criblură (B.A.16) s-a obținut din următorul amestec de agregate naturale, conform tabelului 3.12.

Rezultatele încercărilor pe cilindri Marshall sunt cele evidențiate în tabelul 3.13 și arată durificarea bitumului în procesul de încălzire și preparare a mixturii asfaltice.

Rezultatele încercărilor pe cuburi sunt exprimate în tabelul 3.14, indicând rezultate bune ale valorilor caracteristicilor mixturii asfaltice preparate și puse în operă.

Tabelul 3.12

Material	%	16	8	3,15	0,63	0,2	0,09	T0,09
Criblură 8-16	29	1,5	25,0	2,1	0,4			
Criblură3-8	20		2,3	16,8	0,8	0,1		
Nisip concasaj 0-3	30		0,5	6,7	12,8	7,3	2,0	0,7
Nisip natural 0-7	10		0,1	3,7	3,5	2,2	0,3	0,2
Filer	11					0,2	1,5	9,3
TOTAL	100	1,5	27,9	29,3	17,5	9,8	3,8	10,2
Curba gran	100,0	97,5	70,6	41,3	23,8	14,0	10,2	
LIMITE STAS		90- 100	55-78	30-55	18-35	11-25	8-12	

Tabelul 3.13

Caracteristici	U.M	Rezultate obținute pe șantier	Limite conform normativelor în vigoare
Stabilitate la 60 °C	kN	13,9	min. 8
Densitate aparentă	Kg/m <sup>3</sup>	2400	min. 2300
Absorbția de apă	%, vol.	0,3	2...5

Tabelul 3.14

Caracteristici	U.M.	Rezultate obținute pe șantier	Limite conform normativelor în vigoare
Rezistența la compresiune la 22 °C	N/mm <sup>2</sup>	4,3	min. 3
Rezistența la compresiune la 50 °C	N/mm <sup>2</sup>	1	min. 0,7
Densitate aparentă	Kg/m <sup>3</sup>	2333	min. 2250
Absorbția de apă	%	1,4	2...6

Dozajul de lucru la 100 părți mixtură asfaltică a fost următorul:

- nisip natural 0 – 7 = 9,4 %;
- nisip de concasaj 0-3 = 28,2 %;
- criblură 8 – 16 = 27,3 %;
- criblură 3-8 = 18,8 % ;
- filer = 10,3 %;
- bitum = 6 %.

Zona de granulozitate pentru betonul asfaltic bogat în criblură (B.A. 16 ) este cea indicată în fig. 3.17, evidențiind o încadrare foarte bună în cadrul curbei granulometrice – aproximativ la mijlocul acesteia.



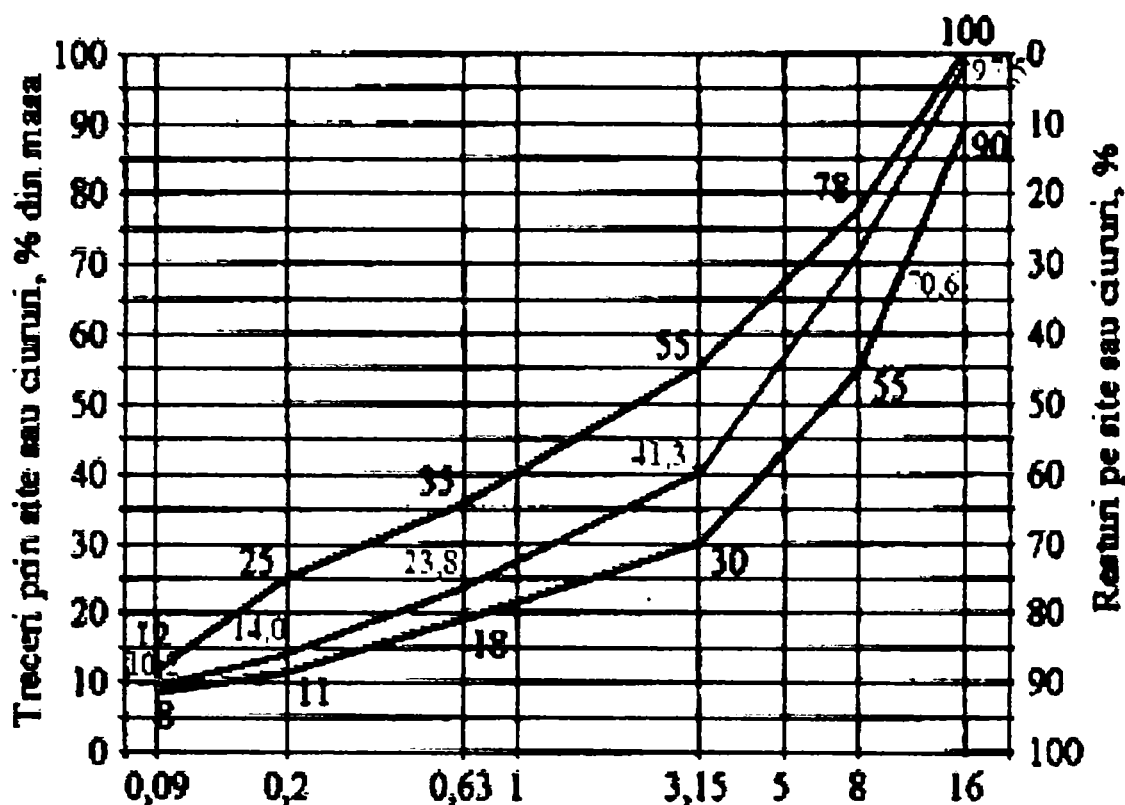


Fig. 3.17 Granulozitatea pentru betonul asfaltic bogat în criblură (B.A.16).

Nevoia de a interveni asupra unor îmbrăcămînți din beton de ciment, pe străzi de categoria a III-a din Municipiul Tg Jiu și Orașul Bumbesti Jiu, în vederea reabilitării acestora, ținând seama de traficul mediu la care sunt solicitate și luând în considerare starea lor – fisurate și degradate – urmare a netratării rosturilor și a neintervenirii la timp pentru întreținerea acestora, a dus la aplicarea soluțiilor:

- 2 cm mortar asfaltic cu rol antifisură;
- 4 cm B.A. 16, strat de uzură.

Soluțiile acestea s-au aplicat experimental – recunosc la recomandarea mea, echipelor de proiectare – dar având inițial rezerve asupra succesului soluției și mergând pe principiul ameliorărilor progresive prin consolidări succesive, dar realitatea a confirmat eficiența acestei soluții.

Soluția bazată pe realizarea unui complex format din două straturi.

Această soluție se bazează pe realizarea unui complex format din două straturi:

- un mortar asfaltic – o mixtură asfaltică bogată în liant, - care asigură în mod deosebit o rezistență la forfecare, o bună etanșeitate și prin comportamentul elastic reduce eforturile transmise stratului superior și are o bună rezistență la fisurare;

- un strat de uzură B.A.16, cu o textură granulară, care completează o structură complexă, prin calitățile sale mecanice, asigurând o bună rugozitate geometrică, o drenare eficientă a apei de pe suprafața îmbrăcăminte și totodată are și comportare eficace antifăgaș.

În anul 2001, am aplicat tehnologia antifisuri folosind mortarul asfaltic în orașul Bumbești Jiu – strada Gării- care a constat în realizarea unui mortar asfaltic antifisuri de 2,5 cm și a unui strat de B.A.16 de 4,0 cm.

Granulozitatea agregatului natural pentru mortarul asfaltic s-a obținut din următorul amestec de agregate naturale, conform tabelului 3.15.

Tabelul 3.15

Material	Doz aj %	Treceri prin sita sau ciurul de..					
		8	3,15	0,63	0,2	0,09	T 0,09
Nisip natural 0-3	45	-	2,3	13,2	27,3	1,3	0,9
Nisip de concasaj 0-4	40	0,2	10,0	14,0	11,9	2,4	1,5
Filer	15	-	-	-	0,3	1,5	13,2
Total	100	0,2	12,3	27,2	39,5	5,2	15,6
Curba gran.	-	99,8	87,5	60,3	20,8	15,6	-
Limite STAS	-	90-100	80-90	52-80	20-50	10-16	-

Încercările fizico-mecanice efectuate asupra acestui tip de mixtură asfaltică, au condus la rezultatele din tabelul 3.16, care oferă informații despre mixtura asfaltică cu caracteristici conforme cu normativele în vigoare.

Tabelul 3.16

Caracteristica	Valori obținute în laborator	Limite conform normativelor în vigoare
<b>1. Cilindri Marshall</b>		
Stabilitatea Marshall, (S), în kN	10,2	min 6
Indicele de curgere (I), în mm	3,5	1,5...4,5
Raport S/I, în kN/mm	2,91	1...3
Densitatea aparentă, kg/m <sup>3</sup>	2293	min. 2200
Absorbția de apă, % vol.	2	2...6
<b>2. Cuburi</b>		
Rezistența la compresiune la 22 <sup>0</sup> C, în N/mm <sup>2</sup>	2,9	2...5
Rezistența la compresiune la 50 <sup>0</sup> C, în N/mm <sup>2</sup>	0,62	min. 0,5
Densitate aparentă, în kg/m <sup>3</sup>	2194	min. 2150
Absorbția de apă, în %, vol.	2,7	2...5

Dozajul de lucru la 100 părți mixtură asfaltică a fost:

- Nisip natural 0-3 = 41,3 %
- Nisip de concasaj 0-3 = 36,7 %;
- Filer (Casial Deva) = 13,8 %;
- Bitum D60/80 = 8,2 %.

Zona granulometrică pentru mortarul asfaltic este cea indicată în fig.3.18, care definește o încadrare la limită a dozajelor proiectate de agregate naturale și filer.

Granulozitatea agregatului natural pentru betonul asfaltic bogat în criblură (B.A. 16), s-a obținut din următorul amestec de agregate naturale: tabelul 3.17.

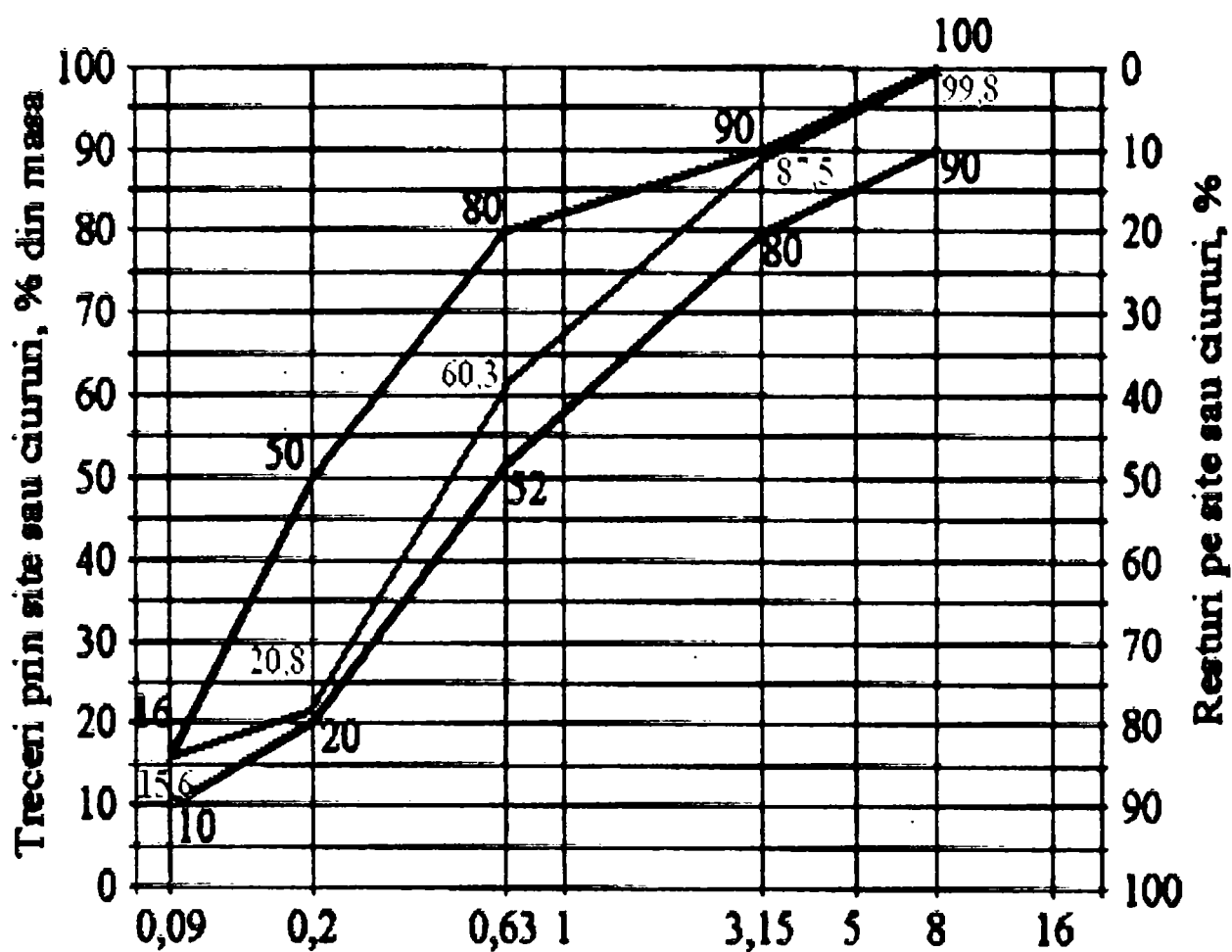


Fig. 3.18. Granulozitatea pentru mortarul asfaltic antifisură.

Tabelul 3.17

Material	%	16	8	3,15	0,63	0,2	0,09	T0,09
Criblură 8-16	30	1,2	26,4	2,4	-	-	-	-
Criblură 3-8	25	-	1,3	22,0	1,2	0,5	-	-
Nisip de concasaj 0-3	27	-	-	4,5	13,5	3,6	0,8	4,6
Nisip natural 0-7	10	-	-	3,2	4,6	1,5	0,4	0,3
Filer	8	-	-	-	-	0,2	1,4	6,4
TOTAL	100	1,2	27,7	32,1	19,3	5,8	2,6	11,3
Curba gran		98,8	71,1	39,0	19,7	13,9	11,3	-
LIMITE STAS		90-100	55-78	30-55	18-35	11-25	8-12	

Încercările fizico-mecanice determinate în laborator asupra acestui tip de mixtură asfaltică au condus la rezultatele din tabelul 3.18, care definesc o mixtură asfaltică cu caracteristici corespunzătoare, respectând normativele în vigoare.

Tabelul 3.18

Caracteristica	Valori obținute în laborator	Limite conf. norm. în vigoare
<b>1. Cilindri Marshall</b>		
Stabilitatea Marshall, (S), în kN	10,8	min 7,5
Indicele de curgere (I), în mm	3,5	1,5...4,0
Raport S/I, în kN/mm	3,1	2...4
Densitatea aparentă, kg/m <sup>3</sup>	2470	min. 2300
Absorbția de apă, % vol.	1	2...5
<b>2. Cuburi</b>		
Rezistența la compresiune la 22 °C, în N/mm <sup>2</sup>	3,6	min.3,5
Rezistența la compresiune la 50 °C, în N/mm <sup>2</sup>	0,8	min. 0,7
Densitate aparentă, în kg/m <sup>3</sup>	2280	min. 2250
Absorbția de apă, în % vol.	2,4	2...6

Dozajul de lucru la 100 părți mixtură asfaltică a fost următorul:

- Criblură 8-16 = 28,2 %;
- Criblură 3-8 = 23,5 %;
- Nisip concasaj = 25,4 %;
- Nisip natural = 9,4 %;
- Filer = 7,5 %;
- Bitum = 6 %.

Zona de granulozitate pentru betonul asfaltic bogat în criblură (B.A.16), este indicată în figura 3.19, unde se observă încadrarea corespunzătoare în curba granulometrică a dozajelor proiectate pentru acest tip de mixtură asfaltică.

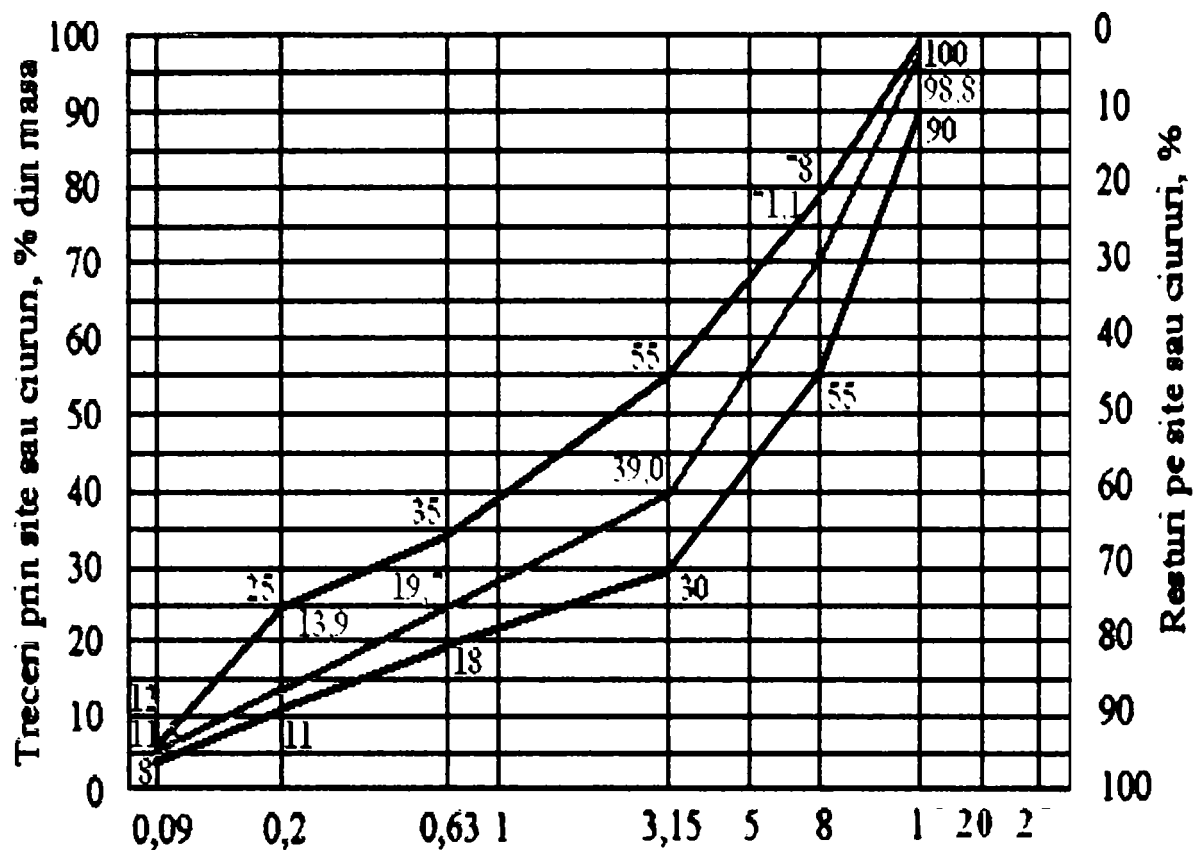


Fig. 3.19. Granulozitatea pentru betonul asfaltic bogat în criblură (B.A. 16).

De asemenea, în anul 2002, aceeași tehnologie, în condiții similare s-a aplicat și pe strada Gr. Al. Ghica,- pe o îmbrăcămintă din beton de ciment puternic degradată – din orașul Bumbesti Jiu.

Comportarea celor două străzi a evidențiat buna gândire în alegerea soluției și modul reușit de realizare a acesteia.

Strada Narciselor, care face parte din varianta ocolitoare a municipiului Tg-Jiu a fost modernizată:

- în anul 2004, sectorul 0+000...1+500, aplicându-se soluția:
  - 4,0 cm beton asfaltic bogat în criblură, B.A.16;
  - 6,0 cm beton asfaltic deschis cu criblură, B.A.D. 25;
  - 2,5 cm mortar asfaltic antifisură
- în anul 2005, sectorul 1+500...2+750, aplicându-se soluția:
  - 5,0 cm beton asfaltic cu agregat mare, B.A. 25;

- 2,5 cm mortar asfaltic antifisură.

În acest ultim caz, s-a avut în vedere de către administratorul drumului-Primăria Tg-Jiu - varianta consolidării ulterioare printr-un strat de uzură-B.A.16-(soluția proiectată acum constituind o intervenție absolut necesară a străzii, ținând seama de constrângerile financiare).

Modul de preparare și tehnologia de transport, așternere și compactare au fost realizate cu aceleași echipamente prezentate anterior în lucrare.

Granulozitatea agregatului natural pentru betonul asfaltic cu agregat mare (B.A.25) s-a obținut din următorul amestec de agregate naturale conform tabelului 3.19.

Tabelul 3.19

Material	Dozaj %	Treceri prin sita sau ciurul de									
		25	16	8	4	2	1	0,63	0,2	0,1	T 0,1
Criblură 16-25	23	1,1	19,8	2,1	-	-	-	-	-	-	-
Criblură 8-16	18	-	0,4	16	1,6	-	-	-	-	-	-
Criblură 4-8	15	-	-	0,6	12,9	1,5	-	-	-	-	-
Nisip conasaj 0-4	35	-	-	-	0,2	9,1	10,3	5,3	7,2	1,7	1,2
Filer	9	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,2	8,7
Total	100	1,1	20,2	18,7	14,7	10,6	10,3	5,3	7,3	1,9	9,9
Curba gran.		98,9	78,7	60,0	45,3	34,7	24,4	19,1	11,8	9,9	-
Limite conf. norm.		90- 100	72- 90	54- 80	40- 61	30- 50	20- 40	15- 35	18- 25	6- 13	-

Încercările fizico-mecanice efectuate în laborator asupra acestui tip de mixtură asfaltică, au condus la rezultatele din tabelul 3.20, evidențiind valori conforme cu normativele în vigoare pentru acest tip de mixtură asfaltică.

Tabelul 3.20

Caracteristica	Rezultate obținute în laborator	Limite conf. norm. În vigoare
Stabilitatea Marshall,(S), în kN	8,3	min. 5,5
Indicele de curgere (I), în mm	4,5	1,5...4,5
Raport S/I, în kN/mm	1,8	1,2...3,6
Densitatea aparentă, kg/m <sup>3</sup>	2360	min 2300
Absorbția de apă, %	3	2...5

Dozajul de lucru la 100 părți mixtură asfaltică a fost următorul:

- criblură 16-25 =21,7 %
- criblură 8-16 =17,0 %
- criblură 4-8 = 33,0 %
- filer =8,5 %
- bitum = 5,7 %

Zona de granulozitate pentru betonul asfaltic cu agregat mare (B.A.25) este cea indicată în figura 3.20. se observă o bună încadrare în curba granulometrică



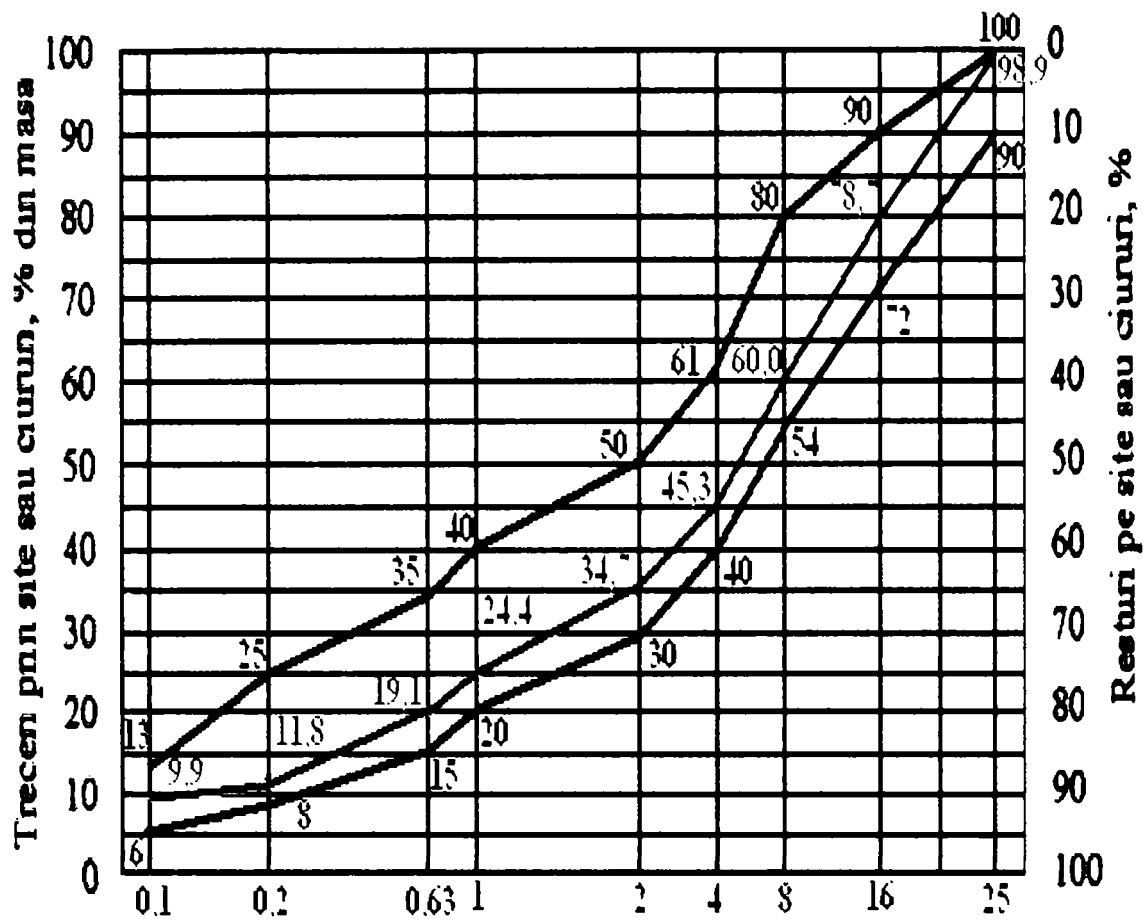


Fig. 3.20 Granulozitatea pentru beton asfaltic bogat în criblură cu agregat mare (B.A. 25).

Granulozitatea agregatului natural pentru mortarul asfaltic cu rol antifisură s-a obținut din următorul amestec de agregate naturale, conform tabelului 3.21.

Tabelul 3.21

Material	Dozaj %	Treceri prin sita sau ciurul de...							
		T0,1	0,1	0,2	0,63	1	2	4	8
Pietriș ciuruit 4-8	15	-	-	-	-	1,5	-	12,9	0,6
Nisip concasaj 0-4	73	3,1	6,4	21,4	11,4	29	-	1,7	
Filer	12	11,6	0,3	0,1	-		-		
Total	100	14,7	6,7	21,5	11,4	30,5	-	14,6	0,6
Curba gran.			14,7	21,4	42,9	54,3		84,8	99,4

Dozajul de lucru la 100 părți mixtură asfaltică, a fost următorul:

- pietriș ciuruit 4-8 = 13,8 %;
- nisip de concasaj 0-4 = 67,2 %
- filer = 11,0 %
- bitum = 8,0 %

Rezultatele încercărilor pe cilindri Marshall, conforme cu valorile caracteristicilor proiectate, sunt cele evidențiate în tabelul 3.22.

Tabelul 3.22

Caracteristica	U.M.	Rezultate obținute în laborator
Stabilitatea Marshall (S) la 60 <sup>0</sup> C	kN	7
Indicele de curgere (I)	mm	4,4
Raportul S/I	Kn/mm	1,6
Densitatea aparentă	Kg/m <sup>3</sup>	2275
Absorbția de apă	%	2,5

Comportarea în exploatare, ținând seama de timpul relativ scurt de la realizare, nu poate fi definită și va face obiectul concluziilor de urmărire și analiză viitoare.

Imaginile prezentate în fig. 3.21 și fig. 3.22 prezintă suprafețele înainte de reabilitare, iar imaginile prezentate în fig. 3.23 și fig. 3.24 indică suprafețele nou realizate.



Fig. 3.21. Strada Narciselor – înainte de reabilitare – km 2+550 ( cu multe defecțiuni, fisuri, rosturi, faianțări și gropi).



Fig. 3.22 Strada Narciselor – înainte de reabilitare – km 2+625 cu multe defecțiuni.



Fig. 3.23. Strada Narciselor – după reabilitare – km 0+900.

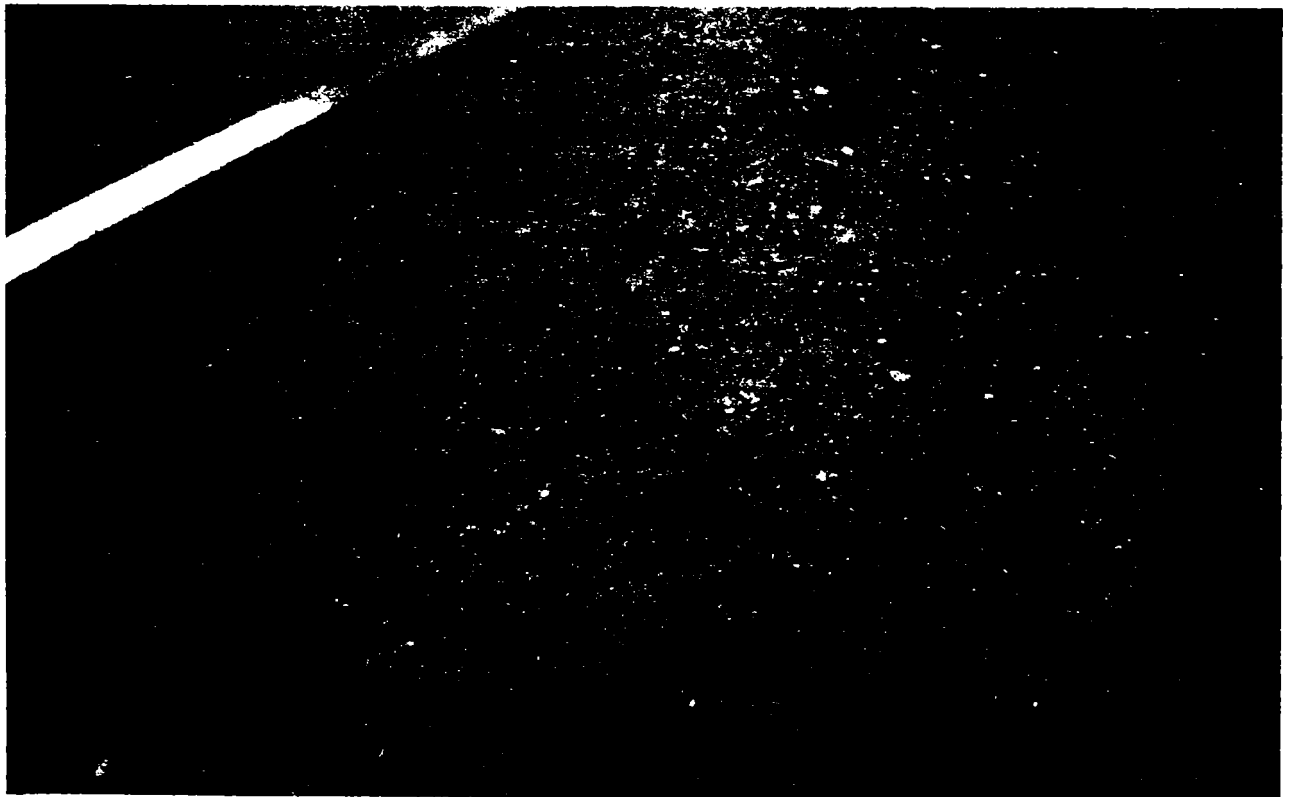


Fig. 3.24. Strada Narciselor – după reabilitare – km 1+800.

### **3.3.1.2. Interpunerea unui strat alcătuit din mortar asfaltic și B.A. 16 cu pudră de cauciuc**

Adăugarea pudreii de cauciuc în bitum îi îmbunătățește comportamentul vâscos elastic, îi conferă o elasticitate mai mare, favorizează procesul de anrobare a agregatelor.

De asemenea are influență asupra reducerii zgomotului produs de autovehicule în mișcare și asupra reducerii tendinței de fisurare a îmbrăcămintei asfaltice la temperaturi scăzute.

#### **3.3.1.2.1. Condiții generale de utilizare a mixturii asfaltice cu pudră de cauciuc**

Lianții bituminoși cu aditivi, conform terminologiei tehnice rutiere franceze, sunt materiale aderente care conțin bitum sau asfalt natural, în cadrul cărora au fost introduși aditivi fie în timpul fabricării mixturilor asfaltice, fie la punerea în operă a unui tratament bituminos. Se apreciază că testarea caracteristicilor ansamblului liant – aditiv nu se poate realiza separat de amestecul bituminos realizat. Efectul aditivului se apreciază prin determinarea caracteristicilor mixturilor asfaltice obținute.

Literatura precizează o gamă destul de largă de aditivi care introduși în mixturile asfaltice le pot influența caracteristicile. Aditivii de diferite naturi folosiți la prepararea mixturilor asfaltice sau la realizarea tratamentelor bituminoase sunt repartizați în familiile următoare:

- polimeri adăugați în fabricile de mixturi asfaltice;
- materiale plastice reciclate;
- pudră de cauciuc;
- fibre de diferite tipuri (minerale, sintetice sau metalice);
- asfalturi naturale.

Referitor la bitumul- cauciuc se menționează faptul că acest gen de amestecuri nu este foarte răspândit în tehnica rutieră de pe plan mondial, chiar dacă au fost nenumărate tendințe de implementare în foarte multe țări. De altfel, în ultima carte apărută în Franța în domeniul lianților bituminoși și mixturilor asfaltice („Les enrobes

bitumineux”, RGRA, 2002) se menționează ca adaosuri frecvent folosite în bitum în ultima perioadă: fibrele naturale (celuloza, fibrele de rocă) sau artificiale (fibre sintetice, de sticlă, metalice), respectiv diferite deșeuri de materiale plastice (polietilene recuperate prin decorticarea cablurilor telefonice), iar pentru bitumul-cauciuc se precizează câteva condiții determinante pentru obținere.

Câteva din particularitățile implementării bitumului-cauciuc în tehnica rutieră pe plan mondial sunt prezentate în continuare.

Cauciucul natural sau sintetic se pare că a fost utilizat ca adaos în bitum pentru prima dată în S.U.A. începând cu anul 1960 acest procedeu fiind încadrat ca „metoda umedă” și este descris prin norma ASTM D 6114. Al doilea procedeu experimentat pe plan mondial este denumit „metoda uscată”, potrivit căruia pudreta de cauciuc se introduce la nivelul malaxorului, înlocuind o parte din scheletul mineral al mixturii asfaltice.

Cauciucul folosit în cadrul acestor procedee provine de regulă din cauciucuri uzate aduse în stare de pudretă prin tăiere la dimensiuni de maximum câțiva mm. Introdus în bitumul cald, cauciucul reacționează și se umflă prin absorbția fracțiunilor aromatice ale bitumului. Compoziția cauciucului recuperat din pneuri face ca polimerii care alcătuiesc pudreta să nu se dizolve bine în bitumul cald și ca amestecul rezultat să fie instabil.

Au fost create numeroase procedee de fabricare pentru obținerea bitumului-cauciuc prin „metoda umedă”, concluzia trasă fiind că amestecul trebuie utilizat imediat din cauza instabilității sale, dar poate fi și stocat în anumite condiții.

De asemenea s-a crezut că prin crearea acestui gen de liant se pot emana anumite gaze nocive, fapt care nu a fost confirmat de studiile și cercetările efectuate în lume în locurile de fabricare sau de punere în operă.

Bitumul – cauciuc nestocabil creat prin „metoda umedă”, este compus din:

- 79 % bitum cu penetrația 80...100 1/10 mm;
- 3 % ulei aromatic destinat fluxării bitumului care să-l facă mai reactiv la al treilea component;
- 18 % pudretă de cauciuc provenind din pneuri uzate.

Pudreta de cauciuc folosită a rezultat în proporție de 50 % din cauciuc natural și 50 % din cauciuc sintetic. Amestecul s-a fabricat la o temperatură de 205 °C, urmând ca o parte a cauciucului să se dizolve în bitum, iar cealaltă parte să se devulcanizeze. Se tinde să se formeze o rețea tridimensională de legături care dau bitumului cauciuc caracterul elastic, o bună flexibilitate la temperaturi scăzute și o vâscozitate adecvată la temperaturi ridicate.

Pe amestecuri în cadrul cărora cauciucul a variat în ecartul 14...20 % s-au obținut următoarele caracteristici:

- o alungire la rupere de min.200 % la o temperatură de -10 °C;
- o temperatură inel și bilă de 57...68 °C;
- o ductilitate la 25 °C de 17...20 cm;
- o adezivitate de 100 %, determinată cu placa Vialit la temperatura de -10 °C și chiar la -25 °C.

Condițiile de fabricare conform „metodei umede” pentru un liant nestocabil, se referă la realizarea amestecului bitum-cauciuc la o temperatură de 205 °C, într-un malaxor special în care componenții se introduc în următoarea ordine:

- bitumul cu uleiul se amestecă separat pentru a obține fluxarea bitumului, după care se introduc în malaxor;
- se adaugă cauciucul și se continuă omogenizarea;
- amestecul este transferat într-un rezervor vertical prevăzut cu agitator, de unde bitumul cauciuc se transferă spre fabrica de mixturi asfaltice, respectiv spre combina de realizare a tratamentului bituminis.

Când toată pudreta de cauciuc a fost adăugată, vâscozitatea începe să se schimbe, trecând printr-un maximum bine marcat, rezultat al concurenței dintre tendința de umflare a cauciucului (creșterea vâscozității). Timpul de omogenizare la 205 °C a avut o influență majoră asupra vâscozității amestecului rezultat. Durata acestui proces este de 2...3 h.

Fabricarea conform „metodei umede” a unui liant stocabil, presupune în primul rând găsirea condițiilor pentru care liantului i se poate asigura stabilitatea. Procedeele experimentate au urmărit obținerea unei devulcanizări și a unei dehidrogenări a

cauciucului din pneuri uzate la temperaturi înalte (cca 250 °C). În continuare voi prezenta un procedeu devenit operațional pentru o temperatură mai scăzută.

În acest procedeu, liantul este compus din:

- 85...90 % bitum de petrol cu penetrația 180...220 1/10 mm;
- 8...12 % pudretă de cauciuc din pneuri uzate;
- 2...3 % aditiv (ulei și polimer de sinteză).

Pudreta de cauciuc a rezultat în proporție de 20...80 % din pneuri de camioane și în proporție de 80...20 % deșuri de pneuri de autoturisme. Mărimea particulelor nu a depășit 1 mm, iar particulele sub 80 micrometri au fost de cca 10 %.

Dizolvarea și combinarea cauciucului cu bitumul sunt obținute în urma adaosului de uleiuri grele naftenă-aromatice și a unui elastomer sintetic olefinic nesaturat ca masa moleculară mai mare de 100 000. cu un astfel de liant s-au obținut:

- o alungire la rupere de min 400 % la o temperatură de -10 °C;
- o temperatură de îmbătrânire înel și bilă de 65...80 °C.

Condițiile de fabricație a acestui liant au presupus urmărirea următorului lanț tehnologic:

- cauciucul se amestecă separat cu uleiul;
- se introduce într-un malaxor cu elice, bitumul, apoi cauciucul-ulei și polimerul;
- se trece amestecul printr-o moară coloidală și apoi printr-un răcitor;
- bitumul cauciuc se stochează în rezervoare metalice.

Amestecul s-a realizat la o temperatură de 175...185 °C și este agitat continuu timp de cca 2 h, până la obținerea unei vâscozități de cca 0,6 Pa. Răcirea amestecului se face numai cu 15...20 °C, iar stocarea se realizează la 160 °C, într-un rezervor închis ermetic și fără agitare.

Dacă liantul nu este utilizat imediat, el poate fi stocat fără modificări semnificative ale caracteristicilor sale până la maximum 2 săptămâni.

„Metoda uscată” presupune adăugarea în mixturile asfaltice de pudretă de cauciuc provenită din pneuri uzate și a fost experimentată în numeroase țări în ultimii 30 de ani.

Se remarcă faptul că obligarea prin reglementări a constructorilor de drumuri de a folosi în mixturi asfaltice pudreta de cauciuc nu a dat rezultate. Astfel, reglementarea



introdusă în S.U.A. în anul 1991, care obliga constructorii să folosească pudreta de cauciuc a fost repede abandonată din cauza costurilor adiționale și de descoperirea altor posibilități de folosire a acestui subprodus.

Tehnica generală în cazul acestui procedeu constă în introducerea direct în malaxorul de preparare a mixturii asfaltice la cald a pudretei de cauciuc cu dimensiuni de câțiva mm (maximum 2 mm în general), în proporție de 10...12 kg/t de mixtură asfaltică, ceea ce reprezintă 15...20 % din masa bitumului folosit.

Există diferite procedee care diferă prin granulozitatea scheletului mineral utilizat, care poate fi continuă sau discontinuă.

Procedeul francez presupune utilizarea unei pudrete de cauciuc cu granulozitatea 0...1,5 mm, care înlocuiește o parte din fracțiunea de nisip din mixtura asfaltică (2...3 % din masa acestuia). Se evită astfel existența elementelor grosiere de cauciuc între două sorturi elementare de agregat și ameliorează raportul cost/eficiență. Conținutul de cauciuc depinde și de natura sa (natural sau sintetic), menționându-se faptul că în cazul cauciucului sintetic dozajele folosite trebuie să fie mai mici. De asemenea, liantul folosit în aceste procedee poate fi un bitum pur sau un bitum modificat cu polimeri.

Reacția dintre bitum și cauciuc are loc în timpul malaxării, fără a folosi nici un agent de ușurare a acestor reacții ca și în cazul metodei precedente. Aceste reacții se produc la două niveluri:

- între bitum și fracțiunea fină a cauciucului, unde se poate considera deja formată o parte a liantului bitum-cauciuc;
- la suprafața granulelor mai mari de cauciuc, cu formarea de legături particulare superficiale.

Contactul dintre cauciuc și bitum se realizează la o temperatură mai scăzută și într-un interval de timp mult mai mic decât în metoda precedentă, motiv pentru care reacțiile dintre bitum și cauciuc sunt incomplete.

Lianții bitum-cauciuc conduc la modificări ale proprietăților lianților de bază dintre care se menționează următoarele:

- mărirea rugozității liantului, datorită reacției bitum – cauciuc;
- un modul mai redus ca urmare a folosirii cauciucului;

- o rezistență la fisurare mai ridicată, la temperaturi scăzute;
- o fragilitate mai redusă a filmului de liant ce anrobează agregatele naturale (mai ales în regiunile reci);
- o amortizare mai bună a impactului pneu-îmbrăcăminte, deci o reducere a zgomotului produs în timpul rulării.

Introducerea pudreței de cauciuc la nivelul malaxorului se face de regulă prin saci de plastic în care este cântărită cantitatea necesară de pudră pentru fiecare șarjă. Pudreța se introduce direct pe agregatele naturale calde, înainte de introducerea liantului bituminos.

Se recomandă ca temperatura de anrobare să fie puțin mai mare decât în situația bitumului pur, pentru a se asigura desfășurarea reacției dintre bitum și cauciuc temperatura amestecului trebuie menținută destul de ridicată pe durata stocării, transportului, așternerii și punerii în operă, pentru ca operația de compactare să se poată desfășura în condiții normale (operație mai dificilă la mixturile cu bitum-cauciuc). Nu se vor folosi compactoare cu pneuri pentru a se evita lipirea mixturii asfaltice de pneurile compactorului.

#### 3.3.1.2.2. Studii de laborator pentru mixtura asfaltică cu pudră de cauciuc

Asupra materialelor care au fost folosite pentru calculul dozajelor de betoane asfaltice B.A.16 și pentru efectuarea încercărilor de laborator pentru verificarea dozajelor calculate s-au efectuat încercările prevăzute de standardele în vigoare. Rezultatele obținute pe bitum sunt menționate în tabelul 3.23, iar cele pentru agregatele naturale în tabelul 3.24, respectiv 3.25 (granulozitatea agregatelor și filerului folosit).

Încercări asupra bitumului

Tabelul 3.23

Nr crt	Caracteristica	Valoarea
1	Penetrația, în 1/10 mm	74
2	Punctul de înmuiere inel și bilă, în °C	53
3	Ductilitatea, în cm	68

Bitumul cu care urmează să se prepare mixturile asfaltice în laborator este tipul D60/80.

Încercări asupra agregatelor naturale

Tabelul 3.24

Nr crt	Caracteristica	Valoare		
		Criblură 4-8	Criblură 8-16	Nisip natural
1	Coeficient de formă, în %	23.2	20.8	-
2	Uzura Los Angeles, în %	22.4	20.1	-
3	Rezistența la sfărâmare prin compresiune în satre uscată, în %	-	67	-
4	Corpuri străine	Nu	Nu	Nu
5	Echivalent de nisip, în %	-	-	88.7

Criblurile care urmează să se folosească la prepararea mixturilor sunt corespunzătoare și se încadrează în prevederile normativelor în vigoare.

Granulozitatea materialelor este evidențiată în tabelul 3.25.

Tabelul 3.25

Material	Rest pe ciurul sau sita de ....mm						Treceri prin 0,09 mm
	16	8	4	0,63	0,2	0,09	
Criblura 8-16	9,4	85,8	4,8	-	-	-	-
Criblura 4-8	-	5,4	51,0	42,3	1,3	-	-
Nisip de concasaj	-	-	1,5	63,4	26,4	6,6	2,1
Nisip natural	-	3,5	30,5	56,0	6,4	1,9	1,7
Filer	-	-	-	-	2,8	3,8	93,4
Pudreta fină	-	-	-	48,4	44,6	7,0	-
Pudretă medie	-	-	26,7	72,8	0,5	-	-
Pudretă grosieră	-	-	94,6	5,1	0,3	-	-

Granulozitățile sus-menționate au stat la baza calculului dozajului de bază al betonului asfaltic B.A.16, prin metoda suprafeței specifice, calcul care se va prezenta în continuare.

Pornind de la materialele sus-menționate, autorul a conceput în condiții de laborator mai multe dozaje de betoane asfaltice tip B.A. 16

Calculul dozajelor betoanelor asfaltice care au urmat să fie testate prin încercări de laborator a presupus următoarele:

- determinarea dozajelor de alcătuire a scheletului mineral și a dozajului optim de bitum pentru un beton asfaltic B.A.16, fără pudră de cauciuc, considerat ca probă martor;

- determinarea dozajelor pentru alte betoane asfaltice B.A.16, pentru care o parte a scheletului mineral a fost înlocuit cu pudră de cauciuc de diferite granulozități.

Calculul dozajului martor pentru betonul asfaltic B.A.16 s-a efectuat cu metoda suprafeței specifice, în conformitate cu normativele în vigoare în România, parcurgându-se următoarele etape:

- determinarea alcătuirii scheletului mineral al mixturii asfaltice. Pentru aceasta s-a pornit de la granulozitățile materialelor prezentate în tabelul 3.25, care au fost introduse în amestecul total în proporțiile menționate în tabelul 3.26. A rezultat astfel granulozitatea scheletului mineral pentru betonul asfaltic (ultimul rând al tabelului 3.26).

Reprezentarea granulozității scheletului mineral în zona de granulozitate prescrisă acestui tip de mixtură asfaltică conduce la concluzia că dozajele de materiale care intră în alcătuirea scheletului mineral au fost corect alese (fig.3.27).

Calculul granulozității scheletului mineral

- calculul suprafeței specifice a scheletului mineral se efectuează cu relația următoare, pornind de la curba de granulozitate a agregatului natural total din fig.3.27:

$$100S = 0,17 A + 0,32 A + 2,30 N + 12 n + 135f \quad [\text{km}^2/\text{kg}] \quad (3.1)$$

în care:

S este suprafața specifică, în  $\text{m}^2/\text{kg}$ ;

A - procentul de granule peste 10 mm;

- calculul suprafeței specifice a scheletului mineral se efectuează cu relația următoare, pornind de la curba de granulozitate a agregatului natural total din fig.3.27:

$$100S = 0,17 A + 0,32 A + 2,30 N + 12 n + 135f \text{ [km}^2\text{/kg]} \quad (3.1)$$

în care:

S este suprafața specifică, în  $m^2/kg$ ;

A - procentul de granule peste 10 mm;

Tabelul 3.26.

Material	%	Rest pe ciurul sau sita de ....mm						Treceri prin 0,09 mm
		16	8	4	0,63	0,2	0,09	
Criblură 8-16	30	2,8	25,7	1,4	-	-	-	-
Criblură 4 – 8	28	-	1,5	14,3	11,8	0,4	-	-
Nisip de concasaj	23	-	-	0,3	14,6	6,1	1,5	0,5
Nisip natural	7	-	0,2	2,1	3,9	0,5	0,2	0,1
Filer	12	-	-	-	-	0,4	0,5	11,2
Total	100	2,8	27,4	18,1	30,3	7,4	2,2	11,8

a - procentul de granule între 5 și 10 mm;

N - procentul de nisip grosier între 0,315 și 5 mm;

n - procentul de nisip între 0,08 și 0,315 mm;

f - procentul de filer sub 0,08 mm.

Suprafața specifică calculată este:

$$100S = 17 \times 18 + 0,32 \times 23 + 2,3 \times 44 + 12 \times 3,2 + 135 \times 11,8 = 1743 \text{ m}^2\text{/kg.}$$

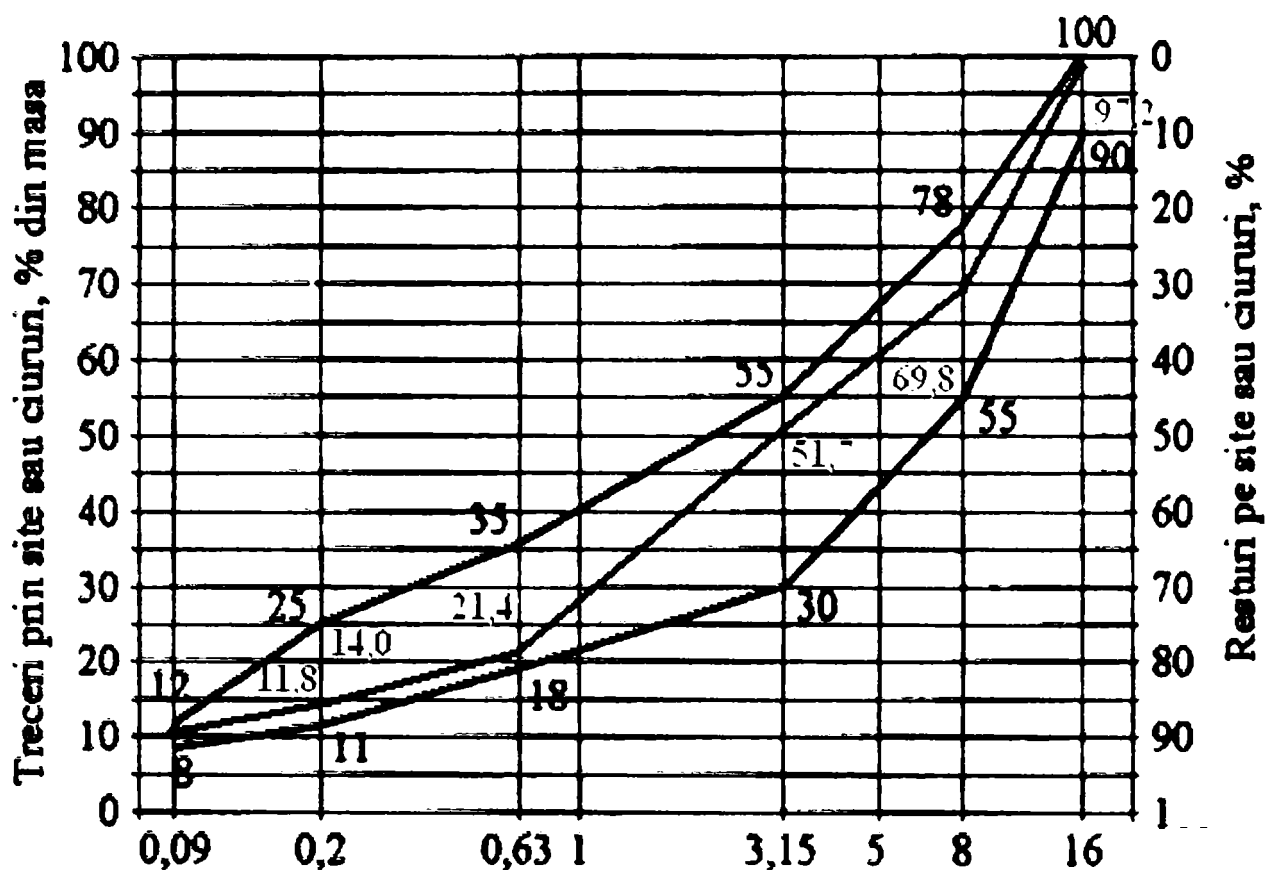


Fig. 3.27. Granulozitatea scheletului mineral.

- Calculul dozajului de liant raportat la 100 părți de mixtură asfaltică, care trebuie să se încadreze în intervalul 6,3...7,3 % (drumuri publice de clasa tehnică III), conform normativelor în vigoare, se efectuează în felul următor:

-dozajul de bitum calculat la 100 părți de agregat natural este următorul (K este modulul de conținut care are valori de 4,0...4,5 pentru betoane asfaltice):

$$b = K \times \sqrt[3]{S} = 42 \times \sqrt[3]{17,43} = 7,3 \quad [\%] \quad (3.2)$$

-dozajul de bitum raportat la 100 părți de mixtură asfaltică este următorul:

$$b = \frac{100 \times b}{100 + b} = \frac{730}{100 + 7,3} = 68 \quad [\%] \quad (3.3)$$

Dozajul de bitum obținut se încadrează în prevederile normativelor în vigoare.

-Calculul dozajului de lucru pentru betonul asfaltic B.A.16, considerat ca probă martor a condus în aceste condiții la obținerea următoarelor rezultate:

- criblură 8-16 28,0 %;
- criblură 4-8 26,1 %;
- nisip de concasaj 21,4 %;
- nisip natural 6,5 %;
- filer 11,2 %;
- bitum 6,8 %.

Pornind de la dozajul de bază calculat anterior s-a urmărit ca prin încercări de laborator să se testeze posibilitățile de folosire a pudretei de cauciuc în cadrul acestui beton asfaltic. Acest lucru s-a efectuat pe dozajele cu pudretă de cauciuc prezentate în tabelul 3.27.

Tabelul 3.27

Nr dozaj	Dozaj de pudretă de cauciuc	Material înlocuit cu pudretă
Dozajul 1	-	Materialele sunt cele de mai sus
Dozajul 2	10kg pudretă fină/t de mixtură	5 kg/t filer și 5 kg/t nisip natural
Dozajul 3	15 kg pudretă fină/t de mixtură	7,5 kg/t filer și 7,5 kg/t nisip natural
Dozajul 4	20 kg pudretă fină/t de mixtură	10 kg/t filer și 10 kg/t nisip natural
Dozajul 5	10 kg pudretă mijlocie/t de mixtură	10 kg/t nisip natural
Dozajul 6	50 kg pudretă mijlocie/t de mixtură	50 kg/t nisip natural
Dozajul 7	10 kg pudretă mare/t de mixtură	10 kg /t nisip natural
Dozajul 8	20 kg pudretă mare /t de mixtură	20 kg/t nisip natural

Pentru fiecare din dozajele anterioare au fost preparate în laborator mixturi asfaltice, iar rezultatele obținute prin încercarea epruvetelor sunt descrise în continuare.

Rezultatele obținute în laborator pe epruvetele preparate cu mixturile asfaltice obținute conform dozajelor anterioare sunt prezentate în tabelul 3.28.

Tabelul 3.28

Dozaje	Caracteristici pe epruvete cilindrice				Caracteristici pe cuburi	
	Stabilitatea kN	Indicele de curgere, mm	Densitatea aparentă, kg/m <sup>3</sup>	Absorbția de apă, %	Rc la 22 <sup>0</sup> C, N/mm <sup>2</sup>	Rc la 50 <sup>0</sup> C, N/mm <sup>2</sup>
Dozajul1	8,4	3,6	2403	2,7	4,7	1,1
Dozajul2	8,5	3,5	2412	3,0	4,6	0,9
Dozajul3	7,4	3,3	2388	3,6	3,8	0,9
Dozajul4	6,5	4,2	2326	4,9	3,1	0,7
Dozajul5	8,2	3,6	2397	2,8	4,2	1,2
Dozajul6	6,8	4,6	2186	8,8	2,9	0,5
Dozajul7	7,4	3,5	2405	3,3	3,7	1,0
Dozajul8	6,6	4,1	2317	5,4	3,4	0,7
Valori admisibile	min. 7,5	1,5...4,0	min. 2300	1...5	min. 3,5	min. 0,7

### 3.3.1.2.3 Sector experimental

Autorul a urmărit experimentarea soluției tehnice concretizată prin încercări de laborator. În acest sens în anul 2003, în colaborare cu Departamentul de Inginerie Geotehnică și Căi de Comunicație Terestre, Primăria Tg Jiu și SC ARTEGO S.A. a pus la punct detaliile producerii și punerii în operă a unor mixturi asfaltice realizate cu pudră de cauciuc pe strada Ciocârlău din municipiul Tg-Jiu, stradă de centură, pe care se desfășoară o circulație intensă a fost reabilitată.

Strada a fost consolidată cu îmbrăcăminte bituminoasă până la 4 cm, care se prezenta într-un stadiu avansat de degradare ( fisuri, gropi, faianțări, etc. ).

S-a considerat sistemul rutier existent, alcătuit din:

- 18...20 cm beton de ciment existent;



- 10 cm piatră spartă;
- 30 cm fundație din balast.

S-au aplicat de-a lungul acestei străzi în lungime de 1 280 m următoarele straturi rutiere:

- km 0+000...0+500: 5 cm B.A.D.25 și 4 cm B.A. 16;
- km 0+600...0+850: 2,5 cm mortar asfaltic cu rol antifisuri și 4 cm B.A. 16;
- km 0+850...0+950: 2,5 cm mortar asfaltic cu rol antifisuri și 4 cm B.A. 16 cu pudră mare;
- km 0+950...1+050: 2,5 cm mortar asfaltic cu rol antifisuri și 4 cm B.A. 16 cu pudră mijlocie;
- km 1+050...1+150: 2,5 cm mortar asfaltic cu rol antifisuri și 4 cm B.A. 16 cu pudră fină;
- km 1+150...1+280: 2,5 cm mortar asfaltic cu rol antifisuri și 4 cm B.A. 16 cu pudră mare.

Pudră a fost furnizată de către S.C. ARTEGO S.A. Tg-Jiu, societate interesată în experimentarea acestei pudre la realizarea îmbrăcăminților bituminoase.

Procesul tehnologic de preparare, transport și de punere în operă nu a fost diferit semnificativ de tehnologia clasică. Așternerea s-a realizat cu utilaj pe pneuri tip Vogeles, iar compactarea, cu un compactor cu rulouri netede.

Sectoarele realizate în perioada 16.06.2003...25.07.2003 au dus la reabilitarea străzii și permit desfășurarea circulației în condiții de siguranță și confort.

Granulozitatea agregatului natural pentru mortarul asfaltic s-a obținut din următorul amestec de agregate naturale, conform tabelului 3.29.

Încercările fizico-mecanice efectuate în laborator asupra acestui tip de mixturi asfaltice au condus la rezultatele din tabelul 3.30.

Tabelul 3.29

Material	Dozaj %	Treceri prin sita sau ciurul de...					
		8	3,15	0,63	0,2	0,09	T0,09
Criblură 3-8	8	0,2	7,0	0,8	-	-	-
Nisip concasaj 0-3	80	-	3,3	35,6	31,4	7,6	2,1
Filer	12	-	-	-	0,1	0,7	11,2
Total	100	0,2	10,3	36,4	31,5	8,3	13,3
Curba gran.	100	99,8	89,5	53,1	21,6	13,3	
Zona de granulozitate		90- 100	80-90	52-80	20-50	10-16	

Tabelul 3.30

Caracteristica	Valori obținute în lab.	Valori prescrise de normativele în vigoare
1. Cilindri Marshall		
Stabilitatea la 6 °C, în kN	6,2	min. 6
Densitatea aparentă, în kg/m <sup>3</sup>	2281	min. 2200
Absorbția de apă, în %	2,1	2...6
2. Cuburi		
Rezistența la compresiune la 22 °C, în N/mm <sup>2</sup>	2,6	min. 2,5
Rezistența la compresiune la 50 °C în N/mm <sup>2</sup>	0,8	min. 0,5
Densitatea aparentă	2237	min.2150
Absorbția de apă, în %	2,5	2...5

Dozajul la 100 părți mixtură asfaltică a fost următorul:

- Criblură 3-8 =7,4 %
- Nisip concasaj 0-3 =73,6 %
- Filer =11 %

-Bitum =8 %

Analizând comportarea acestui sector, se pot reține următoarele:

- comportarea mediocră a sectoarelor realizate;
- sectoarele prezintă după doi ani o amorsare izolată a fisurilor, dovadă a subdimensionării;
- zonele martor, (fig.3.25), cât și zonele cu mortar asfaltic antifisuri și cu B.A.16 cu pudră de cauciuc (fig. .3.26 și fig. 3.27 ) vizual se prezintă satisfăcător;
- se impune urmărirea în continuare a sectoarelor și luarea deciziilor ce se impun.



Fig. 3.25. Strada Ciocârlău – km 0+350



Fig. 3.26. Strada Ciocârlău – km 1+125



Fig. 3.27. Strada Ciocârlău – km 1+220

#### 3.3.1.2.4. Concluzii

Pe baza interpretării rezultatelor obținute autorul a formulat următoarele concluzii:

- pentru un dozaj de pudră de cauciuc de 10 kg/t, caracteristicile mixturilor asfaltice sunt în general mai bune decât ale mixturii asfaltice martor;

- stabilitatea mixturilor asfaltice preparate scade pe măsura creșterii dozajului de pudră de cauciuc, chiar dacă pentru un dozaj de 10 kg pudră/t de mixtură stabilitatea rămâne aproximativ constantă cu a probei martor. O diminuare semnificativă a stabilității Marshall s-a obținut în cazul folosirii pudreței de cauciuc grosiere, caz în care stabilitatea este chiar și pentru 10 kg/t mai redusă decât valoarea admisibilă. De asemenea, în cazul pudreței cu dimensiuni medii, se constată o reducere mai mare a stabilității decât în cazul pudreței fine, iar creșterea semnificativă a dozajului de pudră de la 10 kg/t la 50 kg/t nu conduce și la o reducere semnificativă a stabilității;

- o diminuare a stabilității în cazul mixturilor asfaltice cu bitum-cauciuc poate fi pusă pe o diminuare a modulului de rigiditate al bitumului (vezi pct.a);

- din analiza indicelui de curgere nu se pot formula concluzii foarte clare, chiar dacă pentru dozaje de pudră de peste 15 kg/t indicii de curgere depășește valorile admise;

- densitatea aparentă pe cilindri Marshall este aproximativ constantă pentru dozaje de pudră de cauciuc de 10...15 kg/t și apropiată de a mixturii martor, diminuându-se apoi semnificativ pentru dozaje de pudră de 20 kg/t și ajungând la valori total necorespunzătoare la un dozaj de pudră de cauciuc de 50 kg/t;

- absorbția de apă determinată pe cilindri Marshall este în concordanță cu valorile densității aparente, constatându-se aceeași depășire a valorilor admise pentru dozaje de pudră de cauciuc mai mari de 15 kg/t, iar pentru dozaje mari de pudră (50 kg/t), absorbția de apă este substanțial mai mare.

Conform normativului în vigoare privind îmbrăcămișile bituminoase, încercările de laborator asupra epruvetelor cubice nu sunt obligatorii. În urma determinării rezistenței rezistenței la compresiune pe epruvete cubice autorul a ajuns la concluzia că rezultatele obținute sunt în concordanță cu rezultatele obținute pe epruvete cilindrice tip

Marshall și confirmă faptul că prin introducerea de pudră de cauciuc în mixtura asfaltică caracteristicile fizico-mecanice ale acesteia se modifică. Se constată din nou valori mai reduse ale rezistenței la compresiune la 50 °C față de ale probei martor, valori care pot fi puse, de asemenea, pe o reducere a modulului de rigiditate al bitumului, ca urmare a adăosului de pudră de cauciuc.

Calculul și experimentarea în condiții de laborator a dozajelor de beton asfaltic B.A. 16 cu pudră de cauciuc au condus la concluzia că astfel de mixturi asfaltice pot fi preparate cu condiția utilizării unui dozaj de pudră de cauciuc de max, 15 kg/t. Se recomandă pentru început realizarea unor experimentări la scară naturală cu un dozaj de pudră de cauciuc de 10 kg/t, în special în cazul folosirii unei pudre cu granulozitate mijlocie sau grosieră.

Caracteristicile fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice cu pudră de cauciuc fină, sunt în general mai bune decât în cazul folosirii pudreței de dimensiuni medii sau grosiere, la aceleași dozaje de pudră introduse în mixtură. Acest fapt poate demonstra că reacțiile bitum-cauciucului la temperatura de omogenizare din laborator (170...180 °C) au fost mai intense decât în celelalte situații. O temperatură de omogenizare mai ridicată, timp mai îndelungat, poate fi favorabilă dezvoltării reacțiilor bitum-cauciuc, dar pentru un bitum D80/100 creșterea temperaturii de omogenizare poate conduce la „îmbătrânirea” lui, cu implicații inclusiv asupra caracteristicilor finale ale mixturilor asfaltice preparate. De asemenea, timpul necesar omogenizării și realizării epruvetelor în laborator este mai redus decât în cazul preparării și punerii în operă a mixturilor asfaltice în condiții de șantier, fapt care poate amplifica reacțiile bitum – cauciuc în condiții de șantier.

Se recomandă omogenizarea componentelor mixturii asfaltice la o temperatură mai ridicată decât în cazul mixturilor asfaltice clasice (180...195 °C temperatura agregatelor naturale, urmând ca temperatura de ieșire a mixturii din malaxor să fie de 170...185 °C)

Particularitățile folosirii pudreței de cauciuc în tehnica rutieră franceză în ultima perioadă de timp se bazează pe următoarele aspecte:

- pneurile uzate reprezintă o rezervă importantă de cauciuc vulcanizat, de aceea se depun eforturi pentru studierea reciclării lor. O soluție este cea a folosirii pudreței de cauciuc în mixturile asfaltice;

- procedeul de încorporare în bitum este simplu: pe baza celor cunoscute despre polimerii termoplastici de sinteză se vor absorbi o parte din maltenele din bitum în cauciucul redus la pudră. Aspectul important ține de faptul că pneurile sunt constituite din cauciuc vulcanizat, adică macromoleculele de polizopren, în cazul cauciucului natural, sau a elastomerilor de sinteză, au fost tratate cu sulf pentru a forma o rețea tridimensională ale cărei posibilități de umflare sunt relativ limitate.

Elaborarea de bitumuri – cauciuc performante implică deci un anumit număr de limitări, cum sunt:

- pudreța trebuie să provină printr-o răzuire a pneurilor la temperatură obișnuită pentru a genera o suprafață specifică ridicată (finețe mare) favorabilă transferurilor maltene- cauciuc și nu dintr-o măcinare la rece, prin care rezultă numai o mică suprafață specifică;

- raportul cauciuc natural/cauciuc de sinteză trebuie să fie controlat. Acesta implică amestecare - în Franța – a pudreței provenite din reșaparea pneurilor de camioane (cauciuc natural) și a celor de autoturisme (cauciuc de sinteză);

- aromatizarea bitumului de bază trebuie să fie suficientă. Ea este eventual mărită prin încorporarea de uleiuri „compatibile”;

- instalația de fabricare trebuie să fie capabilă să trateze amestecul bitum-pudră la o temperatură suficient de ridicată de ordinul a 200 °C pentru a provoca o devulcanizare termică care mărește posibilitățile de umflare, fără a conduce depolimerizarea macromoleculelor de elastomer. Se pot utiliza, de asemenea, catalizatori de reversie.

Aceste tendințe actuale din Franța conduc la încadrarea bitumului-cauciuc în grupa lianților modificați preparați în instalații speciale.

### **3.4. Tehnologii antifisuri de interpunere bazate pe utilizarea geotextilelor**

În anul 1970, pentru prima dată, s-a utilizat în SUA, ca procedeu antifisură, - geotextile neșesute din polipropilenă, impregnate cu bitum,- pe drumuri suple cu fisuri din oboseală și chiar și pe betonul de ciment. Avantajele utilizării unei asemenea tehnologii au fost demonstrate prin întârzierea retransmiterii fisurii la suprafața stratului de rulare, etanșarea sistemului, și deci închiderea fisurilor, în situația în care acestea tind să fie retransmise la suprafață.

#### **3.4.1. Experiența actuală privind utilizarea geotextilelor**

Aceste soluții de interpunere a unui geotextil sub un covor asfaltic, au fost experimentate în SUA și Japonia din anul 1970, în Belgia din anul 1973, iar în Franța din anul 1997.

Cercetările pentru găsirea acestei tehnologii s-au axat în Franța pe prevenirea apariției fisurilor din contracție, în timp ce SUA s-a concentrat mai ales pe întreținerea structurilor foarte fisurate din oboseală.

Tehnologiile rutiere antifisuri cele mai frecvent întâlnite atât pe plan mondial, cât și în țara noastră, sunt cele care se bazează pe utilizarea geotextilelor.

Pentru ca tehnologiile antifisuri pe bază de geotextile să fie eficiente, s-a constatat că trebuie îndeplinite următoarele condiții:

- legătura dintre geotextile și straturile între care se intercalează trebuie să fie perfectă;
  - liantul 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 îmbrăcămintei, sub efectul traficului;
  - geotextilele nu trebuie să fie foarte groase și mai ales foarte compresibile;
  - geotextilele trebuie să fie perfecte întinse pe suprafață, fără pliuri;
  - eficiența sistemului antifisuri îine în parte de liantul bituminos, care trebuie să rămână 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 din cauza evaporării parțiale a apei din emulsie.

Pe de altă parte, membrana bituminoasă armată cu geotextile pentru împiedicarea propagării fisurilor din straturile bituminoase realizate pe un suport fisurat sau fisurabil trebuie să îndeplinească următoarele roluri:

- să „absoarbă” mișcările din dreptul fisurii, datorate contracțiilor hidraulice sau termice, sau cele datorate traficului, fără a le transmite stratului superior;

- să fie suficient de elastică, dar să nu conducă la deformații importante (elastice sau plastice) ale stratului superior, deoarece atunci acesta fie obosește, fie conduce la apariția figașelor 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.

Experimentările efectuate în Franța au condus la constatări favorabile aplicării tehnologiei; aceasta s-a dezvoltat și diversificat continuu, de la cazul interpunerii între structura rutieră existentă și straturile bituminoase de ranforsare a unui geotextil impregnat cu bitum (de exemplu: 1,7 kg/m<sup>2</sup> bitum pentru impregnare și 6 cm grosimea covorului asfaltic) la soluții complexe.

Geotextilele sunt neșesute, împâslite sau termosudate cu polietilenă, cu masa de 120...250 g/m<sup>2</sup> și cu lățimea de 1,90...3,80 m. Impregnarea se realizează de regulă cu liant modificat sub formă de emulsie bituminoasă sau, cel mai des, la cald. Dozajul de liant rezidual este de 0,8...1,0 kg/m<sup>2</sup>.

### **3.4.2. Contribuții ale autorului la implementarea unor tehnologii antifisuri cu geotextile**

În țara noastră s-a acordat o mare atenție aplicării celei mai frecvent întâlnite tehnologii rutiere antifisuri.

Chiar dacă unele din condițiile sus-menționate nu au putut fi respectate pe șantier, se apreciază că realizarea unei astfel de tehnologii antifisuri pe același sector de drum cu alte tehnologii antifisuri, permite compararea eficienței acestora, prin urmărirea comportării în exploatare a sectoarelor experimentale.

#### **3.4.2.1. Geotextile sub covoare asfaltice**

În cadrul lucrărilor de ranforsare a sistemelor rutiere, s-a considerat interesant de a realiza un sector experimental cu geotextil românesc pe DN 67, km 120+300...120+400, Târgu Jiu – Horezu.

Unele din condițiile enumerate mai sus nu au fost respectate în cazul acestui sector experimental și acestea sunt următoarele:

- impregnarea geotextilului s-a efectuat cu bitum provenit dintr-o emulsie bituminoasă cu rupere rapidă;
- bitumul de impregnare nu a fost modificat.

Geotextilul utilizat pentru realizarea membranei antifisuri pe DN 67, km 120+300...120+400, a fost SECUNET 170, produs de SC MINET S.A. Râmnicu Vâlcea, având caracteristicile din tabelul 3.31.

S-a apreciat că aceste caracteristici permit SECUNET-ului să fie utilizat în cadrul unor membrane antifisuri.

Prezența acestui material în tehnologiile de reparare și reabilitare a drumurilor degradate, dă posibilitatea ca îmbrăcămințile bituminoase să fie exploatate într-un stadiu apropiat de cel elastic și nu în stadiul plastic, așa cum se întâmplă cu celelalte geosintetice folosite ca strat antifisură.

Tabelul 3.31

Caracteristica	Valori	
	Prevăzute	Realizate
Masa ( $\text{g/m}^2$ )	160...180	179
Lățimea (cm)	96...102	100
Culoarea	Alb	Alb
Rezistența longitudinală (daN)	18	21,56
Alungirea longitudinală (%)	100	120
Rezistența transversală (daN)	20	32
Alungirea transversală (%)	100	115

Se știe că un material care lucrează în stadiul elastic, are elongații mici (deformații specifice) la eforturi unitare mari.

Îmbrăcămințile bituminoase, la deformații mai mari de 2...2,5 %, în interiorul structurii, dezvoltă fenomenul de fisurare, care, se propagă în diferite direcții, de la bază la suprafața îmbrăcămintei.

De asemenea, este foarte importantă aderența exprimată prin capacitatea membranei antifisură de a se lipi cât mai intim de cele două straturi (vechiul strat și noul strat bituminos). Impregnarea cu emulsie bituminoasă a geotextilului joacă un rol extrem de important, ținând seama de capacitatea deosebită de absorbție a bitumului. Aderența dintre cele două straturi bituminoase este un factor de prim ordin pentru a preveni cedările din forfecare datorate eforturilor provenite din acțiuni dinamice (frânări, manevre, etc.) cât și de a asigura capacitatea portantă, stabilitatea sub trafic și durabilitatea sistemului rutier.

Acest geotextil armează straturile bituminoase, împiedicând formarea de noi fisuri și întârzie fenomenul de transmitere a fisurilor; el făcând parte din sistemul rutier, absoarbe tensiunile din structură, întârziind reflectarea fisurilor din stratul fisurat către stratul nou, mărinnd substanțial durata de viață a îmbrăcămintei bituminoase (știind că sistemele rutiere cu geotextil se comportă mai bine la solicitări de oboseală din încovoiere) și permite reducerea grosimii straturilor bituminoase la același efect de

împiedicare a transmiterii fisurilor, constituind totodată un strat impermeabil al sistemului rutier.

Realizarea pe șantier a membranei antifisuri a cuprins următoarele activități:

- curățirea rosturilor, fisurilor și crăpăturilor îmbrăcăminte din beton de ciment și colmatarea acestora cu mortar bituminos;

- curățirea temeinică a suprafeței îmbrăcăminte existente, urmată de amorsarea cu  $0,6...0,9 \text{ km/m}^2$  emulsie bituminoasă cationică cu rupere rapidă (E.B.C.R.60 );

- după ruperea emulsiei bituminoase s-a trecut la întinderea geotextilului, cu atenție, fără pliuri, pe întreaga suprafață. Întinderea geotextilului s-a realizat în etape succesive, de la margine spre ax, pe o jumătate din partea carosabilă, iar după executarea îmbrăcăminte bituminoase s-a trecut la executarea celeilalte jumătăți, cu suprapunerea geotextilului la îmbinarea longitudinală pe cca. 20 cm;

- după întinderea geotextilului, s-a procedat la împregnarea cu bitum provenit dintr-o emulsie bituminoasă. S-a stropit o cantitate de emulsie bituminoasă de  $1,4...1,7 \text{ kg/m}^2$ ;

- pentru evaporarea completă a apei din geotextil, s-a așteptat 2...3 ore până la începerea așternerii stratului de legătură. Pentru evitarea desprinderii geotextilului de către roțile răspânditorului – finisor, s-a procedat la așternerea manuală de nisip 0 – 7 înaintea roților pe o lățime de 30...40 cm;

- execuția stratului de legătură B.A.D.25 de 7 cm grosime și a stratului de uzură B.A.16 de 5 cm grosime, s-a efectuat după tehnologia clasică.

Dozajele și caracteristicile fizico-mecanice ale acestor mixturi asfaltice vor fi prezentate în continuare.

Se speră că membrana bituminoasă realizată pe bază de geotextil SECUNET menține etanșarea și obiectivul de împiedicare a propagării fisurilor prin îmbrăcăminte bituminoasă a fost atins.

Pentru cele două sectoare (experimental și martor) s-a aplicat următoarea soluție:

- atât pe sectorul experimental DN 67 km 120+300...120+400, (pe lângă realizarea membranei cu rol antifisuri din geotextul SECUNET 170), cât și pe

sectorul martor, DN 67 km 121+100...122+043, s-a realizat un strat de legătură de 7 cm grosime din B.A.D.25 și un strat de uzură din B.A.16, de 5 cm grosime.

Proiectarea dozajelor pentru mixturile asfaltice B.A.D.25 și B.A.16, s-a efectuat de către Laboratorul Direcției Regionale de Drumuri și Poduri Craiova, în conformitate cu recomandările în vigoare, - dar fără a fi adaptate în nici un fel, pentru a preîntâmpina propagarea fisurilor,- din următoarele materiale:

- criblură 16 – 25 (cariera Meri);
- criblură 8 – 16 (cariera Meri);
- nisip natural 0 - 7 (din balast concasat);
- nisip de concasaj (cariera Meri);
- filer de Basarabi;
- bitum D80/120 de Suplacu de Barcău.

Dozajele proiectate pentru cele două tipuri de mixturi asfaltice sunt prezentate în tabelul 3.32.

Tabelul 3.32

Materialul	Dozaj în %, pentru	
	B.A.D.25	B.A.16
Criblură 16-25	33,5	-
Criblură 8-16	23,0	41,4
Nisip natural 0 – 7	19,2	34,8
Nisip de concasaj	17,2	9,5
Filer	2,8	8,3
Bitum	4,3	6,0
Total	100	100

Granulozitatea agregatului natural este cea prezentată în tabelul 3.33 corespunzător limitelor prevăzute de STAS 174/1, înscriindu-se în zona de granulozitate prescrisă.

Tabelul 3.33

Tip mixtură asfaltică	Treceri, în %, prin sita sau ciurul de.....mm						
	0,09	0,2	0,63	3,15	8	16	25
B.A.D.25	4,5	6,4	20,4	31,7	43,6	68,5	99,6
B.A.16	10,0	12,6	27,9	40,9	58,8	99,9	100

Încercările fizico-mecanice efectuate pe mixturile asfaltice preparate în laborator, au condus la obținerea rezultatelor din tabelul 3.34.

Tabelul 3.34

Caracteristica	Valori pentru	
	B.A.D.25	B.A.16
Densitatea aparentă pe cilindri Marshall (kg/mc)	2315	2355
Absorbția de apă pe cilindri Marshall (%)	4,7	4,5
Stabilitatea Marshall (kN)	5,2	7,1
Indicele de curgere (mm)	3,8	3,6
Rezistența la compresiune la 22°C (N/mm <sup>2</sup> )	-	3,5
Rezistența la compresiune la 50°C (N/mm <sup>2</sup> )	-	0,8

Rezultatele prezentate atestă faptul că mixturile asfaltice puse în operă au avut o calitate corespunzătoare.,

Prepararea mixturilor asfaltice s-a făcut în cadrul lotului Drăgoeni, iar transportul s-a efectuat cu autobasculante cu bene metalice neacoperite.

Punerea în operă s-a făcut cu răspânditorul-finisor NPK, iar compactarea a fost realizată cu un compactor cu rulouri netede.

Regimul termic al mixturilor asfaltice a fost următorul:

- la ieșirea din malaxor =148...155 °C;
- la punerea în operă =125...136 °C;
- la începerea compactării =120...135 °C;
- la sfârșitul compactării = 100...110°C

Valorile caracteristicilor fizico-mecanice corespund limitelor admisibile prevăzute de normativele în vigoare.

Încercările fizico-mecanice efectuate în cadrul verificării calității mixturii asfaltice puse în operă pe șantier, au permis obținerea unor rezultate care se încadrează în limitele prezentate în tabelul 3.35.

Înainte de așternerea fiecărui strat din mixtura asfaltică, suprafața a fost curățată și amorsată cu  $0,6...0,8 \text{ kg/m}^2$  emulsie bituminoasă cu rupere rapidă (E.B.C.R. 60).

Tehnologia prezentată, s-a impus pe plan mondial, fiind tratată cu interes și în țara noastră, cercetările din acest domeniu trebuie continuate și extinse pentru noi experimentări și pentru a se reține și folosi concluziile obținute.

Tabelul 3.35

Caracteristica	Valori pentru	
	B.A.D.25	B.A.16
Granulozitatea agregatului natural total treceri , în % pe sita și ciurul de 0,09mm	4,4...5,2	9,4...9,9
0,2	6,0...6,8	12,0...12,4
0,63	17,5...18,2	23,8...26,2
3,15	26,3...30,9	44,2...46,6
8	45,2...47,3	61,7...63,6
16	66,1...68,0	99,6...99,9
25	99,7...1000	100
Densitatea aparentă pe cilindri Marshall (kg/mc)	2290...2310	2345...2360
Absorbția de apă pe cilindri Marshall (%)	5,0...5,3	6,8...7,3
Indicele de curgere (mm)	3,6...4,2	4.0...4,3

În anul 2004 și acest sector a suferit un proces de reabilitare și am constatat următoarele:

- netransmiterea nici unei fisuri la nivelul stratului de uzură pe sectorul experimental (fig. 3.28, fig. 3.29,);

- sectorul martor prezenta multe fisuri ( fig.3.30 și fig.3.31 );



Fig.3.28. Sector experimental antifisuri – DN 67 km 120 + 300





Fig. 3.29. Sector experimental antifisuri – DN 67 km 120 + 320

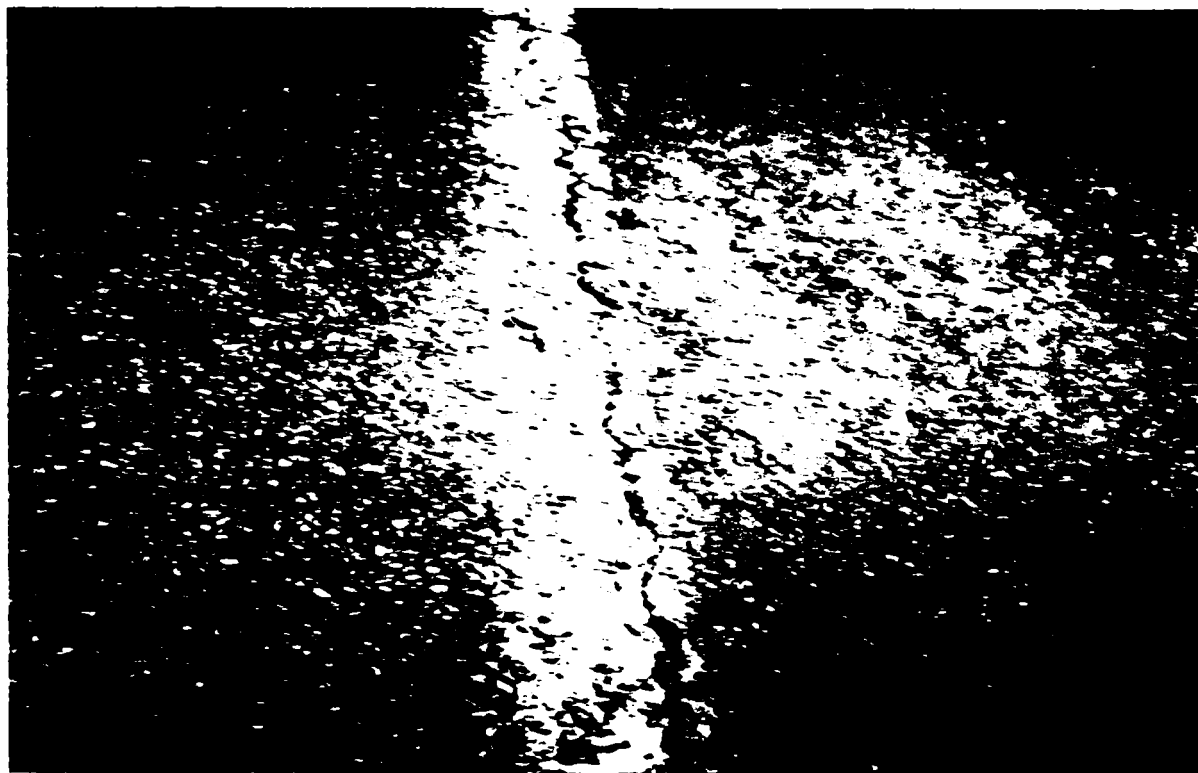


Fig. 3.30. Sector experimental martor – DN 67 km 121 + 600



Fig. 3.31. Sector experimental martor – DN 67 km 121 +700

- investigarea vizuală a sectorului experimentat a evidențiat buna comportare a acestuia;
- parametrul de rugozitate, măsurat pe sectorul experimental, corespunde calificativului „foarte bun” (1, 14);
- parametrul de degradare corespunde unui calificativ „foarte bun” (fără defecțiuni).

Menționând că suprafața pe care s-a aplicat această tehnologie era puternic fisurată, putem concluziona că soluția este eficientă și aplicarea ei prezintă importanță.

#### **3.4.2.2. Geogriile sub covoare asfaltice**

Armarea cu geogriile a straturilor bituminoase permite îmbunătățirea rezistențelor la întindere, încovoiere, la oboseală și o mai bună repartizare a eforturilor unitare provenite din variații de temperatură și trafic în stratul respectiv, lucru care duce la mărirea duratei de exploatare a structurii rutiere.

La aplicarea acestei tehnologii trebuie respectate următoarele reguli:

- întinderea geogrilelor este absolut necesară pentru a nu se plia în timpul punerii în operă a mixturii asfaltice la cald;

- capătul exterior al rolei de geogrile trebuie fixat de stratul suport cu ajutorul unor cleme de fixare cu bormașina și cu dibluri, sau cu pistolul pneumatic și cu cuie;

- legarea geogrilelor provenite din două role se va efectua cu sisteme speciale diferind de la un tip de geogrilă la altul;

- după întindere, cel de-al doilea capăt al sectorului se fixează de suport ca și primul capăt;

- pentru a nu se deplasa geogrila în timpul operației de așternere a mixturii asfaltice, este necesară fixarea acesteia (prin tratament bituminos sau prin mixtura asfaltică de grosime maximă 1,5...2,0 cm.

Așternerea straturilor bituminoase se realizează prin tehnologia clasică, la o temperatură maximă de 145 °C.

Această tehnologie s-a experimentat în Franța în anul 1975 și rezultatele au fost complet necorespunzătoare (după patru ani de exploatare au apărut toate fisurile).

Tehnologia prezentată a fost experimentată în anul 1993, pe DN 68 A, Lugoj Ilia, km 72+210...75+500, folosind geogrila TENS-AR între straturile bituminoase (5,0 cm strat de legătură din B.A.D.25 și 4,0 cm strat de uzură din B.A.16) peste îmbrăcămintea din beton de ciment.

După patru ani, s-a constatat că nu există diferențe semnificative de comportament între sectorul experimental și sectorul martor.

Tehnologia Flexiplast a fost concepută și experimentată în Franța în anul 1990 și constă în interpunerea unei membrane bituminoase din bitum modificat cu elastomeri între suprafața fisurată și un covor asfaltic executat la rece.

Încercările de laborator atestă superioritatea acestei tehnologii, față de soluțiile clasice. Se știe că o membrană antifisuri, pentru a fi eficientă, trebuie să îndeplinească condițiile următoare:

-membrana realizată din bitum-elastomeri să aibă o bună elasticitate la temperaturi scăzute și accesibilă din punct de vedere al prețului;

-punerea ei în operă într-o grosime suficientă (1...3 mm);

-evitarea reducerii grosimii prin așternerea stratului bituminos superior.

Flexiplastul îndeplinește aceste condiții pentru ca:

- liantul folosit 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, funcție de: natura suportului, starea de fisurare, condițiile climaterice și rugozitatea suportului;

- realizarea stratului bituminos superior se face cu scopul clar definit de a menține grosimea membranei, astfel:

- membrana nu va fi acoperită cu agregate naturale, deoarece circulația se va realiza direct pe aceasta, întrucât pneurile vehiculelor se vor uda pentru evitarea lipirii ( ceea ce nu afectează calitatea stratului din mixtura asfaltică, executat la rece).

Realizarea stratului superior nu duce la migrarea bitumului din membrană, deoarece este executat dintr-o mixtură asfaltică la rece, care se opune acestei infiltrări și care va constitui ulterior un ecran termic între membrană și stratul de uzură, care se execută la cald, împotrivindu-se migrării bitumului.

Covorul asfaltic la rece, realizat dintr-un mortar asfaltic ( numit Gripfibre) cu granulozitatea agregatului natural 0...4 mm sau 0...6 mm, se așterne în grosimi medii de 6...8 mm.

Armarea sa este făcută cu fibre sintetice de 4...8 mm lungime, omogenizate perfect în masa mixturii asfaltice, în proporție de 0,1...0,2 %. Liantul folosit 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 este acoperit la cald cu un strat bituminos din beton asfaltic cu o grosime de 3...6 cm (funcție de grosimea straturilor bituminoase pentru întreținere).

## CAPITOLUL 4

### MIXTURI ASFALTICE ANTIFĂGAȘ

#### 4.1. Generalități

Structurile rutiere realizate din mixturi asfaltice în exploatare sunt supuse unor condiții extrem de nefavorabile – solicitările din traficul intens și greu, și regimul climatic cu variații mari de temperatură.

Sarcinile rezultate din traficul greu, ce solicită acest tip de structuri, produc, după o perioadă de timp, deformații plastice.

Condițiile climaterice favorabile formării făgașelor- temperatura ridicată – în stratul de uzură poate să ajungă la 45 ...50 °C, uneori chiar 60 °C (temperatura îmbrăcămintei este cu 10...12 °C mai mare decât temperatura aerului).

Un alt factor important în apariția făgașelor, asupra căruia se poate interveni este determinat de alcătuirea și realizarea complexelor rutiere.

Făgașele s-ar putea defini ca “defecțiuni ale complexelor rutiere care apar în evidență la nivelul stratului de rulare, indiferent de cauzele care le generează, sub forma unor albie longitudinale de adâncimi și lățimi variabile” [77].

Existența făgașelor prezintă pericole precum:

- disconfortul (denivelări periculoase, incomode susceptibile de a crea panică);
- acvaplanarea (pe timp de ploaie, agravată de acumularea apei în aceste albie longitudinale, constituind un mare factor de risc, chiar la viteze mai mici de 70 km/h- arhicunoscute ca limită inferioară la declanșarea fenomenului de acvaplanare);
- greutate în schimbarea direcției de mers (tendința roților de a urma aceste canale longitudinale și dificultăți în controlul direcției de mers, respectiv modificarea traseului urmat de roți);
- derapajul (înghețarea apei din făgașe);
- fisuri și crăpături (prin care se poate infiltra apa, fenomen urmat de alte degradări grave).

#### 4.2. Cauzele apariției făgașelor

Cauzele care provoacă apariția făgașelor, definite urmare a studiilor efectuate sunt clasificate după mai multe criterii.

Cauze legate de condițiile climaterice:

- temperaturile mediului ambiant, ridicate și îndelungate;
- sectoare expuse la soare (fără umbră);

Asupra acestor factori nu se poate acționa în vederea evitării condițiilor climaterice, favorabile generării făgașelor. S-a constatat că temperatura straturilor bituminoase scade o dată cu adâncimea (de exemplu temperatura la suprafața îmbrăcămintei era de 54°C, la adâncimea de 10 cm s-a măsurat 27°C, la 17 cm adâncime 21°C, iar la 52 cm adâncime 18 °C [77]).

Cauze datorate solicitărilor traficului, din care se evidențiază:

- numărul de autovehicule grele;
- sarcini mari pe osie;
- presiuni ridicate în pneuri;
- circulație canalizată;
- circulație cu viteză mică și opriri prelungite;
- efectul circulației pneurilor cu crampoane;
- pierderi de carburanți și lubrefianți pe carosabil (liantul din mixtura asfaltică

a îmbrăcămintei bituminoase își pierde consistența).

Autovehiculele grele joacă un rol important în apariția făgașelor. În literatura de specialitate, se precizează că o creștere a suprasarcinii de la 40 t la 46 t, multiplică riscul creșterii făgașelor de 5 ori ( la fel reducerea vitezei de la 90 km/h la 30 km/h – ceea ce indică apariția făgașelor accentuate în zona opririlor- semafoare, stații de oprire, etc.) [16].

Pornind de la efectul autovehiculelor prin intensitate și greutate pe osie, ținând seama că în ultimii zeci de ani sarcinile pe osie și presiunile de contact (pneu-suprafață) au crescut, se impune necesitatea intervenției administrației rutiere pentru influențarea evoluției traficului.

Nu se poate interveni foarte mult în a schimba cauzele apariției făgașelor datorate solicitărilor traficului rutier, cu excepția măsurilor de limitare a circulației vehiculelor grele prin reducerea greutății pe osie și de asemenea, interzicerea circulației vehiculelor grele în zilele de vară extrem de călduroase (măsuri legiferate în țara noastră).

Cauze legate de complexul rutier, din cele mai semnificative se pot enumera:

- modul de dimensionare a complexului rutier;

- efectul îngheț-dezghetului;
- compactarea necorespunzătoare a straturilor structurii rutiere;
- straturi bituminoase realizate din mixturi asfaltice cu deficiențe precum:
  - utilizarea biturilor cu penetrație prea mare;
  - conținut de bitum prea ridicat;
  - proporția de părți fine prea mare;
  - criblură peste 3 mm în procent redus;
  - agregate minerale rotunde, lipsite de colțurozitate și microporozitate;
  - tipul nisipului.

Dimensionarea complexelor rutiere, este foarte importantă pentru a se putea prelua traficul intens și greu care solicită drumurile în această perioadă. Subdimensionarea duce la apariția defecțiunilor diverse - dintre care făgașele pot fi periculoase. Făgașele apar nu numai din cauza straturilor bituminoase subdimensionate cât și din vina straturilor de fundație.

Acțiunea îngheț – dezghet, generată de prezența simultană a factorilor: pământ geliv, apă, temperaturi joase și trafic greu, produce în mod grav și făgașe, constituind de altfel, una din principalele cauze ale apariției acestora în perioada de dezghet. În această perioadă făgașele apar distrugător, având adâncime mare, refulări, iar pământul din patul drumului este expulzat până la suprafață.

Compactarea necorespunzătoare a straturilor rutiere duce la apariția tasărilor în exploatare, care se pot manifesta prin făgașe.

Realizarea necorespunzătoare a straturilor bituminoase (strat de legătură și uzură) poate duce la apariția făgașelor, nefăcând față solicitărilor agresive din trafic și condițiile climaterice.

Trebuie evitată folosirea biturilor cu penetrație mare; ținând seama de evoluția traficului greu în ultimii 10...20 de ani, deja s-a trecut la utilizarea bitumului D60/80 în zonele climaterice calde și cred că este necesară utilizarea unor bitumuri mai dure (penetrație D40/50), cu adaosuri de polimeri sau elastomeri care să le micșoreze susceptibilitatea termică.

În acest sens este revelatoare evoluția utilizării biturilor în Franța:

- bitum cu penetrația 70/100, folosit până în anul 1975;
- bitumul cu penetrația 50/70, folosit între anii 1975-1990;





### 4.3. Soluții privind prevenirea și remedierea făgașelor

Din cele prezentate anterior, reiese că, din multitudinea de factori care influențează formarea făgașelor, caracteristici pentru mixturile asfaltice se remarcă:

- folosirea unor bitumuri de consistență redusă;
- conceperea unor mixturi asfaltice cu un conținut redus de bitum;
- utilizarea exclusiv a agregatelor concasate;
- realizarea unui schelet mineral puternic cu 65...70 % granule peste 3 mm și cu un conținut redus de părți fine.

Agregatele naturale folosite la fabricarea mixturilor asfaltice pentru realizarea straturilor bituminoase pe drumuri solicitate intens de traficul greu, trebuie să provină din roci dure, pentru a se evita fenomenul de abraziune, să fie poliedrice, colțuroase, ceea ce le conferă un unghi de frecare ridicat.

Este necesar să se realizeze un schelet mineral puternic, cu o parte fină redusă, utilizarea unui nisip de concasaj (nu se admite folosirea unui nisip de râu). Deci, agregatele folosite să fie în totalitate concasate. De asemenea este demn de reținut faptul că utilizarea agregatelor din zguri metalurgice, (LIDONIT)), cu sorturi granulare cuprinse în ecartul 4...25, pentru prepararea mixturilor asfaltice a dus la îmbunătățirea caracteristicilor acestor mixturi asfaltice în mod substanțial în ceea ce privește comportarea antifăgaș.

Filerul din roci calcaroase să fie într-un raport filer / bitum peste 1,0.

Pornind de la traficul greu la care sunt solicitate structurile rutiere, se impune folosirea unui nou tip de filer care să înlocuiască filerul de calcar, obținut prin măcinarea zgurei granulate siderurgice, la finețea unui filer clasic. Acest filer de zgură are toate caracteristicile cunoscute pentru filer de calcar sau cretă și în plus are în compoziția mixturii un rol mai complex, nu numai de natură fizică ci și fizico-chimică, dezvoltând în mixtura asfaltică din stratul bituminos o activitate intensă, condiționată de compoziția sa mineralogică și Ph-ul ușor alcalin de 8...8,5, care favorizează apariția unei atracții de natură electrostatică suplimentară, la interfața liant bituminos-agregat natural.

De aceea filerul de zgură determină caracteristici tehnice noi, superioare în mixturi, adezivitatea liantului bituminos la agregatele rutiere fiind îmbunătățită, iar aderența între componentele mixturii fiind mai puternică; de asemenea se obțin mixturi

asfaltice cu caracteristici fizico-mecanice superioare. Acest tip nou de filer are următoarele avantaje tehnice:

-obținerea de mixturi asfaltice cu o durată de serviciu mai mare;

-mixturile asfaltice preparate cu filer de zgură capătă caracteristici fizico-mecanice îmbunătățite:

- creșterea cu aproximativ 5 % a rezistenței la compresiune la 22 °C;
- creșterea cu aproximativ 65 % a rezistenței la compresiune la 50 °C;
- creșterea cu aproximativ 20 % a stabilității Marshall la 60 °C.

Deci acest material mărește rezistența la oboseală a mixturilor asfaltice și se comportă mai bine la temperaturi scăzute și ridicate. Deci, acest filer diminuează formarea făgașelor .

#### **4.3.1. Mixturi asfaltice antifăgaș**

Proiectarea și realizarea straturilor bituminoase este necesar să fie bazată pe cunoștințele și experiența existentă privitor la comportarea antifăgaș a unor mixturi asfaltice, acest lucru fiind determinat de modul de alcătuire cât și de tehnologiile de execuție a straturilor structurii rutiere.

Acest lucru solicită luarea măsurilor cele mai potrivite pentru a adapta lianții, agregatele și tehnologiile de realizare a straturilor bituminoase în funcție de nevoia obținerii unor performanțe ridicate care să facă față solicitărilor vis-à-vis de fenomenul de formare a făgașelor.

Este necesar să se intervină asupra clasei bitumului- conform normativelor în vigoare, în zonele climaterice calde se folosește bitum D60/80, dar acest lucru nu are efectele scontate.

Prezintă un maxim interes și sunt de actualitate observațiile lui Pierre Bense în legătură cu lianții pentru mixturile asfaltice antifăgaș:

- folosirea unui bitum pur de penetrație 35/50, apoi modificat cu S.B.S. permite reducerea riscului de formare a făgașelor cu 30...40 %;

- în ultimii 5 ani în Franța, pe drumurile cu trafic intens, bitumul utilizat frecvent de penetrație 50/70 a fost înlocuit pentru fabricarea mixturilor asfaltice cu bitum 35/50. Se studiază introducerea bitumului de penetrație 20/30;

- în ultimii 3 ani, se studiază posibilitatea introducerii unor bitumuri pentru mixturile asfaltice antifăgaș de penetrație 35/50 sau 50/70 cu o mică susceptibilitate la temperaturi (indice de penetrație +0,5);

- rezultatele bune s-au obținut prin adaos în mixturi asfaltice, în timpul malaxării, de fibre (de sticlă sau celuloză). Studiile au arătat că riscul formării făgașelor în îmbrăcămințile bituminoase realizate din mixturi asfaltice ce conțin 0,3 % fibre (3 kg de fibre la tona de mixtură asfaltică ) s-a diminuat cu 30 %. Măsurarea adâncimii făgașului după 30000 de cicluri la 60 %, pe o mixtură asfaltică antifăgaș ce conținea 30 kg/t fibre de sticlă, speciale pentru acest scop, a arătat o reducere a adâncimii acestuia cu 3 %;

- introducerea direct în malaxor a 5...6 kg, la tona de mixtură asfaltică, de polimeri din clasa poliolefinelor în filament sau în granule conduce la obținerea unei mixturi asfaltice cu o foarte bună susceptibilitate termică. Studiile au arătat că îmbrăcămintea bituminoasă realizată cu o astfel de mixtură asfaltică reduce riscul de apariție a făgașelor cu 50 %;

- o soluție interesantă și eficientă se preconizează a fi utilizată în scopul împiedicării apariției făgașelor în zonele foarte expuse la riscul formării acestora (stații de oprire a autobuzelor, în zona opririlor, pentru plata taxelor pe autostrăzi, în preajma opririlor la semafoare, etc.) s-a introdus din 1990 în Franța. Mixtura asfaltică antifăgaș este turnată în zone sensibile, ca cele menționate mai sus, într-un sistem de celule în faguri de miere cu latura de 18 cm și înălțimea de 3 cm. "Fagurii de miere" sunt realizați din oțel sau material plastic. Mixtura asfaltică ce se toarnă în acești faguri este realizată cu un bitum cu fibre. Îmbrăcămintea bituminoasă astfel executată nu poate fi refulată, iar apariția făgașelor este puțin probabilă;

- literatura de specialitate (din Franța) menționează că pe 90 % din autostrăzile noi, în ultimii 10 ani, s-a introdus îmbrăcămintea bituminoasă, o tehnologie care constă în executarea unui strat din mixtură asfaltică de 6...8 cm grosime realizată cu un bitum foarte dur, ce se acoperă cu un alt strat de mixtură asfaltică specială de 2 cm grosime, care, datorită grosimii reduse nu favorizează apariția făgașelor.

O altă posibilitate de prevenire și remediere a apariției făgașelor este, de exemplu, metoda asfaltului compozit

Tehnicile asfaltului compozit aplicate în tratamentul antifăgaș al benzilor de trafic greu, lent și canalizat (căi și stații de autobuz, rampe, parcări camioane și căi de acces

centură), ale ariilor de staționare sau taxare, intersecțiilor semaforizate sau cu oprire obligatorie și îmbrăcămințile lucrărilor de artă, fac obiectul multor studii și aplicații practice, mai ales că METAFLEX sau COMPOFLEX tratează și zonele de fisurare hidraulică, datorită unui efect antifisură a fibrelor.

Utilizarea pe scară largă a fibrelor (de celuloză sau de sticlă), mai recent a polietilenei, este specifică procedeelor SCREG-COLAS, care utilizează de altfel și aplicații specifice ale sistemului de armare.

Armăturile tridimensionale în fagure de miere METAFLEX, (realizate dintr-un oțel cu modul de elasticitate de  $2,4 \times 10^6$  Mpa) au dimensiunile de 3,67 x 1,20 m. După frezarea prealabilă a zonei cu făgașe, se așează armăturile pe fundul zonei frezate și se leagă grilele prin platbande fixate în nituri introduse pe loc. Fixarea facilitează circulația pe armături și trecerea repartizatorului de asfalt. Se amorsează cu emulsie bituminoasă, se așterne betonul asfaltic (de preferință un COMPOFLEX, pentru strat de uzură, sau MEDIFLEX).

#### **4.4. Conceperea unor mixturi asfaltice antifăgaș autohtone**

Se impune acordarea unei atenții deosebite compactării straturilor, pentru că o compactare necorespunzătoare generează tasări ulterioare datorate acțiunii dinamice a traficului, ceea ce conduce la apariția făgașelor, iar supracompactarea duce la oboseală prematură și evident la apariția făgașelor. Cumulând cele două observații prezentate anterior, reiese că mixtura asfaltică are o maximă stabilitate, în ceea ce privește formarea făgașelor, la un conținut de goluri în jurul valorii de 6 %.

Pe drumurile cu trafic intens pot să apară făgașe cu un impact negativ asupra desfășurării circulației rutiere sub influența și a altor factori: temperaturi ridicate ale mediului ambiant pe timp îndelungat, eventuale inadvertențe și neconformități în execuție și proiectare.

Prevenirea evoluției făgașelor se face prin implementarea unor măsuri care să elimine cauzele generării apariției acestora.

Factorii asupra cărora se poate interveni sunt cei legați de proiectare, materiale, dozaje, tehnologii de execuție, care studiați temeinic pot conduce la soluții care să diminueze sensibil pericolul apariției făgașelor.

Încă de la apariția lor, făgașele trebuie eliminate prin aplicarea unor tehnologii adecvate, la proiectarea cărora să se ia în calcul cauzele generatoare.

În cazul complexelor rutiere subdimensionate, soluția care se remarcă este ranforsarea (reabilitarea) acestora, ținând seama de eventualii factori agravanți rezultați din acțiunea îngheț-dezghet.

În cazul în care se constată că făgașele sunt cauzate de o îmbrăcăminte bituminoasă realizată dintr-o mixtură asfaltică ce, din diverse motive (conținut de bitum ridicat, bitum moale, compactare insuficientă, schelet mineral slab etc.) sub solicitările traficului, prezintă deformații plastice evidente, se impune frezarea straturilor bituminoase, re folosirea materialului rezultat și realizarea unor noi straturi bituminoase din mixtură asfaltică antifăgaș.

Așa cum s-a mai spus, studiile și cercetările au scos în evidență faptul că un rol esențial în producerea făgașelor îl au mixturile asfaltice prin constituenții lor și prin calitatea preparării și punerii în operă a acestora.

Un bun comportament la prevenirea apariției făgașelor îl au mixturile asfaltice cu var.

Se știe că varul este un agent de adezivitate și s-au pus în evidență două efecte contradictorii ale varului și anume:

- provoacă o durificare creată prin "efectul filer";
- reduce fenomenul de oxidare în timpul îmbătrânirii.

Acestea sunt benefice pentru mixtura asfaltică, deoarece crește:

- durabilitatea lor;
- rezistența la ornieraj;
- se reduce fisurarea la temperaturi scăzute

Caracteristicile fizico-mecanice ale agregatelor naturale sunt cele prezentate în tabelul 4.1.

Bitumul folosit a fost un bitum D 60/80, de la Arpechim Pitești, având caracteristicile din tabelul 4.2.

Prepararea mixturilor asfaltice antifăgaș s-a realizat într-o stație de tip MARINI, dozarea agregatelor, filerului, varului și bitumului făcându-se automat. Temperaturile la stația de preparare a mixturilor asfaltice au fost cele prezentate în tabelul 4.3.

Tabelul 4.1

Caracteristica	Filer	Nisip concasaj	Criblură sort 3-8	Criblură sort 8-16	Pietriș concasat sort 15-25	Pietriș concasat sort 7-15
Granulozitate	78,8	3,2	0,1	-	-	0,1
Rezistența la uzură Los Angeles, %	-	-	-	16,7	36,0	26,7
Coefficient de formă, %	-	-	-	8,1	7,3	7,0
Treceri prin ciurul inferior, %	-	-	14,7	15,1	6,9	25,1
Rest pe ciurul superior, %	-	-	3,7	1,0	2,1	0

Tabelul 4.2

Materialul	Caracteristici			
	Penetrație [1/10mm]	Punct de inmuiere Inel și Bilă [°C]	Ductilitate [mm]	Punct de rupere Fraas [°C]
Bitum	69	50,8	>150	-15

Tabelul 4.3

Agregate [°C]	Bitum [°C]	Mixtura asfaltică la ieșirea din malaxor [°C]
168...176	149...158	150...162

Transportul s-a realizat cu autobasculanta de 16 tone la o distanță de circa 70 kilometri.

Punerea în operă s-a realizat cu repartizatorul – finisor, iar compactarea, cu un compactor cu pneuri, la o temperatură de 130...100 °C.

După așternerea și compactarea mixturii asfaltice antifăgaș, s-au măsurat denivelările cu dreptarul de 3 m, acestea având valori cuprinse între 3...7 mm.

În tabelul 4.4 se prezintă compoziția și cracteristicile fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice propuse pentru experimentare ( obținute în laborator) și a celor realizate în timpul experimentării (prelevate de la stația de preparat mixturi asfaltice).

-rezultatele din tabelele 4.3 și 4.4 pun în evidență faptul că pentru același procent de bitum, același raport filer / bitum, caracteristicile fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice realizate cu var sunt net superioare față de cele realizate fără var, remarcând;

- importanța durității materialelor;
- importanța consistenței liantului; rolul dozajului de var;

Tabelul 4.4

Caracteristica	UM	Tipurile de mixturi asfaltice antifăgaș experimentarile					
		B.A.A.P.C.D.25		B.A.A.P.C.16		B.A.A.P.C.V.16	
		Propus	Realizat	Propus	Realizat	Propus	Realizat
Bitum	%	4,7	4,1	5,8	5,6	5,8	5,7
Var	%	-	-	-	-	-	-
Rezistența la compresiune la 22 °C	N/mm <sup>2</sup>	-	-	4,4	4,7	5,8	4,7
Rezistența la compresiune la 50 °C	N/mm <sup>2</sup>	-	-	1,5	1,3	1,7	1,7
Stabilitatea Marshall la 60 °C	kN	8,0	7,7	8,5	8,5	8,5	10,0
Indicele de fluaj	Mm	2,5	3,1	2,7	3,2	3,0	3,6
Stabilitate / fluaj	kN/mm	3,2	2,48	3,1	2,65	2,8	2,77
Densitatea aparentă	kg/m <sup>3</sup>	2250	2315	2257	2240	2320	2250

- importanța procentului de bitum.

La toate acestea se adaugă importanța compactării și a temperaturilor de încălzire, puse în evidență cu ocazia efectuării studiilor de laborator.

În urma studiilor efectuate, se poate afirma că rezultatele bune, pentru realizarea mixturilor asfaltice rezistente la formarea făgașelor și rezistente la dezanrobare, se obțin folosind:

- un bitum de penetrație 60/80 sau mai mică;
- un procent de var de 20...30 % din bitum sau 1,5...2,0 % din mixtura asfaltică;
- un raport filer/bitum >1,7;
- un schelet mineral cu agregate >3 mm, 65...70 %.

Foarte important este realizarea unor straturi bituminoase subțiri pentru etanșarea îmbrăcăminților bituminoase realizate din mixturi asfaltice cu adaos de var și bitum dur.

#### **4.4.1. Sectoare experimentale realizate cu mixturi asfaltice antifăgaș**

În 8...11 iulie 2000, au fost realizate sectoare experimentale folosind mixturile asfaltice antifăgaș cu sau fără var, de către SC ANCORAD Oltenia s.a , Lot Drăgoeni, cu aprobarea DRDP Craiova, respectiv Secția de Drumuri Naționale Tg Jiu, beneficiarul lucrării și administratorul drumului național pe care s-au executat experimentările. Sectoarele experimentale au fost realizate pe D.N. 66, Filiași Tg Jiu, km 10+075...10+350, dreapta și km 10+100...10+330, stânga.

Condițiile climaterice, în timpul realizării experimentelor: timp frumos, cer senin, cu temperaturi >38 °C.

Starea sectorului de drum: sectorul de drum existent prezenta făgașe cu o adâncime cuprinsă între 1...6 cm, măsurate cu dreptarul de 3 m.

Prepararea și punerea în operă a mixturii asfaltice s-a realizat în conformitate cu prevederile normativelor în vigoare, respectarea următoarelor reguli tehnologice specifice:

- agregatele naturale, dozate și încălzite la o temperatură de 168...176 °C, au fost introduse în malaxor în cantitatea unei șarje;
- filerul s-a introdus în malaxor la temperatura mediului ambiant în dozajul calculat, după care s-a introdus bitumul dozat volumetric și încălzit la 149...158 °C;



- temperatura mixturii asfaltice la ieșirea din malaxor a fost de 150...162 °C;
- transportul mixturii asfaltice s-a efectuat cu autobasculante, temperatura mixturii asfaltice la începerea compactării fiind de 140 °C, respectiv de 100 °C la terminarea compactării,

- compactarea mixturii asfaltice s-a realizat cu un compactor cu rulouri netede.;

Utilajele folosite la realizarea sectorului experimental au fost, în conformitate cu prevederile normativelor în vigoare, următoarele:

- fabrică de produs mixturi asfaltice în flux discontinuu cu sisteme de dozare a materialelor componente, tip MARINI;
- repartizator-finisor;
- compactor cu rulouri netede.

Dozajul de bitum a fost de 4,7 % în cazul betonului asfaltic deschis și de 5,8 % în cazul mixturilor asfaltice pentru stratul de uzură. S-au preparat șarje de 600 kg.

Structura rutieră a sectorului experimental, este următoarea:

- 4 cm beton asfaltic antifăgaș, realizat în anul 2000;
- 5 cm beton asfaltic (B.A. 16), realizat în anul 1986;
- 2,5 cm beton asfaltic între borduri, realizat în anul 1959;
- 4,5 cm beton asfaltic pentru stratul de legătură, realizat în anul 1959;
- 35 cm fundație din balast realizată în anul în anul 1959.

Pe acest sector s-a efectuat verificarea capacității portante a structurii rutiere și verificarea la ornieraj a îmbrăcăminților bituminoase, realizate cu mixturi asfaltice antifăgaș.

Prin studiul de proiectare, s-a prevăzut:

- efectuarea reparațiilor izolate, folosind un beton asfaltic cu agregat mărunț (B.A.8);

- preluarea denivelărilor prin realizarea unui strat dintr-un anrobat bituminos;
- o ranforsare de 4 cm, dintr-o mixtură asfaltică de tipul unui B.A. 16.

În tabelul 4.5 sunt prevăzute dozajele propuse prin studiul de proiectare.

În tabelul 4.6 este prezentată compoziția mixturilor asfaltice antifăgaș experimentate, precum și locul unde au fost puse în operă.

Tabelul 4.5

Materiale [%]	B.A. 16	Mixtură asfaltică pentru preluarea denivelărilor	
Criblură 8-16	30	-	-
Criblură 3-8	25	-	-
Pietriș concasat 15-25	-	-	20
Pietriș concasat 7-15	-	45	26
Nisip de concasaj 0-3	21	-	-
Nisip natural 0-7	15	51	50
Filer de calcar	9	4	4,0
Bitum	6,0	4,5	4,5

Tabelul 4.6.

Materiale	U.M.	B.A.A.D.25	B.A..A.16	B.A.A.P.C.16	B.A.A.P.C.V.16
Pietriș concasat 16-25	%	19,1	-	-	-
Criblură 8-16	%	38,1	35,8	-	-
Pietriș concasat 8-16	%	-	-	34,9	34,9
Criblură 3-8	%	19,1	32,0	32,0	32,0
Nisip de concasaj	%	14,2	15,1	16,0	16,0
Filer	%	4,8	11,3	11,3	9,8
Var	%	-	-	-	1,5
Bitum	%	4,7	5,8	5,8	5,8
Locul de punere în operă		D.N.66km 10+075...10+ 370drși10+100 ...10+350stg	D.N.66 km 10+100...10 +330 stg	D.N.66km10+07 5...10+110 dr și km10+210...10+ 350 dr.	D.N.66km 10+110...10+210 dr.

#### 4.4.2. Verificarea capacității portante a structurii rutiere ranforsate

Verificarea capacității portante s-a efectuat prin determinarea deformației specifice radiale de întindere și a deformației specifice verticale de compresiune, cu ajutorul programului CALDEROM, pentru osia standard de 115 kN și pentru structura existentă pe sectorul de pe DN 66 km 10+100...10+350.

În urma calculelor efectuate, a rezultat:

- deformația specifică de întindere la baza straturilor bituminoase:

$$\varepsilon_r = 255 \text{ microdeformații};$$

- deformația specifică verticală de compresiune la nivelul pământului de fundare:

$$\varepsilon_z = 492 \text{ microdeformații.}$$

Rata de degradare prin oboseală (RDO) s-a calculat cu relația 4.6

$$RDO = N_c / N_{adm} \quad (4.6)$$

Pentru  $N_c$  mai mic de un milion osii standard,  $N_{adm}$  se calculează cu relația 4.7

$$N_{adm} = 24,5 \times 10^8 \times \varepsilon_r^{-3,97} \quad (4.7)$$

A rezultat  $N_{adm} = 0,9$  m.o.s.

$$RDO = 0,6 / 0,9 = 0,67 < RDO_{max} = 0,85$$

Deci, criteriul deformației specifice de întindere la baza straturilor bituminoase este satisfăcut de structura rutieră existentă.

O altă condiție care trebuie verificată este ca:

$$\varepsilon_z < \varepsilon_{zadm}, \quad (4.8)$$

în care,

$\varepsilon_{z adm}$  este deformația specifică verticală admisibilă la nivelul patului drumului, care se calculează cu relația 4.9.

$$\varepsilon_{z adm} = 600 N_c^{-0,28} \quad (4.9)$$

în urma calculelor efectuate a rezultat ca:  $\varepsilon_{z adm} = 690$  microdeformații.

Rezultă că :  $\varepsilon_z = 492 < \varepsilon_{z adm} = 690$  microdeformații.

Deci, criteriul deformației specifice verticale de compresiune la nivelul pământului de fundație este dsatisfăcut.

În concluzie, se poate spune că structura rutieră existentă are o capacitate portantă superioară celei necesare pentru traficul de calcul pentru perioada de perspectivă de 10 ani (2000-2010).

#### 4.4.3. Verificarea la antifăgaș

Pe D.N.66 km 10+100...10+350 autorul a experimentat, cu sprijinul Departamentului de Inginerie Geotehnică și Căi de Comunicație Terestre, din cadrul Facultății de Construcții și Arhitectură Timișoara două tipuri de îmbrăcămînți bituminoase din mixturi asfaltice antifăgaș și anume:

- beton asfaltic cu amestec de cribluri și pietriș concasat și adaos de var (B.A.A.P.C.V.16) pe sectorul km 10+110...10+210 dreapta și
- beton asfaltic cu amestec de cribluri și pietriș concasat (B.A.A.P.C.16) pe sectorul km 10+075...10+110 și km 10+210...10+350 dreapta.

În urma cercetărilor efectuate pe carote prelevate din îmbrăcămintea bituminoasă de pe aceste sectoare, autorul, în colaborare cu CESTRIN București și Facultatea de Construcții Timișoara a obținut următoarele rezultate:

Pentru sectorul km 10+110...10+210:

- rata de făgaș la 60 °C, VDO între 0,4...1,2 mm/h;
- valoarea medie a ratei de făgaș, conform raportului de încercări 47.2:  $VDO_m=0,8$  mm/h;
- adâncimea de făgaș la 60 °C între 1,7...2,8 mm;
- stabilitatea la 60 °C: 12 kN;

Pentru sectorul km 10+210...10+350:

- rata de făgaș la 60 °C, VDO între 0,7...1,2 mm/h;
- valoarea medie a ratei de făgaș, conform raportului de încercări 47.2:  $VDO_m=0,87$  mm/h;
- adâncimea de făgaș la 60 °C între 2,5...6 mm;
- stabilitatea la 60 °C: 11,8 kN.

Conform Normativului privind determinarea susceptibilității la formarea făgașelor a mixturilor asfaltice preparate la cald pentru îmbrăcămînți bituminoase rutiere, indicativ AND 573 din 2002, valorile admise ale ratei de orrieraj sunt indicate în tabelul 4.13

Tabelul 4.13

Nr mediu de vehicule de transport marfă și autobuze în 24 ore	Viteza de deformație la ornieraj VDOP [mm/h] max		Adâncimea maximă a făgașului [mm]*		Stabilitatea [kN]*min
	45 °C	60 °C	45 °C	60 °C	
<1500	6	8	6	9	4.5
1500...3000	4	6	5	8	6
3000...6000	2	3.5	4	7	7
>6000	<2	<3.5	<4	<7	<7

\*Rezultatele experimentale au fost obținute pentru mixturi stabilizate cu fibre (M.A.S.F.16).

Din cele prezentate rezultă că:

- ambele tipuri de îmbrăcămînți bituminoase experimentate pe DN 66 km 10+100...10+350 sunt corespunzătoare pentru traficul mediu zilnic anual și de perspectivă, estimat pentru anul 2010, care este MZA=1103 vehicule în 24 ore.

- ambele tipuri de îmbrăcămînți bituminoase experimentate sunt corespunzătoare și pentru un trafic superior de peste 6000 vehicule grele /24 ore;

- dintre cele două tipuri de îmbrăcămînți bituminoase realizate cu mixturi asfaltice antifăgaș cu adaos de var (B.A.A.P.C.V.16) are parametrii mai buni din punct de vedere al verificării la făgaș.

#### **4.4.4. Urmărirea comportării în exploatare a sectoarelor experimentale realizate cu mixturi asfaltice antifăgaș**

Începând cu anul 2001, autorul a urmărit aceste sectoare experimentale prin determinarea stării de degradare și a rugozității de două ori pe an, pentru a putea concluziona asupra oportunității realizării acestor tipuri de mixturi asfaltice antifăgaș.

Pe sectoarele experimentale s-a efectuat releveul defecțiunilor, determinând rugozitatea, planeitatea, capacitatea portantă (tabelul 4.14 ). De asemenea, s-au prelevat

carote și s-au determinat caracteristicile fizico-mecanice și rezistența la făgaș (tabelul 4.14), precum și agresivitatea traficului.

Tabelul 4.14

1. starea de degradare determinată în anul 2002							
Simbol	Tipul defecțiunii	U.M.	Banda	Km	km	km	km
				10+070	10+110	10+210	10+370
D <sub>1</sub>	Gropi, suprafețe plombate	m <sup>2</sup>	Dreapta	-	2,0	1,5	
			Stânga	-	1,0	1,0	
D <sub>2</sub>	Faianțări, fisuri și crăpături multiple	m <sup>2</sup>	Dreapta	-	-	-	
			Stânga	-	-	11	
D <sub>3</sub>	Fisuri transversale și longitudinale	m	Dreapta	16	31	17	
			Stânga	23	34	37	
D <sub>4</sub>	Suprafețe poroase	m <sup>2</sup>	Dreapta	-	26	24	
			Stânga	-	38	50	
D <sub>5</sub>	Făgașe longitudinale	m	Dreapta	-	-	-	
			Stânga	25	15	30	
2. Indicele de degradare							
Banda		Valoare			Calificativ		
Stânga		0,11			Mediocr		
Dreapta		0,04			Foarte bun		
3. Rugozitatea suprafeței de rulare							
Secțiunea		Banda		HS <sub>mediu</sub> [mm]		Calificativ	
10+100		Dreapta		0.85		Foarte bun	
		Stânga		0.74		Foarte bun	
10+200		Dreapta		0.94		Foarte bun	
		Stânga		0.68		Foarte bun	
10+300		Dreapta		0.76		Foarte bun	
		Stânga		0.50		Bun	
4. Uniformitatea				5. Deflexiunile			
Poziția kilometrică	Valori IRI [m/km]		Poziția kilometrică		Valoare deflexiune, μ		
	Dreapta	Stânga	9+500		461		
10+000	4,9	1,74	9+600		612		
10+100	2,34	2,95	9+800		360		
10+200	1,93	2,15	10+000		339		
10+300	20,06	3,94	10+200		309		
10+400	4,26	3,03	10+400		316		

În tabelul 4.15 se prezintă rezultatele încercărilor de laborator efectuate pe carote.

Tabelul 4.15

Caracteristica	U.M.	Anul 2001		Anul 2002	
		10+150 dr*	10+250 dr	10+160 dr*	10+250 dr
Bitum	%	5,0	5,2	-	-
Var	%	1,5	-	1,5	-
Granulozitatea, treceri prin sita...mm					
0,08	%	4,2	5,8	-	-
0,2	%	13,3	14,2	-	-
0,63	%	17,6	18,6	-	-
4,0	%	50,0	55,0	-	-
8,0	%	75,0	78,0	-	-
16,0	%	100,0	100,0	-	-
20,0	%	-	-	-	-
Rezistența la compresiune la 22°C	N/mm <sup>2</sup>	3.7	5.5	-	
Rezistența la compresiune la 50°C	N/mm <sup>2</sup>	1.7	2.4	-	
Coeficientul de termostabilitate	-	2.0	2.3	-	
Reducerea rezistenței la compresiune la 22°C	%	8	20	-	
Stabilitatea Marshall	Kn	11.1	12.4	12.0	11.8
Indicele de curgere	mm	4.0	3.4	-	-
Stabilitate / fluaj	Kn/mm	2.7	3.6	-	-
Densitatea cub aparentă cilindri	Kg/m <sup>3</sup>	2251	2256	-	-
plăcuțe		2439	2304	-	-
		2258	2242	-	-
Absorbția de apă cub cilindri	%	7.5	7.0	-	-
plăcuțe		7.6	6.8	-	-
		7.6	4.8	-	-
Gradul de compactare	%	98	97	-	-
Rata la ornieraj, VDO <sub>med</sub>	Mm/h	-	-	0.8	0.87
Adâncimea de ornieraj la 60°C	Mm	-	-	1.7...2.8	2.5...6.0

Notă: \* mixturi asfaltice realizate cu var

În urma interpretărilor rezultatelor de laborator, coroborată cu examinarea vizuală a sectoarelor experimentale, la nivelul anului 2002, s-au formulat următoarele observații:

- aspectul îmbrăcămintei bituminoase pe întreg sectorul menționat este în general corespunzătoare, cu o asfaltizare mai bună pe zonele cu circulație preponderentă și mai redusă în axa părții carosabile și în axa benzilor de circulație. Nu se constată diferențe semnificative de textură între banda de circulație din dreapta și cea din stânga;

- îmbrăcămintea de pe banda de circulație din dreapta este totuși mai puțin asfaltizată decât cea din stânga. Cu toate acestea, după ploii, pe banda de circulație din stânga se sesizează mult mai multe suprafețe poroase, care se usucă mai dificil;

- diferențele de textură cele mai evidente se observă pe primul sector experimental, km 10+070...10+100, pe care îmbrăcămintea de pe banda de circulație din dreapta are o rugozitate mult mai ridicată decât cea de pe banda de circulație din stânga. În plus, îmbrăcămintea bituminoasă de pe partea stângă are cele mai evidente deformații plastice (făgașe), adâncimea acestora ajungând la 1,0...1,3 cm, pe o lungime de cca 15 m.

În ceea ce privește formarea făgașelor, s-au constatat următoarele:

- pe sectoarele experimentale realizate pe banda de circulație din dreapta, nu există făgașe, ci doar făgașe incipiente spre marginea părții carosabile (adâncimi de 2...3 mm), pe lungimi reduse. Din acest motiv, acestea nu vor fi decontate ca făgașe în această etapă a studiului;

- pe banda de circulație din stânga există aproape continuu, spre marginea părții carosabile, un făgaș cu adâncimea de 4...6 mm. De asemenea pe lungimi reduse, este detectabilă o deformație plastică și spre axa drumului;

- cea mai mare deformație plastică a suferit-o îmbrăcămintea de pe primul sector, km 10+075...10+100 stg, unde făgașul a depășit 1 cm, pe o lungime de cca 15 m.

În luna iulie 2002, în cadrul reviziei vizuale a sectoarelor experimentale, au fost puse în evidență următoarele aspecte:

Pe sectoarele experimentale de pe banda de circulație din dreapta:

- pe sectorul km 10+075...10+110 dr, există fisuri transversale continue pe toată banda de circulație, sau doar pe o anumită lățime a acesteia, cu o lungime totală de 16 m;

- pe sectorul km 10+110...10+210 dr, există fisuri transversale continue, pe toată banda de circulație sau doar pe o anumită lățime a acesteia, care însumează o lungime



totală de 31 m. De asemenea, există suprafețe reparate de cca 2 m<sup>2</sup>, provenite cel mai probabil în urma prelevărilor de carote. Sunt sesizabile suprafețe poroase pe 26 m<sup>2</sup>;

- pe sectorul km 10+210...10+370, dr, există fisuri transversale continue pe toată banda de circulație, sau doar pe o anumită lățime a acesteia, care însumează o lungime totală de 17 m. De asemenea, există suprafețe reparate de 1,5 m<sup>2</sup>, provenite cel mai probabil în urma prelevărilor carote. Sunt sesizabile suprafețe poroase pe 24 m<sup>2</sup>;

- nu este sesizabilă pe toată lungimea, nici o fisură longitudinală în axă.

Pe sectorul de pe banda de circulație din stânga (km 10+075...10+370 stg)

- există mai multe fisuri transversale la marginea părții carosabile, cu lungimea de cca 1,00 m, în special pe sectorul 10+210...10+200, dar există și fisuri transversale pe toată lățimea benzii de circulație. De asemenea, există câteva fisuri longitudinale cu lungimi de 1,5...3,0 m la cca 1,5 m de marginea părții carosabile. Lungimea totală a fisurilor pe acest sector este de 94 m<sup>2</sup>;

- există suprafețe poroase totale de 88 m<sup>2</sup>.

Rugozitatea a-a determinat pentru fiecare din cele trei sectoare în câte o secțiune de măsurare, constatându-se că nu sunt diferențe semnificative între sectoarele experimentale realizate pe banda de circulație din dreapta, față de îmbrăcămintea bituminoasă clasică din B.A.16, realizată pe banda de circulație din stânga, excepție făcând primul sector, unde îmbrăcămintea din dreapta are o rugozitate mult prea redusă în raport cu celelalte

Rezultatele obținute pentru rugozitate sunt prezentate în tabelul .4.16

De subliniat faptul că investigarea sectoarelor experimentale s-a efectuat în conformitate cu reglementările tehnice în vigoare la noi în țară, respectiv Normativul „Instrucțiuni tehnice departamentale privind determinarea stării tehnice a drumurilor moderne”, indicativ CD 155 –2001.

Tabelul 4.16

Se cți un ea	Poz km	Poz mas	Diametre medii în punctele profilurilor transversale investigate (5 profiluri) cm					S <sub>pată</sub> Cm <sup>2</sup>	V <sub>s</sub> Cm <sup>3</sup>	HS Mm	HS <sub>med</sub> Mm	HS <sub>sect</sub> Mm	
			1	2	3	4	5						
1	Secțiunea 1 10+100	Dr	10,0	10,5	9,5	9,5	10,0	76,9	5,0	0,65	0,85	0, 85 dr	0,64 stg
		axă <sub>dr</sub>	7,5	8,0	7,5	8,0	8,0	47,7	5,0	1,05			
		axă <sub>stg</sub>	8,0	8,0	8,5	8,5	8,0	57,8	5,0	0,86	0,74		
		Stg	11,0	10,5	9,5	10,0	9,5	80,1	5,0	0,62			
2	Secțiunea 2 10+200	Dr	9,0	8,5	10,0	11,0	8,5	69,4	5,0	0,72	0,94		
		axă <sub>dr</sub>	7,0	8,0	7,5	7,0	7,5	43,0	5,0	1,16			
		axă <sub>stg</sub>	8,0	9,5	8,5	8,0	8,5	64,3	5,0	0,78	0,68		
		Stg	11,0	11,5	10,5	10,0	10,0	88,2	5,0	0,57			
3	Secțiunea 3 10+300	Dr	11,0	12,0	10,5	9,0	9,0	83,3	5,0	0,60	0,76		
		axă <sub>dr</sub>	7,5	8,0	8,0	8,5	8,5	54,1	5,0	0,92			
		axă <sub>stg</sub>	10,0	11,5	10,5	11,0	11,5	93,2	5,0	0,54	0,50		
		Stg	11,0	12,5	12,5	11,5	11,5	109,3	5,0	0,46			

Se menționează faptul că în cursul anului 2003, pe sectoarele respective, a fost realizat un tratament bituminos simplu, cu pietriș 8-16, de către S.C. ALBIX S.R.L. Timișoara, motiv pentru care starea de degradare și rugozitatea acestora sunt semnificativ modificate, în raport cu anul 2002, față de anul 2001.

Aspectul îmbrăcămintei bituminoase, pe întreg sectorul experimental este în general corespunzător, exceptând suprafețe mici cu peladă care nu au evoluat semnificativ față de anul precedent. Nu se constată diferențe semnificative de textură între banda de circulație din dreapta și cea din stânga, deoarece tratamentul bituminos a fost realizat cu aceeași tehnologie.

Cu toate acestea, îmbrăcămintea de pe banda de circulație din dreapta este mai puțin asfaltizată decât cea din stânga, deși după ploaie, pe banda de circulație din stânga se sesizează mult mai multe suprafețe poroase care se usucă mai dificil.

Făgașele incipiente constatate în anul 2002, nu mai pot fi analizate în condițiile actuale, iar o mare parte a fisurilor constatate în anul 2002, au reapărut după realizarea tratamentului bituminos și sunt menționate în tabelul 4.17. Starea de degradare pentru

luna mai a anului 2004 a sectoarelor experimentale sus menționate, este redată în tabelul 4.18.

Rugozitatea s-a determinat pentru fiecare din cele trei sectoare, în câte o secțiune de măsurare, conform standardului în vigoare. Se remarcă faptul că valorile rugozității nu s-au diminuat semnificativ, după aproximativ un an de la realizarea tratamentului bituminos.

Rezultatele obținute pentru rugozitate sunt prezentate în tabelul 4.17

Tabelul 4.17

Se cți un ea	Poz km	Poz mas	Diametre medii în punctele profilurilor transversale investigate (5 profiluri) cm					S <sub>pată</sub> Cm <sup>2</sup>	V <sub>s</sub> Cm <sup>3</sup>	HS Mm	HS <sub>med</sub> Mm	HS <sub>sect</sub> Mm	
			1	2	3	4	5					dr	stg
1	Secțiunea 1 10+100	Dr	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	44,2	5,0	1,13	1,21	1, 25 dr	1,27 stg
		axă <sub>dr</sub>	7,0	7,5	6,5	6,5	7,5	38,5	5,0	1,30			
		axă <sub>stg</sub>	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	38,5	5,0	1,30	1,28		
		Stg	7,0	7,0	7,0	7,0	7,5	39,6	5,0	1,26			
2	Secțiunea 2 10+200	Dr	7,0	6,5	6,5	7,5	7,5	38,5	5,0	1,30	1,28		
		axă <sub>dr</sub>	7,0	7,0	7,5	7,5	6,5	39,6	5,0	1,26			
		axă <sub>stg</sub>	7,0	7,0	7,0	7,0	6,5	37,4	5,0	1,34	1,32		
		Stg	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	38,5	5,0	1,30			
3	Secțiunea 3 10+300	Dr	7,0	7,0	7,5	7,0	6,5	38,5	5,0	1,30	1,26		
		axă <sub>dr</sub>	7,0	7,0	7,0	7,5	7,5	40,7	5,0	1,23			
		axă <sub>stg</sub>	6,5	7,5	7,5	7,5	7,0	40,7	5,0	1,23	1,26		
		Stg	7,0	6,5	7,0	7,0	7,5	38,5	5,0	1,30			

Starea de degradare determinată în anul 2004

Tabelul 4.18

Simbol	Tipul defecțiunii	U.M.	Banda	Km	km	km	km	Total bandă
				10+070	10+110	10+210	10+370	
D <sub>1</sub>	Gropi, suprafețe plombate	m <sup>2</sup>	Dreapta	-	-	-		
			Stânga	-	-	-		
D <sub>2</sub>	Faianțări, fisuri și crăpături multiple	m <sup>2</sup>	Dreapta	-	-	-		
			Stânga	-	-			
D <sub>3</sub>	Fisuri transversale și longitudinale	m	Dreapta	8	5	7		20
			Stânga	18	14	4		36
D <sub>4</sub>	Suprafețe poroase	m <sup>2</sup>	Dreapta	4	4	4		12
			Stânga	2	-	3		5
D <sub>5</sub>	Făgașe longitudinale	m	Dreapta	-	-	-		

În cursul anului 2004, s-a realizat o revizie și în luna august, în cursul căreia s-au remarcat următoarele:

- influența tratamentului bituminos executat în anul 2003, s-a manifestat asupra stării de degradare și a rugozității sectoarelor experimentale, parametri la care se constată modificări semnificative. Astfel, față de releveul din luna mai 2004, se constată o închidere parțială a fisurilor semnalate anterior și o anumită diminuare a rugozității (neseemnificativă, dar sesizabilă în raport cu măsurătorile anterioare). Acest lucru este explicabil pentru un sector cu tratament bituminos în al doilea sezon cald după darea în exploatare (diminuarea rugozității este mai semnificativă pe durata primilor circa trei ani după darea în exploatare a unui tratament bituminos).

- aspectul îmbrăcămintei bituminoase pe sectorul experimental este în general corespunzător, exceptând mici suprafețe cu peladă, care nu au evoluat față de perioada anterioară de investigare. Nu se constată diferențe semnificative între sectoarele experimentale și sectorul martor de pe banda de circulație din stânga, lucru normal dacă se are în vedere tratamentul bituminos realizat.

În tabelul 4.19 este prezentată starea de degradare, iar în tabelul 4.20, este prezentată rugozitatea.

Tabelul 4.19

Simbol	Tipul defectiunii	U.M.	Banda	Km	km	km	km	Total bandă
				10+070	10+110	10+210	10+370	
D <sub>1</sub>	Gropi, suprafețe plombate	m <sup>2</sup>	Dreapta	-	-	-		
			Stânga	-	-	-		
D <sub>2</sub>	Faiantări, fisuri și crăpături multiple	m <sup>2</sup>	Dreapta	-	-	-		
			Stânga	-	-			
D <sub>3</sub>	Fisuri transversale și longitudinale	m	Dreapta	2	-	2	4	
			Stânga	5	3	3	11	
D <sub>4</sub>	Suprafețe poroase	m <sup>2</sup>	Dreapta	4	4	4	12	
			Stânga	2	-	3	5	
D <sub>5</sub>	Făgașe longitudinale	m	Dreapta	-	-	-		
			Stânga	-				

Tabelul 4.20

Secțiunea	Poz km	Poz mas	Diametre medii în punctele profilurilor transversale investigate (5 profiluri) cm					S <sub>pată</sub> Cm <sup>2</sup>	V <sub>s</sub> Cm <sup>3</sup>	HS Mm	HS <sub>med</sub> Mm	HS <sub>sect</sub> Mm	
			1	2	3	4	5					dr	stg
			1	Secțiunea 1 10+100	Dr	8,0	7,5						
axă <sub>dr</sub>	7,5	7,5	7,5		7,0	7,5	43,0	5,0	1,10				
axă <sub>stg</sub>	7,0	7,0	7,5		7,5	7,0	40,7	5,0	1,23	1,21			
Stg	7,5	7,5	7,0		7,0	7,5	41,8	5,0	1,20				
2	Secțiunea 2 10+200	Dr	7,0	7,0	7,5	7,5	8,0	49,0	5,0	1,02	1,07		
axă <sub>dr</sub>		7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	44,2	5,0	1,13				
axă <sub>stg</sub>		7,5	7,0	7,5	7,0	7,5	41,8	5,0	1,20	1,23			
Stg		7,0	7,5	7,0	7,0	7,0	39,6	5,0	1,26				
3	Secțiunea 3 10+300	Dr	7,5	7,0	7,5	7,0	7,0	40,7	5,0	1,23	1,22		
axă <sub>dr</sub>		7,0	7,5	7,0	7,5	7,5	41,4	5,0	1,21				
axă <sub>stg</sub>		7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	44,2	5,0	1,13	1,13			
Stg		7,5	7,5	8,0	7,0	7,5	44,2	5,0	1,13				

În cei cinci ani, condițiile în care au fost exploatate sectoarele experimentale sus menționate, prezintă următoarele particularități:

- tronsonul de drum respectiv nu a fost supus unor condiții de exploatare extraordinare: (inundații, alunecări de teren, etc.);

- în anul 2003, pe tronsonul studiat s-a executat un tratament bituminos simplu, la rece;

- dezzăpezirea s-a efectuat în aceleași condiții ca și pe restul sectorului de drum DN 66, inclusiv din punct de vedere al materialelor antiderapante și antiaglomerante;

- scurgerea apelor de suprafață este asigurată în mod corespunzător;

- în ceea ce privește evoluția traficului rutier, se remarcă o creștere relativ redusă a acestuia față de anul dării în exploatare, astfel: în anul 2000, media zilnică anuală, determinată prin recensământ, pentru sectorul de drum respectiv a fost de 2805 vehicule, în timp ce datele preliminare obținute în timpul recensământului din anul 2005, atestă că media zilnică anuală a crescut la 3513 vehicule fizice, ceea ce reprezintă o creștere cu 25% în cei cinci ani de exploatare.

În anul 2005, în cadrul observațiilor vizuale efectuate de autor în colaborare cu Departamentul de Inginerie Geotehnică și Căi de Comunicație Terestre și în urma prelucrării rezultatelor de laborator, s-au constatat următoarele:

- o creștere semnificativă a lungimii fisurilor transversale și longitudinale (tabelul 4.21) și o diminuare nesemnificativă a rugozității față de anul precedent (tabelul 4.22). Rugozitatea a continuat să se diminueze pe sectoarele experimentale și pe sectorul martor, pornind de la cea a tratamentului bituminos realizat în anul 2003 (s-a ajuns la ambele benzi de circulație la o rugozitate de 0,95, care se încadrează în calificativul „foarte bună”.

Se remarcă faptul că lungimea fisurilor este mai mare, pe toate cele trei sectoare, pe banda de circulație din dreapta.

Făgașele nu au apărut nici pe sectoarele experimentale cu mixturi antifăgaș, dar nici pe sectorul martor, realizat cu o îmbrăcăminte bituminoasă clasică.

Pe de altă parte, nu se constată apariția altor tipuri de defecțiuni, decât cele constatate în etapa anterioară de măsurare, exceptând o groapă de 0,50 m<sup>2</sup>, apărută însă

Tabelul 4.21

Simbol	Tipul defectiunii	U.M.	Banda	Km	km	km	km	Total bandă
				10+070	10+110	10+210	10+370	
D <sub>1</sub>	Gropi, suprafețe plombate	m <sup>2</sup>	Dreapta	-	-	-		
			Stânga	-	-	-		
D <sub>2</sub>	Faianțări, fisuri și crăpături multiple	m <sup>2</sup>	Dreapta	-	-	-		
			Stânga	-	-			
D <sub>3</sub>	Fisuri transversale și longitudinale	m	Dreapta	19	25	34	78	
			Stânga	11	8	30	49	
D <sub>4</sub>	Suprafețe poroase	m <sup>2</sup>	Dreapta	-	-	-	-	
			Stânga	4	4	4	12	
D <sub>5</sub>	Făgașe longitudinale	m	Dreapta	-	-	-		
			Stânga	-				

Tabelul 4.22

Secțiunea	Poz km	Poz mas	Diametre medii în punctele profilurilor transversale investigate (5 profiluri) cm					S <sub>pată</sub> Cm <sup>2</sup>	V <sub>s</sub> Cm <sup>3</sup>	HS Mm	HS <sub>med</sub> Mm	HS <sub>sect</sub> Mm	
			1	2	3	4	5					dr	stg
1	Secțiunea 1 10+100	Dr	9,0	8,5	8,5	8,0	8,5	56,7	5,0	0,88	0,87	0,95	stg
		axă <sub>dr</sub>	8,5	8,5	8,5	8,5	9,0	58,0	5,0	0,86			
		axă <sub>stg</sub>	8,0	7,5	7,5	8,5	8,5	47,8	5,0	1,05	1,05		
		Stg	8,0	8,0	8,0	7,5	7,5	47,8	5,0	1,05			
2	Secțiunea 2 10+200	Dr	7,5	7,5	8,5	8,0	9,0	51,5	5,0	0,97	0,91	0,95	stg
		axă <sub>dr</sub>	9,0	8,0	8,0	9,5	8,5	58,1	5,0	0,86			
		axă <sub>stg</sub>	8,5	8,5	7,5	9,5	8,5	56,7	5,0	0,88	0,92		
		Stg	7,5	9,5	7,5	8,5	7,5	51,5	5,0	0,97			
3	Secțiunea 3 10+300	Dr	7,5	8,0	8,0	7,5	7,5	46,5	5,0	1,08	1,06	0,95	stg
		axă <sub>dr</sub>	7,5	7,5	8,0	8,0	8,0	47,8	5,0	1,05			
		axă <sub>stg</sub>	9,0	8,5	8,5	7,5	8,0	54,1	5,0	0,92	0,88		
		Stg	8,0	9,0	9,0	9,0	8,5	59,4	5,0	0,84			

dintr-o cauză externă (rupere cu lama unui plug metalic).

Sectoarele experimentale vor fi monitorizate și în viitor, prin prelevarea de carote care vor fi supuse încercărilor de laborator de gradul 1, în cadrul Departamentului de Inginerie Geotehnică și Căi de Comunicație Terestre din Timișoara, pentru determinarea stabilității Marshall, a indicelui de curgere, a densității aparente, a compoziției și a valorii punctului de înmuiere înel și bilă pe bitumul extras.

#### **4.5. Dispozitiv pentru asigurarea unor performanțe sporite utilajelor de așternere fără palpatori**

Pentru a asigura durabilitate și un comportament corespunzător unui drum este importantă realizarea uniformității căii de rulare.

În acest context, trebuie evitate solicitările complexului rutier datorate neuniformităților apărute la realizarea straturilor rutiere cu utilaje neperformante, prin folosirea unor instrumente pentru reglarea și verificarea pantei transversale, în timpul executării îmbrăcăminților bituminoase cu repartizatorul finisor de mixturi asfaltice tip NPK.

Necesitatea realizării unor îmbrăcămiși bituminoase la parametri superiori implică și realizarea pantei transversale a drumurilor, stabilită prin proiect.

Utilajul repartizator - finisor de mixturi asfaltice, NPK, este gândit și realizat pentru a putea fi reglat practic nu permite acest lucru în mod rapid și ușor la întâlnirea denivelărilor stratului suport, pentru a se asigura uniformitatea suprafeței. Reglarea poziției netezitorului pentru asigurarea grosimii stratului și respectarea pantei transversale (din proiect), de către conducătorul utilajului, sunt aproape imposibil de realizat. Reglarea de la cutiile cu butoane plasate la ambele extremități ale mașinii, în spate, de către muncitorul asfaltator, presupune multe intervenții care se materializează prin denivelări frecvente, până la reușita definitivă, iar în curbe este foarte greu de realizat o sincronizare și un calcul extrem de rapid pentru a putea interveni prompt și a se realiza un strat rutier performant.

Soluția propusă este acest instrument simplu și eficient, care se amplasează pe nivelator și este alcătuit din: (fig.4.1).



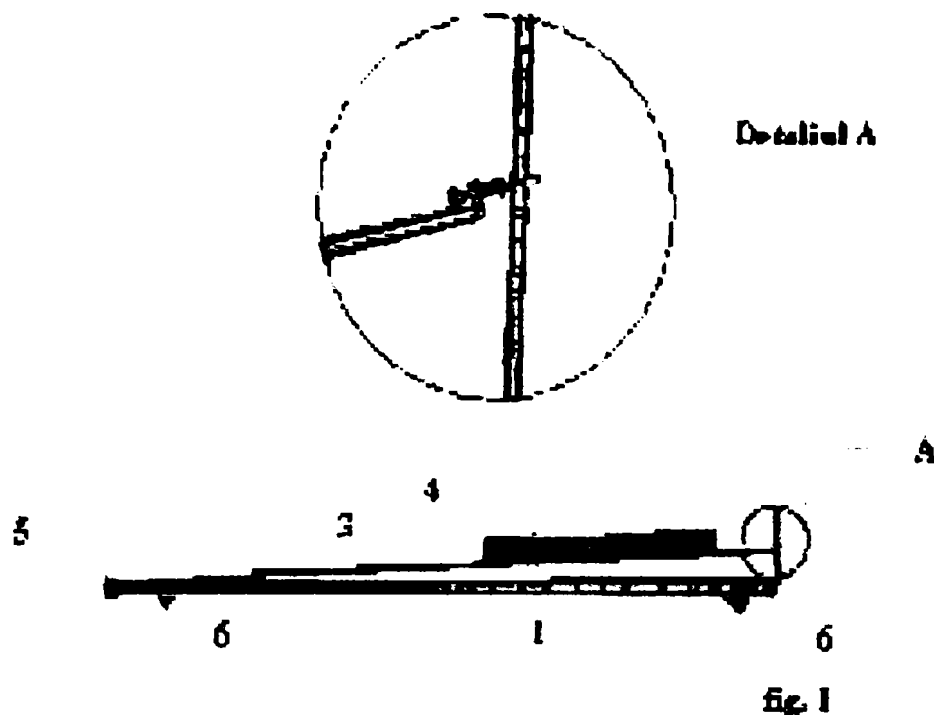


Fig. 4.1. Dispozitiv pentru reglarea pantei transversale.

- placa de bază din lemn, de 0,50 x 0,08 x 0,025 m; (1);
- rigla metalică gradată, de 0,10 x 0,08 x 0,003 m, (2);
- contrafișa reper (3);
- nivela cu bulă de aer (4);
- elemente de prindere și accesorii conform desenului prezentat în fig. 5.2.
- articulație de prindere (5);
- suporturi din cauciuc (6).

Pentru realizarea îmbrăcăminților rutiere pe sectoarele de drum în aliniament, se poate folosi o pană cu înclinarea de 2,5 % (conform pantei transversale prevăzută pentru a fi realizată) și o nivelă cu bulă de aer (fig 4.2).



Fig. 4.2. Pană cu nivelă cu bulă de aer.

La întreruperea lucrului , în fiecare zi, se vor nota cifrele celor două scale ale poziției netezitorului și la reluarea activității se vor pune cele două indicatoare la cifrele reținute. Din anul 1994, DRDP Craiova, prin șantierul de la Drăgoeni a folosit acest model, care a influențat extrem de mult calitatea îmbrăcămintei bituminoase și a permis în același timp eliminarea tuturor piedicilor pentru desfășurarea activității de așternere a mixturii asfaltice cu bune rezultate tehnice.

Acest aparat permite reglarea pantei transversale a netezitorului răspânditorului de mixturi asfaltice NPK, pentru a respecta prevederile proiectului, cât și măsurarea pantei transversale a unui drum deja realizat.

## CAPITOLUL 5

### CONCLUZII GENERALE. APLICABILITATEA ȘI VALORIFICAREA REZULTATELOR

Scopul principal al activității rutiere îl constituie menținerea drumurilor într-o bună stare de viabilitate, pentru a asigura confort și siguranță participanților la trafic.

Construcția și întreținerea permanentă a drumurilor reprezintă o preocupare ce servește interesului general al utilizatorilor și care se înscrie pe linia aducerii stării tehnice a acestora la parametrii impuși de solicitările tot mai crescânde ale traficului.

În ultimii ani se manifestă o orientare tot mai pregnantă spre desfășurarea transportului de marfă pe calea rutieră, în defavoarea celei feroviare, iar consecințele asupra drumului sunt de cele mai multe ori dezastruoase.

Sistemele rutiere existente pe drumurile din țara noastră au depășit în cea mai mare parte durata de viață, iar solicitările la care sunt supuse în condițiile unui trafic greu, cu intensitate foarte mare, nu fac decât să agraveze o stare de fapt precară.

De aceea trebuie găsite noi soluții pentru proiectarea unor sisteme rutiere capabile să preia eforturile din trafic și din condițiile climaterice, pentru că o rețea rutieră îmbătrânită, depășită funcțional, are repercursiuni grave asupra economiei țării în general și a infrastructurii rutiere în special.

Tehnologiile noi, materialele compozite, utilajele și echipamentele moderne și nu în ultimul rând competența și profesionalismul celor implicați în domeniul rutier, fie că e vorba de inginerul din producție, de cercetătorul din laborator sau de dascălul ce formează noile generații, sunt tot atâtea premise favorabile schimbării concepției despre realizarea noilor structuri rutiere.

Un aspect important al activității drumarului este acela de a adapta la nevoile concrete ale drumului pe care îl administrează soluțiile cele mai moderne și de a valorifica eficient resursele locale de care dispune, pentru a obține cele mai bune rezultate.

De asemenea trebuie urmărită cu atenție evoluția și comportarea în timp a infrastructurii rutiere, pentru a interveni rapid și eficient, mai ales că în ultimul timp se

produc și fenomene naturale (inundații, alunecări de teren) ce afectează construcțiile rutiere.

Degradările prin oboseală ale structurilor rutiere (rigide și semirigide) cât și contracțiile se manifestă prin fisuri, la început izolate, care evoluează puțin câte puțin, către faianțări.

Fisurile favorizează pătrunderea apei în structura rutieră având următoarele consecințe:

- reducerea aderenței la interfață;
- creșterea deformațiilor specifice de întindere la baza îmbrăcămintei bituminoase;
- creșterea tensiunilor de întindere la baza straturilor stabilizate;
- modificarea condițiilor de rezemare a structurii rutiere;
- favorizarea procesului de abraziune;
- înrăutățirea transferului de sarcină la fisuri.

Adoptarea unor soluții moderne de întârziere a transmiterii fisurilor (prefisurarea stratului stabilizat, prevederea unor interstraturi la interfața dintre stratul bituminos și cel din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, etc) pe lângă faptul că asigură o bună comportare a structurii rutiere – o suprafață cu o uniformitate corespunzătoare (eventual cu fisuri fine cu deschideri reduse și la distanțe mici pentru evitarea concentrării eforturilor) permite reducerea grosimii totale a straturilor bituminoase.

Toate aceste aspecte au constituit un punct de plecare în elaborarea acestei lucrări, iar în activitatea de construcție, întreținere și reparații drumuri s-a urmărit pe de o parte identificarea problemelelor și necesităților drumului, iar pe de altă parte, aplicarea, în funcție de posibilități, a unor soluții viabile și tehnologii noi, în vederea eliminării efectelor cât și găsirii variantelor oportune și eficiente pentru repararea sectoarelor de drum cu fisuri și cu fâgașe.

Studiile, experimentările și aplicarea lor practică au fost canalizate pe mai multe direcții:

- aplicarea de soluții noi antifisură, pe drumuri naționale, locale și pe străzi (Municipiul Tg Jiu și Orașul Bumbești Jiu) din județul Gorj;

- realizarea de mixturi asfaltice antifâgaș pe drumurile naționale;
- găsirea unor soluții pentru valorificarea materialelor locale (filer, agregate, pudră de cauciuc etc.) prin conceperea și experimentarea unor structuri rutiere eficiente;
- urmărirea comportării în exploatare a sectoarelor de drum pe care au fost aplicate noile tehnologii, în vederea observării efectelor în timp și a extinderii soluțiilor adoptate, asupra altor drumuri.
- aplicarea soluțiilor experimentate în tehnica rutieră (generalizarea aplicării noutăților din etapa de proiectare, urmată de execuție).

Studiile, cercetările, prelucrarea rezultatelor obținute în urma încercărilor efectuate pe carote prelevate din teren de către autor au fost efectuate de către laboratoarele zonale, respectiv Laboratorul din cadrul Departamentului de Inginerie Geotehnică și Căi de Comunicație Terestre, al Facultății de Construcții și Arhitectură din Timișoara.

În această lucrare sunt prezentate următoarele contribuții personale:

- executarea sectoarelor experimentale cu aplicarea soluției antifisură de interpunere a unui mortar asfaltic între îmbrăcămintea existentă și stratul de uzură pe DN 67 Tg Jiu – Horezu, km 120+400...121+000:
- aplicarea soluției de interpunere a unei mixturi asfaltice antifisurii numită mixtură poroasă antifisură M.P.A. pe DN 67 Tg Jiu – Horezu, km 110+000...111+000 și pe străzi ( Municipiul Tg Jiu și Orașul Bumbesti Jiu):
- conceperea de mixturi asfaltice cu pudră de cauciuc utilizate la realizarea de îmbrăcăminte bituminoase pe străzi din Municipiul Tg Jiu;
- realizarea de mixturi asfaltice antifâgaș pe DN 66 Filiași – Tg Jiu, km 10+100...10+370;
- experimentarea și urmărirea evoluției sectoarelor cu aceste tehnologii noi;
- îmbunătățirea performanțelor repartizatorului-finisor (utilaj nedotat cu palpator) prin adăugarea unor instrumente pentru controlul și menținerea pantei transversale în timpul lucrului.

Toate aceste sectoare de drum pe care au fost implementate tehnologiile noi antifisură au fost apoi ținute sub observație, iar în anii ulteriori execuției au fost prelevate carote pentru determinarea în laborator a principalelor caracteristici în vederea stabilirii unor concluzii privind comportarea lor sub acțiunea traficului și a factorilor de mediu,

urmînd ca în viitor în funcție de rezultatele obținute experimentările să fie extinse asupra altor drumuri.

Concluziile generale la care autorul a ajuns în urma studiilor, experimentărilor și aplicării noilor tehnologii, sunt următoarele:

- structurile rutiere (executate dintr-o îmbrăcăminte bituminoasă peste un suport rigid), pe lângă deosebirile radicale de comportare sub acțiunea traficului și a agenților naturali de exploatare, prezintă o serie de avantaje, care au dus la extinderea aplicării lor, astfel :

- rezistența și durabilitatea structurală a suportului rigid;
- confortul și protecția tehnică conferită de îmbrăcămintea bituminoasă ;
- diminuarea zgomotului la rulare ;
- eliminarea lucrărilor de întreținere a rosturilor ;
- reducerea pătrunderii apei sub dale;
- posibilitatea utilizării unor agregate naturale mai puțin performante la prepararea betonului ;
- posibilitatea realizării unui strat de uzură adaptat la necesitățile din exploatare : drenant, antiderapant, etc.
- creșterea durabilității structurale, ceea ce permite efectuarea unor lucrări de întreținere vizând numai remedierile de suprafață ;
- reducerea costurilor globale, pe ansamblul duratei de exploatare;

- principalul inconvenient al structurilor mixte este apariția degradărilor de tipul fisurilor în îmbrăcămintea bituminoasă, produse prin transmiterea fisurilor din contracție termică și hidraulică din stratul suport, deoarece fisurarea din contracție este o particularitate esențială (din păcate inevitabilă) a materialelor tratate cu lianți hidraulici și puzzolanici care determină comportamentul pe termen scurt, dar și lung al drumurilor cu structuri semirigide și determină nevoile lor de întreținere.

- soluțiile antifisuri au, în marea lor majoritate, un caracter experimental urmărindu-se pe o perioadă mai îndelungată de timp (5...10 ani) comportarea lor comparativă în exploatare.

Aceste soluții nu împiedică definitiv apariția fisurilor, ci încetinesc acest fenomen.

Ele se bazează, în general pe trei principii:

- ameliorarea capacității stratului suport de rulare, de a rezista la transmiterea fisurilor (prin utilizarea, inclusiv a bitumului modificat sau a adaosului de filer) ;

- interpunerea unui obstacol în calea transmiterii fisurilor prin aplicarea unui strat antifisură între suportul rigid și îmbrăcămintea bituminoasă ;

- reducerea solicitărilor exercitate asupra îmbrăcămintei bituminoase prin intervenții asupra caracteristicilor stratului suport rigid (se aplică numai la execuția acestui strat, spre deosebire de celelalte două soluții, care se referă la lucrări de întreținere);

Soluțiile aplicate în țara noastră, cât și pe plan mondial, indică eficiența ridicată în cazul folosirii bitumului modificat, a fibrelor, a geotextilelor și geogriurilor, dar în cazul unei concepții și execuții corecte; astfel încât putem afirma:

- structurile rutiere compozite, de tipul betonului asfaltic prezintă o serie de avantaje, dar și marele dezavantaj al riscului transmiterii rosturilor și fisurilor ;

- apariția fisurilor în îmbrăcămintea bituminoasă aplicată pe un suport rigid, este un fenomen inevitabil; el poate fi încetinit prin aplicarea soluțiilor antifisură; pe baza literaturii de specialitate, în țara noastră, s-au aplicat o serie de soluții antifisuri; se vor urmări și cuantifica rezultatele și în mod cert se va lărgi aria lor de aplicare, în cazul unor rezultate convingătoare, cât și găsirea altor soluții antifisură ;

- îmbrăcămintea bituminoasă aplicată pe stratul antifisură, se poate realiza pe bază de bitum pur, bitum aditivat, bitum modificat, sau din mixturi asfaltice cu adaos de fibre, ținând seama de următoarele recomandări :

- îmbrăcămintea bituminoasă cu bitum modificat, prin adaos de polimeri, conferă mixturilor asfaltice o creștere a rezistenței la fisurare la temperaturi reduse ;
- folosirea bitumului aditivat când adezivitatea bitumului față de agregatele naturale este necorespunzătoare și în special în cazul zonelor reci, umede și umbrite ;
- rețeaua de fibre din masa mixturii conferă o rezistență sporită la fisurare, la deformări permanente, la oboseală, la acțiunea apei, precum și o susceptibilitate mai redusă la îmbătrânire a bitumului.

Realizarea îmbrăcăminților bituminoase antifăgaș nu a ridicat probleme deosebite la alegerea resurselor și la aplicarea tehnologiei, iar rezultatele au evidențiat buna

comportare a acestora și nevoia de a extinde folosirea mixturilor asfaltice antifăgaș pe drumurile cu trafic greu.

Este demn de remarcat faptul că mixturile asfaltice realizate cu var au caracteristici fizico-mecanice superioare mixturilor asfaltice fără adaos de var.

Se impune luarea măsurilor de interzicere a circulației vehiculelor grele în zilele de vară extrem de căduroase și reducerea greutateii pe osie. pentru protecția drumurilor cu îmbrăcămintă bituminoasă.

Proiectarea mixturilor asfaltice antifăgaș să se facă ținând seama de următoarele cerințe minime:

- bitumuri dure (eventual modificate), în dozaj redus;
- schelet mineral cu agregate peste 3 mm, cuprins între 65...70 %;
- conținut redus de părți fine;
- aditivarea bitumului;
- folosirea varului într-un procent de 20...30 % din bitum (sau 1,5...2,0 % din mixtura asfaltică);
- înlocuirea filerului de calcar cu un filer obținut din măcinarea zgurei granulate siderurgice (crește adezivitatea liantului bituminos la agregatele naturale, se îmbunătățesc caracteristicile fizico-mecanice ale mixturii asfaltice și creșterea duratei de serviciu a acestora);
- utilizarea fibrelor de celuloză sau de sticlă (asigură stabilitate la traficul greu și la temperaturi ridicate, conferă mixturi asfaltice excelente proprietăți de rugozitate și aderență);
- folosirea polimerilor la prepararea mixturilor asfaltice duce la o bună susceptibilitate termică a acestora.

Autorul acestei lucrări a conceput și experimentat instrumente pentru îmbunătățirea performanțelor de lucru ale repartizatoarelor-finisoare de mixturi asfaltice, obținând rezultate foarte bune.

Este necesară continuarea lucrărilor cu caracter experimental și prin urmărirea comportării în exploatare a acestora, să se selecteze soluțiile optime și apoi să se definitiveze prescripțiile tehnice.



## BIBLIOGRAFIE

1. ALEXA, I. și BILȚIU, A. Emulsii bituminoase . Editura Mirton, Timișoara, 1998.
2. ARQUIE, G. și MOREL, G. Le compactage. Paris, Edition Eyrolles, 1998.
3. AUTRET, P. și GRAMSAMMER, I.C. Le manege de fatigue du LCPC et l'innovation. In «Revue generale des routes et des aerodromes » nr. 680/1990, p. 13...18.
4. AUTRET, P. La manege de fatigue du Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, In. „Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées”, nr. 155/1988, p. 33...45.
5. BANCEA, C. Studii și cercetări privind posibilitățile de evitare a transmiterii fisurilor în îmbrăcămințile bituminoase. Referat pentru doctorat. Facultatea de Construcții din Timișoara, 1994.
6. BEBIN, J.Y. ș.a. Hede-Tinnteniac, ou la structure semi-rigide nouvelle generation . În „Revue generale des routes et des aerodromes”, nr. 691/1991, p. 111...116.
7. BELC, F. Căi de comunicație terestre. Elemente de proiectare, Timișoara, Editura “Orizonturi universitare” 1999.
8. BELC, F. Contribuții la studiul și realizarea unor structuri rutiere mixte. Teză de doctorat. Universitatea “Politehnică” din Timișoara, 1993.
9. BELC, F. Aspecte privind îmbunătățirea calității straturilor rutiere din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici. În „Al X-lea Congres Național de Drumuri și Poduri”, Iași, 1998, p. 73...81.
10. BELC, F. și LAZIE, I. Considerații privind comportarea în exploatare a structurilor rutiere mixte. În: „A IX –a Conferință Națională de drumuri și poduri”, Constanța, 1994, p. 188...191.
11. BELC, F. Posibilități de prevenire a fisurării îmbrăcăminților structurilor rutiere mixte. În Revista Drumuri și Poduri, nr. 25-26/1995, p. 10...13.
12. BELC, F. și LUCA, Ș. Tendințe actuale în fabricarea emulsiilor bituminoase. În Zilele Academice Timișene, Ediția A VIII-a, Timișoara, 22-23 mai 2003, p. 198...203.
13. BELC, F. și LAZIE, I. Considerații privind comportarea în exploatare a structurilor rutiere mixte. În „A IX-a Conferință Națională de drumuri și poduri”, Constanța, 1994, p. 188...191.
14. BELC, F. și UDVARDY, L. A new puzzolanic binder for stabilising natural aggregates. În “7 International Road Conference in Budapest, 1996, p. 166...169.

15. BELC, F. Considerații privind îmbunătățirea comportării în exploatare a structurilor rutiere mixte. În seminarul: „Îmbrăcăminți rutiere moderne”.
16. BENSE, Pierre. Dangers, causes et remedes de l'ornierage des chaussées. „Revue generale des routes” nr. 759/fevries 1998, pag.45...50.
17. BETOUX, J. și LAINE, M. Les terrassements. Deuxieme partie. Quide pratique de construction routiere, nr.6, Revue Generale des Routes et des Aerodromes, nr. 554/1979.
18. BILȚIU, A. Mixturi asfaltice realizate la cald cu agregate artificiale ușoare. Sesiunea Științifică, I.P. Cluj Napoca, 1978, col. C.VI.
19. BONNOT, J. Remise en etat des chaussées. In „Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées”, nr. 153/1988, p. 13...29.
20. BONNOT, J. Entretien et remise en etat des chaussées a couche de base en grave traitées aux liants hydraulique. În « Revue generale des routes et des aerodromes », nr. 630/1986, p. 67...73.
21. BONNOT, J. Relations entre caracteristiques des granulats, proprietes des melanges et comportement des chaussées. In: « Revue generale des routes et aerodromes », nr. 621/1985, p. 14...19.
22. BONNOT, J. Bilan de la technique clasique des graves ciment. Evolution souhaitable. In: Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, nr. 77/1975, p.55...63.
23. BONNOT, J. La mecanique des chaussées: son evolution, ses preoccupation actuelles. In: Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, nr. 125/1983, p. 37...51.
24. BURNEI, G. Contribuții la introducerea și dezvoltarea tehnologiei de ranforsare a structurilor rutiere existente, cu îmbrăcăminți din beton de ciment. Teză de doctorat, Institutul Politehnic “Traian Vuia”, Timișoara, 1990.
25. CAROFF, G. „Les structures inverses”. În: „Revue generale des routes et des aerodromes.” Nr. 699/1998, p. 22...24.
26. CAROFF, J.J. Resistance en traction et deformabilite des graves-ciment. In: „Bulletin de liaison des laboratoires des pont set chaussées”, nr. 94/1978, p. 84...95.
27. CHABROL, J. La mecanique des chaussées au service de la gestion d'un reseau autoroutier. In: Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, nr. 155/1988, p. 23...32.
28. COQUAND, R. Drumuri. Vol. II, Edituta Tehnică, București, 1968.

29. COLOMBIER, G." Remontee des fissures dans les chaussées. În: „Revue generale des routes et des aerodromes”, nr. 752/1997, p. 23...25.
30. COLOMBIER, G. Geotextiles et technique routiere. Lutte antifissures. In: “Revue generale des routes et des aerodromes “, nr. 679/1990, p. 23...29.
31. COLOMBIER, G. CRAFT, creation automatique de fissures transversales dans les assises des chaussées traitees aux liants hydrauliques. In “Revue generale des routes et des aerodromes”, nr. 669/1989, p. 25...29.
32. CONAN, J. ș.a. Lutte antifissures. Vers une modelisation des systemes antifissures. In: « Revue generale des routes et des aerodromes », nr. 685/1991, p. 22...25.
33. CIOCLOV, D. Mecanica ruperii materialelor. Bucuresti, Editura Academiei, 1977.
34. CORBOEUF, A. Le comportement des chaussees en beton de ciment du reseau SAPRR rapporte a leur duree de service. In: « Revue generale des routes et des aerodromes » , nr. 630/1986, p. 25...28.
35. CORTE, J.F. Presentasion du nouveau guide technique. Realisation des remblais et des couches de forme. In: Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussees, nr. 182/1992, p. 33...48.
36. COSTESCU, I. și BELC, F. Influența calității agregatelor asupra caracteristicilor materialelor stabilizate cu ciment, În: “Îmbrăcămînți rutiere moderne, Cluj Napoca, 1995, p.180...183.
37. COSTESCU, I. Observații asupra activității hidraulice a lianților puzzolanici. În: Buletinul științific al Universității Politehnica Timișoara, 1994, p. 32...37.
38. COSTESCU, I. Contribuții la dezvoltarea tehnologiilor de construcție a straturilor rutiere cu materiale energoneintensive. Teză de doctorat, Institutul Politehnic Traian Vuia Timișoara, 1985.
39. COSTESCU, I. Și BELC, F. Drumuri urbane. Întreținerea și exploatarea drumurilor, vol.I. și II. Litografia Universității Tehnice, Timișoara, 1995.
40. COSTESCU, I. și BELC, F. Agregate naturale stabilizate în tehnica rutieră, Editura “Orizonturi Universitare” 1998.
41. COSTESCU, I. Și BELC, F. Observații privind dimensionarea structurilor rutiere mixte. În “Zilele Academice Timișene”, 1993. P. 95...101.
42. DAC CHI, N. Les materiaux traitees aux liants hydraulique. Ecole Nationale des Ponts et Chaussees. Mastere Infrastructure des Transports, 1991-1992.

43. DAC CHI, N. Nouvelles methodes d'essais en laboratoire des graves traitees aux liants hydraulique pour assises de chaussees. In: „Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussees”, nr. 115/1981, p. 33...48.
44. DAUZALZ, M. și RAMPAL, A. Mecanismes de fissuration de surface des couches de roulement. In: Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussees, nr. 154/1988, p. 57...72.
45. DELANNE, Y. Effets de l'uni les qualities d'usage des chaussees. Rapport general du theme de recherche CH 07. Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussees, 1995.
46. DELMER, PH. Le fluage des geotextiles. In : Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussees, nr. 153/1988, p. 81...88.
47. DICU, M. Anticiparea comportării structurilor rutiere prin studii complexe analizate pe model la scară redusă. În “Al X-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, vol. I, Iași, 1998, p. 142...143.
48. DICU, M. Apariția și propagarea fisurilor în fundații din beton de ciment rutier, la solicitări din trafic. În „Zilele academice timișene, 1993.
49. DINTR, T. L. Etude de traitements mixtes par l'essai de retrait thermique empeche. Essais de fissuration. In. „Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussees”, nr. 78/1975, p. 103...116.
50. DOROBANȚU, S. ș.a. Drumuri. Calcul și proiectare. Editura Tehnică, București, 1980.
51. FAURE, B. Lutte antifissures. Systemes antifissures, l'execution de revetements routier. In: „Revue generale des routes et des aerodromes”, nr. 685/1991, p. 33...35
52. FEODOROV, V. Utilizarea materialelor geosintetice la execuția și întreținerea drumurilor din România. În aIX-a Conferință Națională de Drumuri și Poduri, Neptun, 1994.
53. GILOPPE, D. ș.a. Les systemes limitant la remontees de fissures transversales de retrait hydraulique. In “Revue generale de routes et des aerodromes”, nr.752/1997, p. 18...22.
54. GOACOLOU, H. Flexiplast: six ans d'experience et un bilan positif. În: „Revue generale des routes et des aerodromes”, nr. 752/1997, p. 35...39.
55. GODARD, E. Stabicol, un material composite pour les routes de demain. In “Revue generale de routes et des aerodromes nr. 691/1991, p. 117...122.
56. GROZ, P.C. ș.a. Lutte antifissures. Et si nous parlions fissure. In: „Revue generale des routes et des aerodromes”, nr. 685/1991, p. 15...21

57. ILIESCU, M. Geosintetice. Editura Dacia, Cluj Napoca, 1994.
58. IRIMIA, V. MĂRGĂRITESCU, D. LUCA, Ș. „Soluții pentru repararea drumurilor pe timp de iarnă. A X-a Conferință Națională de drumuri și poduri, Constanța, 6 - 7 oct. 1994, p.423...425.
59. JERCAN, S. Suprastructura și întreținerea drumurilor. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
60. JOLIVET, Y. ș.a. Ornieraje des enrobes bitumineux influence de la temperature bille et anneau et de la viscozite des bitumes.
61. KELLNER, L. ș.a. Geosinteticele în construcții. Vol. I, Editura Inedit, București, 1994.
62. LEFORT, M. La prefissuration, une technique antifissure pour limiter les consequences du retrait des assises hydraulique. În: „Revue generale des routes et des aerodromes”, nr.752/1997, p. 26...28.
63. LUCA, Ș. Straturi rutiere din materiale stabilizate. Referat pentru doctorat, Facultatea de Construcții și Arhitectură Timișoara, 1999.
64. LUCA, Ș. ș.a. Studiul privind starea tehnică a drumurilor gorjene. Al XI-lea Congres Național de Drumuri și Poduri din România, Timișoara 14...14 sept. 2002.
65. LUCA, Ș. ȘERBAN, C. BELC, F. Tehnologii rutiere antifisuri experimentate în cadrul DRDP Craiova. În „Zilele Academice Timișene”, Ediția aVI-a, Timișoara, 27-28 mai 1999. p. 103...107.
66. LUCACI, Gh. și BAROS, V. Soluții tehnice aplicate la reabilitarea drumurilor din România. Al X-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, Iași, 1998, vol. II, p. 110...115.
67. LUCACI, G. Contribuții la studiul și realizarea unor mixturi asfaltice și îmbrăcămini bituminoase cu consum redus de energie. Teză de doctorat, Institutul Politehnic “Traian Vuia”, Timișoara, 1986.
68. LUCACI, G. Etude de formulation d’un materiau routier composite a haute performance. These de Mastere. Ecole Nationale des Ponts et Chaussees, Paris, 1992.
69. LUCACI, Gh. și NICOARĂ, L. Reabilitarea drumurilor din pământ și a drumurilor pietruite. În “ Zilele Academice Timișene”, Vol.I, Editura Mirton, Timișoara, 1999, p.21....31.
70. LUCACI, G. Strategia Administrației Naționale a Drumurilor în domeniul modernizării și dezvoltării infrastructurii rutiere în România. În Zilele Academice Timișene, 2001.

71. LUCACI, G. Defecțiunile îmbrăcăminților rutiere moderne. Definiere, cauze, metode de remediere. Editura Solness, Timișoara, 2001.
72. MALIȚA, I. Conceptul de reabilitare a drumurilor. În Zilele Academice Timișene, 2001.
73. MARCHAND, J.P. Quand la prefissuration franchit les frontieres. În „Revue generale des routes et des aerodromes”, nr. 752/1997, p.33...34.
74. MARCHAND, J.P. Trois annees de prefissuration CRAFT. In „Revue generale des routes et des aerodromes”, nr. 680/1990, p. 79...82
75. MARCHAND, J.P. Prefissuration et remotee des fissures. In: « Revue generale des routes et des aerodromes », nr. 702/1992, p. 110...111.
76. MOURATIDIS, A. Comportement des chaussees semi-rigides fissures. In: « Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussees », nr. 152/1988, p. 29...36.
77. NICOARĂ, L. Apariția fâgașelor se poate limita. Al. X-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, vol.II, Iași, 1998, p.82...88.
78. NICOARĂ, L. Defecțiunile îmbrăcăminților rutiere. Tehnologii pentru prevenirea și remedierea lor. Teză de doctorat, Institutul Politehnic Traian Vuia, Timișoara, 1974.
79. NICOARĂ, L. ș.a. În memoria drumarilor. Editura Inedit, București, 1998.
80. NICOARĂ, L. ș.a. Tehnologii moderne pentru construcția, întreținerea și ranforsarea sistemelor rutiere rigide. C.N.I.T., Conferința a VIII-a de betoane, vol.II, Cluj Napoca, 1997.
81. NICOARĂ, L. Preocupări pentru o nouă concepție privind clasificarea și definirea structurilor rutiere. A7-a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri, vol.I, Pitești, 1986, p. 24...29.
82. NICOARĂ, L. ș.a. Tehnologii rutiere neconvenționale. Litografia Institutului Politehnic “Traian Vuia” din Timișoara, 1988.
83. NICOARĂ, L. Terminologie rutieră. În “Zilele Academice Timișene”, vol. I. Editura Mirton, Timișoara, 1997, p. 55...61.
84. NICOARĂ, L. LUCACI, Gh, COSTESCU, I, BELC, F. Construcția drumurilor,, București, Editura Tehnică, 2000
85. NICOARĂ, L. și BILȚIU, A. Îmbrăcăminți rutiere moderne. Editura Tehnică, București, 1983.
86. NICOARĂ, L. ș.a. îndrumătorul laboratorului de drumuri, București, Editura Trefla, 1992.

87. NICOARĂ, L. ș.a. *Întreținerea și expoatarea drumurilor*. Editura Tehnică. București. 1979.
88. NICOARĂ, L. *Fisurarea îmbrăcăminților bituminoase*. În „Zilele Academice Timișene”, Vol. III, Editura Mirton, Timișoara, 1997, p. 47...53.
89. NICOARĂ, L., BILȚIU, A., și IONESCU, N. *Routes economiques. Routes a faible circulation. Rapport național la tema VIII, al XV-lea Congres Mondial de Drumuri, Mexico, 1975*.
90. NICOARĂ, L. și LUCACI, G. *Trafic și autostrăzi*. Litografia Institutului Politehnic Traian Vuia, Timișoara, 1988.
91. NICOLESCU, I. *Consolidarea și stabilizarea pământurilor*. București, Editura Ceres, 1981.
92. PAUTE, L. *Les ecrans de rive en rehabilitation de routes existantes*. In: „Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussees” , nr. 167/1990, p. 96...107.
93. PATIER, M. *Cinq anes des prefissuration chez SACER*. In : « Revue generale des routes et des aerodromes », nr. 702/1992, p. 112...113.
94. PEYRONNE, C. *Eforturi orizontale în straturile superioare ale structurilor rutiere*. In : “Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussees”, nr. 101/1978.
95. PEYRONNE, C. și CAROFF, G. *Dimensionnement des chaussees*, Paris, Presses de l’Ecole Nationale des Ponts et des Chaussees, 1991.
96. POPESCU, P. PRODESCU, M. și LUCA, Ș. *Tehnologii noi și soluții moderne implementate în cadrul SC ANCORAD OLTENIA SA, Craiova*. Al XI-lea Congres Național de Drumuri și Poduri din România, 11...14 sept, 2002, Timișoara.
97. POPESCU, N și FODOR. G. *Structuri rutiere suple și semirigide. Dimensionare și alcatuire*. Compania INEDIT.
98. REQUIRAND, R. ;ș.a. *Enduits superficiels sur geotextile*. In: « Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussees, nr. 166/1990, p. 61...72.
99. ROMANESCU, C. ș.a. *Influența comportării vâsco-elastice a lianților bituminoși ca atare și modificați asupra mixturilor asfaltice în regim dinamic*. Al X-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, Iași, 1998, vol II, p. 382-389.
100. RUBIN, M. *Cours de routes. Controles de qualite*. Paris, L’ Ecole National de Ponts et Chaussees, 1987.
101. SAINTON, A. *Procede Flexocim de double traitement a froid des materiaux au ciment et a l’emulsion de bitume*. In: Revue general des routes et des aerodromes, nr.702/1992, p. 75...77.

102. SAUTEREY. ș.a Les enrobes bitumineux, TOME I, et. II.
103. SERFASS, J.P. ș.a. „Revetement et complexes antifissures a base d'enrobes avec fibres. În. Revue generale des routes et des aerodromes” , nr.752/1997, p. 29...32.
104. SPLILLEMAECKER, P.M. și PUIG, I. Lutte antifissures. Dispositif antiremontee de fissures. In: „revue generale des routes et des aerodromes”, nr. 685/1991, p. 38...41.
105. STANCIU, M. Cerințe moderne pentru dimensionarea sistemelor rutiere. Revista Drumuri și Poduri, nr. 47/1999, p. 33...34.
106. TĂUTU, N. LUNGU, S. OLARIU, Gh. Mixturi bituminoase performante preparate cu un nou tip de filer.
107. THIRRIOT, B. Lutte antifissures. Filaflex sur chaussees en beton. In: „Revue generale des routes et des aerodromes”, nr. 685/1991, p. 36...37.
108. VAURITIN, I. și RAY, N. Recommandation sur les chaussees semi-rigide. În: Revue generale des routes et des aerodromes, nr. 632/1986, p. 86...95.
109. VECOVEN, I. Machine d'essai des membranes antifissures pour chaussees semi-rigides. In: „Revue generale des routes et des aerodromes”, nr. 680/1990, p. 19...21.
110. VINTILĂ, B. Ș.a Soluții de prevenire a transmiterii fisurilor în îmbrăcămințile rutiere. Al X-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, Iași, 1998, vol. II, p. 273...292.
111. WITIER, P. „Dosage du polymere dans un bitume par Infra Rouge” Mode aperature LCPC.
112. VIVIER, M. Lutte antifissures. Le Flexiplast. In: Revue generale des routes et des aerodromes, nr. 685/1991,p. 29...32.
113. VIVIER, M. Flexiplast, un nouveau systeme antifissures. In: Revue generale des routes et des aerodromes, nr. 680/1990, p. 79...82.
114. VIVIER, M. Gripfibre, un autre facon de resoudre les problemes de fissuration. In: „Revue generale des routes et des aerodromes, nr. 702/1992, p. 54...55.
115. \*\*\* Fissuration de retrait de chaussees a assises traitees aux liants hydrauliques. In: „Bulletin de liaison des laboratoires des pont set chaussees”, nr. 156/1988, p. 37...66 și nr.157/1988, p. 38...59.



116. \*\*\* Realizarea de îmbrăcămînți rutiere bituminoase cu rezistențe sporite la solicitările din exploatare. Contract de cercetare-dezvoltare. INCERTRANS București, 1996-1997.
- 117.\*\*\*Lucrări de drumuri. Colecția Standardelor, normativelor, instrucțiunilor și legilor în vigoare.
118. \*\*\* Convolutele simpozioanelor "Zilele Academice Timișene" Editura Mirton, Timișoara, 1995,1997, 1999. 2000, 2001, 2002, 2003, 2004.
119. \*\*\* Convolutul Congresului Național de Drumuri și Poduri. Iași, 1998.
120. \*\*\* Colecția Revistei "Drumuri și Poduri" nr. 1...73
121. \*\*\* Studii și cercetări privind realizarea de noi tehnologii rutiere antifisuri. Contract nr. 112/1997, încheiat între Facultatea de Construcții din Timișoara și CESTRIN București.
122. \*\*\* Note d'information: „Technique pour la remontee des fissures a la surface des chaussees semi-rigide”, nr. 57/1990. SETRA Paris, Franta.
123. \*\*\* Note d'information: „Technique pour la remontee des fissures a la surface des chaussees semi-rigide”, nr. 15/1985. SETRA Paris, Franta.
124. \*\*\* Note d'information: „Technique pour la remontee des fissures a la surface des chaussees semi-rigide”, nr. 55/1990. SETRA Paris, Franta.
125. \*\*\* Rapport general, question 2 „Construction et entretien des chaussees”, 14 Congres Mondial de la ROUTE, Sydney, 1983.
126. \*\*\* Rapport general, question 2 „Construction et entretien des chaussees”, 15 Congres Mondial de la ROUTE, Bruxelles, 1987.
127. \*\*\* Rapport general, question 2 „Construction et entretien des chaussees”, 16 Congres Mondial de la ROUTE, Marrakech, 1991.
128. \*\*\* Rapport general, question 2 „Construction et entretien des chaussees”, 17 Congres Mondial de la ROUTE, Montreal, 1995.