

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA"  
TIMISOARA  
FACULTATEA DE CONSTRUCTII

Ing. AURICA HORTENSIA BILTEU-DĂNCUȘ

CONTRIBUTII LA STUDIAREA SI REALIZAREA UNOR  
TIPURI DE MIXTURI ASFALTICE EFICIENTE, PENTRU  
IMBRACĂMINȚI RUTIERE BITUMINOASE.

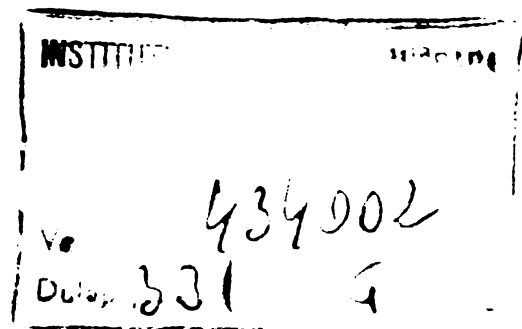
TEZA DE DOCTORAT

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

Conducător științific

Prof. dr. ing. LAURENȚIU NICOARA

Timișoara, 1982



" Cercetarea științifică va fi organizată în strînsă concordanță cu cerințele producției materiale și activității sociale, asigurîndu-se dezvoltarea corespunzătoare atât a cercetării aplicative, cît și a cercetării fundamentale de perspectivă. Ea trebuie să premeargă obiectivele și necesitățile dezvoltării societății prevăzute în programul partidului, în planurile cincinale și în prognozele pe termen lung, să acționeze pentru soluționarea din timp a acestora dînd o perspectivă largă dezvoltării societății socialiste,"

NICOLAE CEAUSESCU

(Din Programul Partidului Comunist Român de făurire a societății socialiste multilateral dezvoltate și înaintare a României spre comunism. Editura Politică 1979).

## C U P R I N S

	Pag.
Prefața	
Capitolul 1 <u>DIVERSIFICAREA MIXTURILOR ASFALTICE.</u> <u>TENDINTE ACTUALE ÎN TERENICA RUTIERA.</u>	1
1.1. Considerații generale.	1
1.2. Tendințe actuale în legătură cu evoluția și diversificarea mixturilor asfaltice.	2
1.3. Unele aspecte privind studiul deformațiilor tip fâgaș ale mixturilor asfaltice.	6
1.4. Concluzii în domeniul diversificării mixturilor asfaltice.	10
Capitolul 2 <u>CONTRIBUȚII ADUSE LA ÎMBUNĂTĂȚIREA PROIECTĂRII MIXTURILOR ASFALTICE</u>	13
2.1. Contribuții aduse la studierea agregatelor minerale care intră în compoziția mixturilor asfaltice	13
2.2. Caracteristicile bitumului	18
2.3. Condiții de calitate pentru realizarea mixturilor asfaltice	21
2.4. Contribuții aduse la proiectarea mixturilor asfaltice prin folosirea programelor de calcul.	24
2.4.1. Modelul matematic folosit în programul OPTIMIX	25
2.4.1.1. Rezolvarea problemei pe calculator	27
2.4.1.2. Concluzii privind programul OPTIMIX	30
2.4.2. Proiectarea mixturilor asfaltice prin utilizarea aplicației informatice PROMIX	34
2.4.2.1. Metode și algoritmi de calcul	35
2.5. Contribuții originale aduse la îmbunătățirea proiectării mixturilor asfaltice.	41

Capitolul 3. <u>CONTRIBUTII LA STUDIAREA SI REALIZAREA</u> <u>MIXTURILOR ASFALTICE PAIN FOLOSIREA NI-</u> <u>SIPURILOR BITUMINOASE DIN JUDETUL BIHOR,</u> <u>DERNA-TATARUS.</u>	43
3.1. Generalități	43
3.2. Contribuții aduse la elaborarea dozajelor pentru mixturile asfaltice realizate cu nisip bituminos.	45
3.3. Anrobate bituminoase pentru îmbrăcămînți asfal- tice ușoare realizate cu nisip bituminos	49
3.3.1. Studii privind anrobatele bituminoase realizate cu pietriș concasat și nisip bituminos	50
3.3.1.1. Caracteristicile fizico-mecanice ale anroba- telor bituminoase și comportarea lor în exploa- tare.	52
3.3.2. Anrobate bituminoase realizate cu split 3... 25 mm și nisip bituminos.	55
3.3.3. Concluzii privind anrobatele bituminoase.	57
3.4. Mortare asfaltice realizate cu nisip bituminos.	59
3.5. Studii pentru realizarea stratului de uzură din beton asfaltic folosind ca liant, bitumul din nisipul bituminos.	
3.6. Betoane asfaltice deschise pentru strat de legă- tură realizate cu nisip bituminos	65
3.7. Concluzii finale și contribuții originale aduse la studierea mixturilor asfaltice realizate cu nisip bituminos.	66
Cap.4. <u>MIXTURI ASFALTICE EXECUATE CU GRANULIT</u>	68
4.1. Posibilitatea folosirii granulitului la produ- cerea mixturilor asfaltice.	68
4.1.1. Caracteristicile granulitului.	72
4.1.2. Granulitul folosit la experimentare	73
4.2. Caracteristicile bitumului folosit la experimen- tare.	79
4.3. Caracteristicile nisipului și a fillerului	80
4.4. Anrobate bituminoase cu granulit	81
4.5. Beton asfaltic cu granulit pentru strat de le- gătură.	83



	pag.
4.6. Beton asfaltic cu granulit pentru strat de uzură.	85
4.7. Sector experimental din îmbrăcăminte bituminoasă realizat prin folosirea betoanelor asfaltice cu granulit.	91
4.7.1. Unele aspecte privind rugozitatea sectorului experimental	92
4.8. Mixturi asfaltice cu granulit pentru realizarea îmbrăcăminților bituminoase pe poduri.	94
4.9. Observații privind mixturile asfaltice realizate cu granulit.	97
4.9.1. Acțiunea apei asupra mixturilor asfaltice realizate cu granulit	100
4.9.2. Fenomenul de autoreparare	101
4.9.3. Densitatea aparentă	104
4.10. Studiul comportării la oboseală a mixturilor asfaltice realizate cu granulit.	105
4.10.1. Incercarea la oboseală cu aparatul tip Guericke.	
4.10.2. Modulul de rigiditate al mixturilor asfaltice realizate cu granulit	119
4.10.3. Considerații privind eficiența economică a mixturilor asfaltice realizate cu granulit	129
4.10.4. Concluzii și contribuții originale aduse la studierea și realizarea mixturilor asfaltice cu granulit	133
<b>Capitolul 5. <u>STUDII SI CONTRIBUTII ADUSE LA REALIZAREA MIXTURILOR ASFALTICE CU UN CONȚINUT REDUS DE BITUM SI FILER</u></b>	<b>135</b>
5.1. Situația existentă în tehnica rutieră	135
5.2. Studii și cercetări de laborator pentru realizarea betoanelor asfaltice pentru stratul de uzură și de legătură	135
5.2.1. Sectoare experimentale	142
5.2.2. Modulul de rigiditate al mixturilor asfaltice cu conținut redus de bitum și filer	147

	pag.
5.2.3. Comportarea la oboseală	155
5.3. Eficiența economică .	159
5.4. Concluzii și contribuții aduse la realizarea mixturilor asfaltice cu un conținut redus de bitum și filer	160
<b>Capitolul 6. <u>REUTILIZAREA ÎMBRĂCĂMIȘILOR BITUMINOASE.</u></b>	<b>162</b>
6.1. Generalități	162
6.2. Contribuții originale privind posibilitatea reutilizării îmbrăcămișilor bituminoase vâlurite .	164
6.2.1. Studii privind apariția și evoluția vâluririlor.	164
6.2.1.1. Factorii care conduc la obținerea unui bitum cu vîscozitate mică, în timpul fabricării mixturilor asfaltice cu nisip bituminos.	173
6.2.2. Procedee de reutilizare a mixturilor asfaltice recuperate din îmbrăcămișile bituminoase vâlurite.	174
6.2.2.1. Rezultatele obținute pe sectoarele experimentale .	179
6.3. Reutilizarea îmbrăcămișilor bituminoase uzate.	181
6.4. Concluzii și eficiența economică.	183
<b>CONCLUZII GENERALE</b>	<b>185</b>
<b>SINTEZA PRINCIPALELOR CONTRIBUTII ORIGINALE ALE TEZEI DE DOCTORAT; CONCLUZII GENERALE SI MODUL DE VALORIFICARE A REZULTATELOR OBTINUTE.</b>	<b>193</b>
<b>BIBLIOGRAFIE.</b>	<b>201</b>

## PREFATA

Programul directivă de cercetare științifică, dezvoltare tehnologică și introducerea progresului tehnic în țara noastră pentru perioada 1981-1990 și direcțiile principale până în anul 2000, aprobat de Congresul al XII-lea al Partidului Comunist Român, deschide largi perspective pentru cercetare în toate domeniile vieții economice și sociale.

Realizarea acestui imperativ major al cercetării impune abordarea cu curaj a unor teme care să satisfacă cerințele mereu în creștere ale economiei noastre naționale.

Alături de cercetătorii din celelalte domenii, celor ce își desfășoară activitatea în sectorul rutier le revin sarcini de mare importanță pentru soluționarea problemelor deosebit de dificile pe care le creează rețeaua de drumuri a țării noastre, datorită creșterii continue a traficului rutier și mai ales a celui greu.

În țara noastră peste 93,0 % din drumurile <sup>moderne</sup> sunt realizate cu îmbrăcămînți bituminoase, care asigură astfel posibilitatea desfășurării în condiții bune a traficului, a schimbului de mărfuri și a transportului de călători. În aceste condiții sînt necesare cercetări privind calitatea agregatelor și a liantului bituminos utilizate la producerea mixturilor asfaltice, concomitent cu studii sistematice privind posibilitatea proiectării și realizării unor noi tipuri de mixturi asfaltice care să fie utilizate cît mai eficient în tehnica rutieră.

Cercetările efectuate în ultimii zece ani atît în țară cît și în străinătate au condus la concepții noi în domeniul îmbrăcămînților rutiere bituminoase, făcînd posibilă proiectarea și aplicarea unor soluții moderne, care să vizeze obținerea unor mixturi asfaltice cu o gamă largă de agregate minerale și cu economisirea bitumului, în actuala criză energetică, ce se caracterizează prin cerințe sporite de petrol și bitum pentru drumuri.

În contextul acestor preocupări, prin tematica abordată se înscrie și teza de doctorat, care caută să aducă unele contribuții noi, în domeniul studierii și diversificării

mixturilor asfaltice, utilizate în mod frecvent în tehnica noastră rutieră, avînd la bază cele două deziderate moderne, calitatea și eficiența, trăsături definitorii ale cercetării în actualul cincinal.

Teza de doctorat cuprinde următoarele capitole mai importante:

Cap.1. Diversificarea mixturilor asfaltice. Tendințe actuale în tehnica rutieră.

Cap.2. Contribuții aduse la îmbunătățirea proiectării mixturilor asfaltice.

Cap.3. Contribuții la studierea și realizarea mixturilor asfaltice prin folosirea nisipurilor bituminoase din județul Bihor, bazinul Derna-Tătăruș.

Cap.4. Contribuții aduse la realizarea mixturilor asfaltice cu grafulit.

Cap.5. Studii și contribuții aduse la realizarea mixturilor asfaltice cu un conținut redus de bitum și filer.

Cap.6. Reutilizarea îmbrăcăminților bituminoase.

În partea finală autoarea prezintă sinteza principalelor contribuții originale ale tezei, concluziile și modul de valorificare al rezultatelor cercetării.

x

x

x

Autoarea ține să-și exprime profunda recunoștință și mulțumire celor care au ajutat-o la elaborarea tezei de doctorat, Profesorului dr.ing.LAURENTIU NICOARA, eminent conducător științific, care i-a călăuzit cu înaltă competență și exigență drumul în activitatea de studiu și cercetare, pentru sprijinul continuu de-a lungul anilor de lucru, pentru liniile directe inspirate de conducătorul școlii timișorene de drumuri, pentru sfaturile și îndemnul prețios din momentele dificile, pentru pasiunea pe care mi-a insuflat-o în introducerea noului în sectorul de drumuri.

De asemenea mulțumesc pentru ajutorul permanent acordat de Direcția drumuri și poduri Timișoara, de tov.director ing.Laurențiu Stelea.

Aduc calde mulțumiri colectivului laboratorului central al Direcției drumuri și poduri Timișoara pentru sprijinul acordat în efectuarea multiplelor experimentări necesare tezei de doctorat.

## Capitolul 1.

### DIVERSIFICAREA MIXTURILOR ASFALTICE, TENDINTE ACTUALE IN TEHNICA RUTIERA

#### 1.1. Considerații generale.

Îmbrăcămințile rutiere bituminoase realizate din mixturi asfaltice sînt folosite pe scară foarte largă pe plan mondial atît pentru modernizarea, cît și pentru întreținerea drumurilor existente, ceea ce a condus în final ca în unele țări peste 80 % din drumurile principale să aibă în alcătuirea lor astfel de îmbrăcăminți.

În R.S.România peste 93,0 % din drumurile noastre <sup>naționale</sup> au îmbrăcăminți bituminoase /126/ /177/ /179/ /180/, în timp ce în Franța de exemplu la finele anului 1980 situația statistică arată că 98,0 % din rețeaua de drumuri este acoperită cu îmbrăcăminți bituminoase. /10/ /69/ /84/ /87/ /137/.

Specialiștii din acest domeniu /2/ /12/ /76/ /85/ /173/ /177/ /186/ /277/ /286/, consideră că mixturile asfaltice, de diferite tipuri, ale căror compoziții au fost elaborate pe baza studiilor și experimentărilor de laborator, caracterizate prin doze optime de liant și agregate, executate după tehnologii specifice moderne, pot satisface exigențele sporite ale traficului în continuă creștere, pot rezista condițiilor climatice, răspunzînd astfel dezideratului major al utilizatorilor, de a asigura circulația în condiții sporite de siguranță și confort.

Al XVI-lea Congres mondial de drumuri, care și-a desfășurat lucrările între 16 - 21 septembrie 1979 la Viena a reliefat direcțiile mai importante spre care se îndreaptă eforturile cercetărilor, în scopul obținerii unor parameetri superiori în cazul sistemelor rutiere nerigide, care au în componența lor straturi din mixturi asfaltice. /288/ /289/. Se evidențiază progresele, evoluția concepțiilor și a tehnologiilor între cele două congrese, Congresul al XV-lea de la Mexic și al XVI-lea de la Viena, în ceea ce privește proiectarea și dimensionarea sis-

temelor rutiere, economia de energie, lianți bituminoși, carburanți, diversificarea gamei mixturilor asfaltice, folosirea surselor locale, a deșeurilor și reutilizarea mixturilor asfaltice.

1.2. Tendințe actuale în legătură cu evoluția și diversificarea mixturilor asfaltice

Urmărind sinteza rezultatelor prezentate de Comitetul tehnic al drumurilor nerigide (suple), se vor trata câteva aspecte legate de tipurile de mixturi asfaltice mai frecvent folosite în prezent. /289/.

Un rol preponderent în majoritatea țărilor revine be-toanelor asfaltice folosite atât în stratul de uzură, cât și în cel de legătură.

Pentru stratul de uzură există o largă gamă de betoane care pot fi clasificate astfel:

- betoane asfaltice cu granulozitate fină, caracterizate prin dimensiunea maximă a granulei de 10...14 mm ;
- betoane asfaltice cu granulozitate mijlocie, caracterizate prin dimensiunea maximă a granulei de 12...20 mm ;
- betoane asfaltice rugoase, caracterizate printr-un schelet mineral foarte puternic, recomandate mai ales pentru autostrăzi și drumuri pe care trebuie să se asigure o rugozitate sporită.

Pentru realizarea stratului de legătură se folosesc betoanele asfaltice cu granulozitate grosieră, cu dimensiunea maximă a granulei de 30 mm, cu conținut de agregate concasate, /289/ un ridicat

Compozițiile medii ale acestora sînt cuprinse în tabelul 1.1.

Tabel 1.1.

Caracteristici și compoziții ale betoanelor asfaltice.

Granulozitate	Dimensiunea maximă a granulei în mm	Agregate concasate în %	Nisip %	Filer %	Bitum %
fină	10...14	35...50	45...60	6...10	5...7
mijlocie	12...20	50...65	30...45	5... 8	4...7
rugoasă	10...16	60...70	25...35 (concasat)	4... 7	5...5,5
grosieră	15...30	65...80	15...30	2... 6	3...5



Betoanele asfaltice executate la cald folosite în stratul de uzură se caracterizează prin compoziții foarte bine studiate și care diferă de la o țară la alta, după cum se poate urmări în tabelul 1.2.

Tabel 1.2

Betoane asfaltice pentru strat de uzură

Tara	Dimens. max. a granu- lei mm	Agre - gate conca- sate %	Ni- sip %	Filer %	Bitum %	Volum de go- luri %	Com- pac- tita- te %
Belgia	12...22	30...50	natu- ral sau de con- ca- saj	6,5...13,5	6,0...9,0	-	-
Canada	16	30...65	de con- ca- saj	8,0	-	2...4	98,0
Finlanda	8...25	35...75	natu- ral	6,0...12	-	-	-
Franța	10...14	50...70	con- ca- saj	6,0...9	5...6	3...8	95,0
Italia	16	60...75	con- ca- saj 50%	6,0...11	4...7	3...6	95,0
Olanda	16	50...62	natu- ral sau de con- ca- saj	8,0	-	4	98,0
Elveția	6...25	20...72	de con- ca- saj	3,0...11	4,5...7,0	3...6	98,0
România	8...16	40...60	saj	8,0...14	6,5...7,5	5	98,0

Tot pentru stratul de uzură se utilizează pe scară largă în RFG asfaltul turnat, a cărui compoziție medie este următoarea:

- agregate concasate 2...8 mm 40...55 %
- nisip natural și de concasaj rest pînă la 100 %
- filer 20...30 %

La fabricarea asfaltului turnat se folosește bitumul dur cu penetrația 45 zecimi de mm la 25°C, în proporție de 6,8...8,8 %, din care cel puțin 20,0 % este alcătuit din bitum de Trinidad.

Alături de betoanele asfaltice și asfaltul turnat, considerate mixturi asfaltice clasice se constată apariția unor mixturi asfaltice considerate netradiționale de tipul:

- mixturi asfaltice colorate cu diferiți pigmenți;
- mixturi asfaltice realizate din bitum cu polimeri;
- mixturi asfaltice cu rășini termoplastice;
- mixturi asfaltice cu bitum-sulf;

- mixturi asfaltice deschise, caracterizate printr-un volum ridicat de goluri și anume între 15...25 %. Datorită calităților drenante și antiderapante acestea se folosesc în grosime de 2,5 cm pentru realizarea unor straturi de uzură pe drumuri cu circulație rapidă, cu precizarea că ele sînt așternute pe straturi suport impermeabile, putînd astfel rezista traficului greu.

Pentru alcătuirea celor mai adecvate compoziții ale mixturilor asfaltice trebuie să se aleagă astfel componenții de bază: agregate, filer și bitum, încît să corespundă factorilor de climă, trafic și stratului bituminos în care urmează să se folosească mixtura asfaltică respectivă.

Agregatele minerale /26/ /69/ /177/ /283/ trebuie să fie concasate, admitîndu-se totuși o anumită proporție de nisip natural pentru îmbunătățirea granulozității și a lucrabilității. Scheletul mineral este constituit în cea mai mare măsură din agregate concasate, care trebuie să provină din roci dure, cu rezistență mare la uzură, recomandîndu-se ca valori bune pentru această încercare, o rezistență la uzură Los Angeles cuprinsă între 20...25 %.

În privința nisipurilor se folosesc în general nisipurile de concasaj, sau amestecurile de nisip natural cu nisip de concasaj. Rezultatele cercetărilor dintr-un mare număr de țări arată că nisipul natural trebuie folosit în cantități mici, pentru a asigura lucrabilitatea la punerea în operă.

În legătură cu scheletul mineral al mixturilor asfaltice se constată tendința de creștere a agregatelor cu dimensiunea granulei peste 2 mm, în scopul măririi stabilității și rezistenței la deformații. Alături de curbele granulometrice continui se folosesc și curbele granulometrice discontinui, caracterizate prin lipsa unei fracțiuni, de exemplu 2...4 mm, sau 4... 6 mm.

Filerul folosit este în general filerul de calcar. În legătură cu aprecierea calității sale, pe lîngă finețea de



măcinare, se mai urmărește densitatea în toluen sau benzen, hidrofilia lui, volumul de goluri, etc.

Un rol important se acordă raportului fier-bitum, care variază în funcție de țară în următoarele limite:

$1,5 \leq F/B \leq 2,5$	Italia
$1,1 \leq F/B \leq 1,4$	Spania
$1,5 \leq F/B \leq 2,0$	Elveția
$1,0 \leq F/B \leq 1,4$	Franța
$1,0 \leq F/B \leq 2,0$	URSS

Se constată tendința creșterii acestui raport peste 1,0 pentru a mări stabilitatea mixturii asfaltice și rezistența ei la formarea și evoluția fâgașelor.

Cercetările efectuate /196/ /289/ pun în evidență faptul că fâgașele apar în perioada zilelor celor mai călduroase ale anului și că în consecință compoziția mixturilor asfaltice trebuie astfel alcătuită, încât să suporte fără deformații temperaturile ridicate ale zilelor calde, dar este necesar concomitent, să se asigure și o durată de exploatare cât mai mare, mixturile asfaltice prea rigide putînd să se fisureze mai rapid, datorită fenomenului de oboseală și contracție termică.

Bitumurile folosite în majoritatea țărilor sînt bitumuri cu penetrația la 25°C, cuprinsă între 40 și 100, în funcție de condițiile climatice, în care sînt exploatate straturile bituminoase. Din acest punct de vedere în zonele cu veri călduroase se vor utiliza bitumurile mai dure, în timp ce pentru zonele din nord, cu mai puține zile calde se preferă bitumurile mai moi, cu penetrații spre limita superioară. Tendințele actuale constau în folosirea bitumurilor mai dure, compatibile cu condițiile de climă, cu condiția că se va asigura și lucrabilitatea în timpul punerii în operă.

Pe lîngă bitumurile folosite în mod curent se constată tendința studierii și a altor tipuri de lianți și anume bitum-cauciuc, bitum-polimeri, bitum-sulf, etc. și realizarea unor sec-toare experimentale de îmbrăcămînți bituminoase realizate cu aceste tipuri de lianți.

Intrucît reologia mixturilor asfaltice reflectă în fond pe cea a bitumului, există o corelație între conținutul de bitum și modulul complex al mixturilor asfaltice, care variază în funcție de temperatură și de timpul de încărcare.

Folosirea biturilor dure îmbunătățește sensibil comportarea la temperaturi ridicate, vara, a straturilor bituminoase, evitând astfel apariția deformațiilor de tip fâgașe sau văluriri ./176/ /196/ /234/.

În legătură cu evoluția concepțiilor privind realizarea unor îmbrăcăminți bituminoase din mixturi asfaltice cu rezistențe sporite la deformațiile tip fâgaș la Congresul al XVI-lea s-a prezentat o sinteză a studiilor întreprinse în acest scop./289/.

### 1.3. Unele aspecte privind studiul deformațiilor tip fâgaș ale mixturilor asfaltice.

Deformațiile permanente ale îmbrăcăminților bituminoase sub efectul traficului greu sînt studiate din ce în ce mai mult, în numeroase țări, examinîndu-se caracteristicile fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice și condițiile care conduc la apariția acestor deformații tipice, denumite la noi în țară fâgașe./176/ /179/ /196/.

Din investigațiile întreprinse /62/ /64/ reiese că majoritatea fâgașelor au drept cauză insuficienta stabilitate a mixturilor asfaltice și în consecință cercetările au fost orientate spre acest domeniu.

Fâgașele /74/ /179/ /196/ care apar în stratul de rulare al îmbrăcăminților bituminoase se datoresc fie efectelor statice (staționări pe drum sau la locuri de parcare) fie celor dinamice, datorită sarcinilor transmise de roțile autovehiculelor, combinate frecvent cu eforturi orizontale importante, care agravează sensibil fenomenul. Fâgașele apar astfel în cazul drumurilor în pantă și în intersecții, ca urmare modificării vitezelor, în viraje, unde forțele transversale pot să fie importante.

Sub acțiunea încărcărilor statice grele, se pot produce deformații ale stratului bituminos cu sau fără refulare, cu sau fără degradarea îmbrăcăminții.

Efectele autovehiculelor grele în mișcare pot conduce la apariția fâgașelor longitudinale, mai ales pe locul trecerii roților, ca urmare canalizării traficului greu.

Adîncimea fâgașului poate varia între cîțiva mm cînd se consideră acceptabil și cîțiva cm cînd se consideră grav./196/.

În fig.1.1 se prezintă aspectul fâgașelor și în fig. 1.2 măsurarea fâgașului.



Fig. 1.1 Fâgașe longitudinale pe DN6

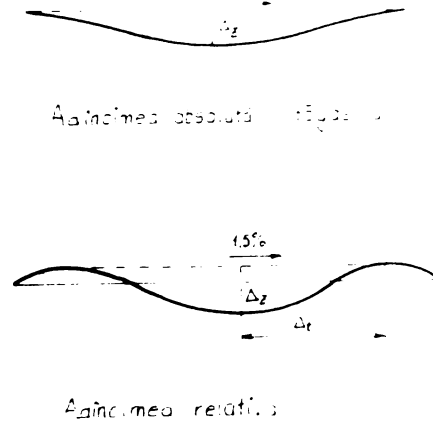


Fig. 1.2 Măsurarea

$\Delta z$  este adâncimea absolută a fâgașului, în mm

$\frac{\Delta z}{\Delta t}$  adâncimea relativă a fâgașului

$\Delta t$  jumătate din lățimea fâgașului, în mm

Referitor la adâncimea absolută a fâgașului se consideră că:

- fâgașele de 5...6 mm sînt resimțite de traficul de mare viteză;
- fâgașele mai mari de 10 mm deranjează traficul;
- fâgașele de 30...40 mm sînt intolerabile și pentru traficul lent.

În aproape toate țările Anglia, Franța, Italia, URSS, Japonia, SUA, consideră necesară refacerea îmbrăcăminților bituminoase, cînd adâncimea fâgașului depășește 20 mm /196/.

Pentru prevederea deformațiilor permanente ale unui strat din mixtură asfaltică, unii cercetători /196/, au propus relația:

$$\Delta Z = \frac{\bar{\sigma} \cdot h}{S_m} \quad (1.1)$$

în care  $\Delta Z$  este adâncimea fâgașului;

$h$  - grosimea stratului bituminos;

- $\bar{f}$  - efortul mediu într-un strat bituminos, calculat, pornind de la teoria sistemelor bistrat elastice;
- $S_m$  - modulul de rigiditate al mixturii asfaltice și care depinde de modulul de rigiditate al bitumului  $S_b$ .

Rezultatele obținute arată că există o destul de bună corelație între adâncimea fâgașului calculat și a fâgașului măsurat. Totuși, în cazul încercărilor pe pista de încercare circulară, calculul are tendința de a subestima adâncimea fâgașului.

Alți cercetători /196/ /232/ propun pentru evaluarea adâncimii fâgașelor metode care pornesc de la calculul tasării verticale a fiecărui strat din sistemul rutier, pornind de la cunoașterea relației între efort și deformație conform ecuațiilor reologice.

Apoi deformațiile permanente ale diferitor elemente sînt totalizate pentru a obține adâncimea fâgașelor conform unei relații de tipul:

$$\int f = \sum_{i=1}^{i=k} \epsilon_{pi} h_i \quad (1.2)$$

$\int f$  este adâncimea totală a fâgașului;

$\epsilon_{pi}$  - deformația permanentă unitară a primului strat;

$h_i$  - grosimea primului strat din îmbrăcăminte;

$k$  - numărul total a straturilor sistemului examinat.

Calcululele se efectuează cu ajutorul unor programe de calcul, cu ordinatoare.

Alți cercetători /176/ /273/ propun să se ia în considerare și în cazul fâgașelor ca și în cazul studierii fenomenului de oboseală a valorilor care indică volumul agregatelor, volumul liantului și volumul de goluri al unei mixturi asfaltice corelat totodată cu un bitum mai dur.

Cea mai mare rezistență la apariția fâgașelor se va obține prin realizarea unui raport  $\frac{V_A}{V_L}$  cît mai mare și un volum de goluri cuprins între 2 și 5%.

$V_A$  reprezintă volumul agregatelor din mixtură asfaltică exprimat în procente ;

$V_L$  volumul ocupat de liant, în procente.

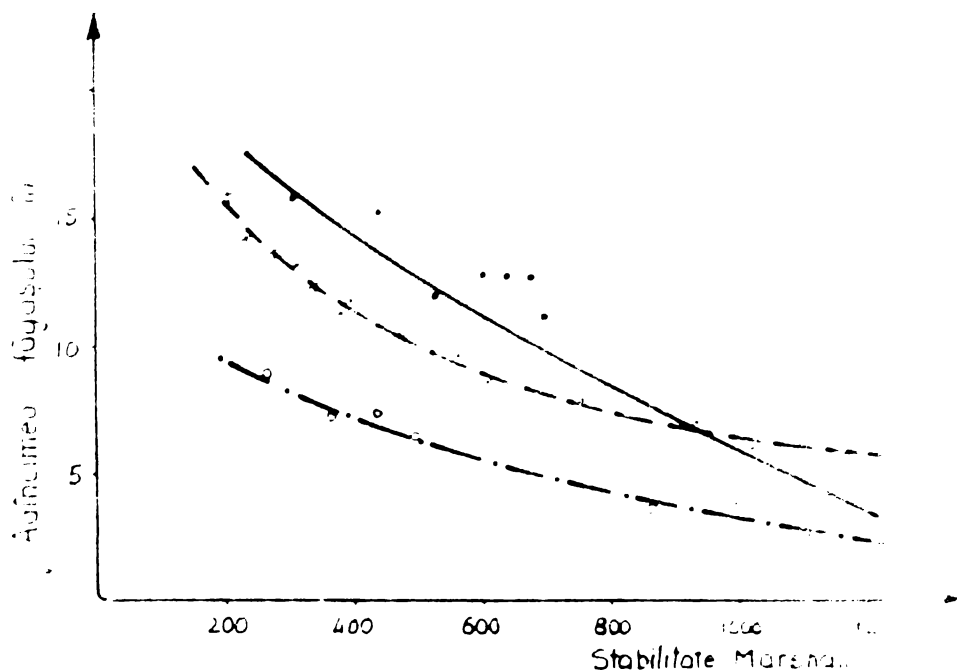


Fig. 1.3 - Relația între adâncimea fâgașului și stabilitatea Marshall

Pentru mărirea rezistenței la apariția fâgașelor este necesar să se realizeze mixturi asfaltice, cu o compoziție astfel stabilită, încât să conțină un procent ridicat de agregate concasate, bitum astfel dozat încât să se realizeze o stabilitate cât mai mare, se menționează că în general există tendința de a micșora procentul de liant.

Cercetările întreprinse /14/ /176/ /196/ pun în evidență de asemenea relații între stabilitatea Marshall și adâncimea fâgașului după cum se poate urmări în fig.1.3.

Fenomenul apariției și evoluției fâgașelor poate fi exprimat printr-o lege a cărei formă analitică este analoagă cu legea la oboseală a straturilor alcătuite din mixturi asfaltice. Deformația permanentă este în acest caz exprimată prin relația:

$$\xi_p = CN^b \quad (1.3)$$

$\xi_p$  reprezintă deformația permanentă;

C și b sînt constante care depind de tipul mixturii asfaltice, în general b variază între 0,3 și 0,35.

N numărul de cicluri la care se produce deformația  $\xi_p$ .

Reprezentarea grafică a fâgașului calculat pentru un beton asfaltic de 10 cm grosime este prezentată în fig.1.4.

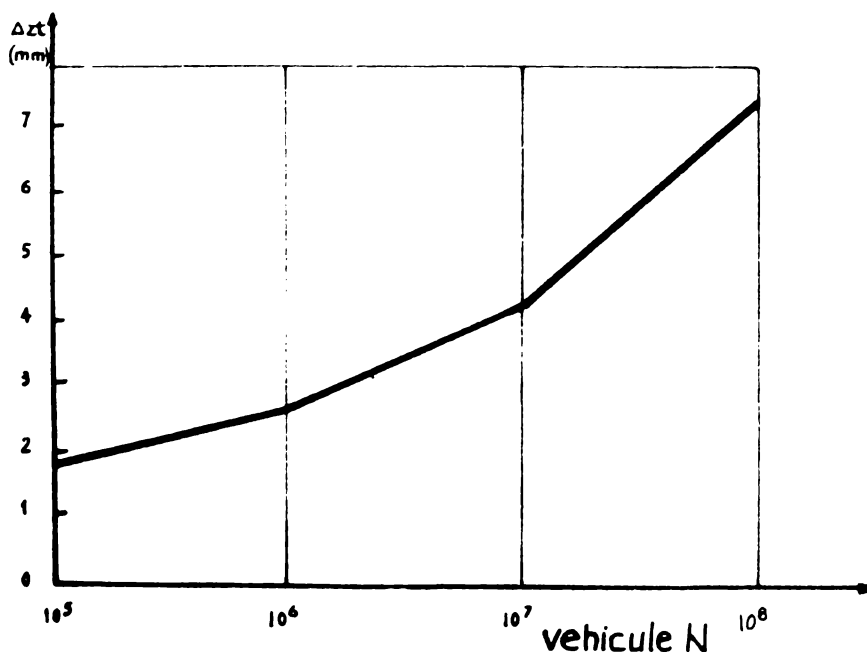


Fig.1.4 Reprezentarea fâgașului calculat

Din cele arătate anterior se constată că aproape în toate țările au apărut degradări ale îmbrăcăminților bituminoase de tip fâgaș, care influențează negativ traficul.

Urmare cercetărilor întreprinse se estimează că mixturile asfaltice trebuie proiectate în viitor astfel încât să aibă stabilitate maximă și să se deformeze cât mai puțin la temperaturi ridicate vara, sub acțiunea traficului greu, asigurându-se concomitent și rezistențele maxime la oboseală. /14/ /196/.

#### 1.4. Concluzii în domeniul diversificării mixturilor asfaltice.

În rezumat concluziile celui de al XVI-lea Congres mondial de drumuri, cu privire la tipurile de mixturi asfaltice prezentate mai sus, pot fi grupate în câteva deziderate mai importante și anume:

- scheletul mineral al mixturilor asfaltice va fi constituit din agregate preponderent dure și concasate pentru a mări unghiul de frecare interioară;
- reducerea conținutului de liant bituminos, în scopul obținerii unei stabilități mai mari a mixturii asfaltice, corelate



cu suprafața specifică totală a agregatului mineral;

- folosirea unor bitumuri mai dure, cu susceptibilitate termică cât mai mică, în funcție de zona climatică în care se execută îmbrăcămintea bituminoasă;

- mărirea raportului filer/bitum peste 1,0 pentru a mări rezistența mixturilor asfaltice la apariția fâgașelor;

- diversificarea continuă a tipurilor de mixturi asfaltice ;  
- mărirea rugozității suprafeței de rulare a îmbrăcămintelor bituminoase;

- sporirea grosimilor straturilor bituminoase, recomandându-se 5...9 cm pentru stratul de uzură, 6...10 cm pentru stratul de legătură și 10...15 cm pentru stratul de bază.

Alte tendințe constatate la Congres sînt legate de folosirea subproduselor și deșeurilor. S-au prezentat lucrări care vizează folosirea nisipurilor bituminoase și a șisturilor bituminoase. De asemenea s-au întreprins cercetări în vederea folosirii sulfului ca liant tip bitum-sulf în proporții de 10...30 % sulf din masa totală a liantului, rezultatele cele mai încurajatoare fiind obținute cu un liant avînd 20 % sulf și 80 % bitum. În unele țări problema este de mare actualitate datorită excedentului de sulf și costului tonei de sulf, care reprezintă 50 % din costul tonei de bitum.

S-au prezentat unele rezultate privind folosirea zgurilor granulate și a cenușilor de termocentrală, în anumite condiții la prepararea mixturilor asfaltice.

Din cele arătate anterior se constată tendința diversificării mixturilor asfaltice și a studierii comportării acestora în timp, sub influența traficului și a factorilor climatici.

S-au întreprins cercetări sistematice privind fenomenul apariției fâgașelor și au fost continuate studiile privind fenomenul de oboseală al mixturilor asfaltice.

Ținînd seama de aceste tendințe și pornind de la situația drumurilor din România care posedă în rețeaua de drumuri îmbunătățite și modernizate 93 % îmbrăcăminți bituminoase, este foarte important ca specialiștii din sectorul de drumuri, care lucrează în cercetare, proiectare și execuție să se preocupe de aceste probleme majore în actuala conjunctură, în scopul elaborării și utilizării celor mai raționale și eficiente metode pentru dimensionarea, ranforsarea și întreținerea preventivă și curentă a drumurilor noastre.

În sfera acestor preocupări se înscrie și teza de doctorat, care prezintă contribuțiile aduse de autoare la studiul diversificării mixturilor asfaltice pe baza cercetărilor proprii întreprinse în laborator și corelate cu rezultatele datelor experimentale, de pe sectoarele executate pe parcursul anilor și care au permis obținerea unor rezultate superioare în ceea ce privește durata de exploatare a îmbrăcăminților bituminoase, în condițiile dezvoltării ascendente a traficului.

Teza de doctorat și-a propus ca obiectiv principal ca prin diversificarea mixturilor asfaltice, în actuala etapă, caracterizată prin necesitatea economisirii energiei și a bitumului să urmărească obținerea de economii la bitum prin:

- proiectarea judicioasă a mixturilor asfaltice, folosind programele de calcul;
- readucerea în actualitate a nisipurilor bituminoase, procedeu eficient pentru reducerea consumului de bitum, produs în rafinării;
- realizarea mixturilor asfaltice cu agregate artificiale ușoare de tipul granulitului;
- studierea și experimentarea mixturilor asfaltice cu conținut redus de bitum și filer;
- reutilizarea mixturilor asfaltice.

Abordarea acestei probleme ca obiect al tezei de doctorat este determinată de necesitatea rezolvării eficiente a diversificării mixturilor asfaltice, în actualele condiții dificile în care sînt confrunțați specialiștii ce lucrează în acest domeniu al tehnicii rutiere.



## Capitolul 2.

### CONTRIBUTII ADUSE LA IMBUNATATIREA PROIECTARII MIXTURILOR ASFALTICE

Proiectarea îmbrăcăminților bituminoase din mixturi asfaltice este o problemă de importanță majoră pentru specialiștii care lucrează în acest domeniu și necesită cunoașterea prealabilă a agregatelor și lianțurilor bituminoase, care urmează a fi folosiți în acest scop. Concomitent trebuie să se ia în considerare o serie de alți parametri care au o influență hotărâtoare asupra comportării în timp a îmbrăcăminților bituminoase și care țin seama de : trafic, regimul climatic (temperatura minimă și maximă , ploi, îngheț-dezghet), condiții locale etc.

#### 2.1. Contribuții aduse la studierea agregatelor minerale, care intră în compoziția mixturilor asfaltice

Agregatele minerale (cribluri, pietriș, nisip) utilizate la prepararea mixturilor asfaltice trebuie să prezinte o serie de caracteristici de calitate, dintre care se menționează în mod special următoarele:

- să fie curate, să nu conțină impurități mai ales argilă, praf, sau alte substanțe organice; în cazul agregatelor murdare procesul de dezamrobare este iminent și în consecință lucrarea este compromisă. Studiile de laborator arată că adezivitatea bitumului pe agregate de natură bazică, dar murdare scade cu 50 %, față de cea obținută pe granule curate. Se admite un echivalent de nisip (E.N.), de minim 85 % ;

- să fie omogene din punct de vedere al compoziției mineralogice, să nu prezinte urme de alterare chimică și să nu conțină componente, care se descompun sub acțiunea agenților atmosferici;

- să provină din roci de natură bazică sau neutră, care permit realizarea unei bune adezivități; dacă totuși se folosesc roci acide, este neapărat necesar fie să se introducă aditivi tensioactivi în bitum, fie să se trateze agregatele cu aceste substanțe sau cu lapte de var /27/ /34/;

- forma granulelor să fie poliedrică; nu se admit granule lamelare și aciculare, care se sfărâmă foarte ușor sub efectul

circulației;

- agregatele trebuie să fie foarte rezistente la uzură, să nu se șlefuiască și să nu se uzeze, să prezinte fețe cât mai rugoase.

Pentru studierea rezistenței la uzură, în colaborare cu atelierul școală al Facultății de mecanică din cadrul Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara, am realizat în anul 1974,/39/ primul prototip de aparat tip Los Angeles, fiind apoi omologat și produs în serie pentru dotarea și a altor laboratoare de drumuri din țară.

Aparatul este prezentat în fig.2.1.

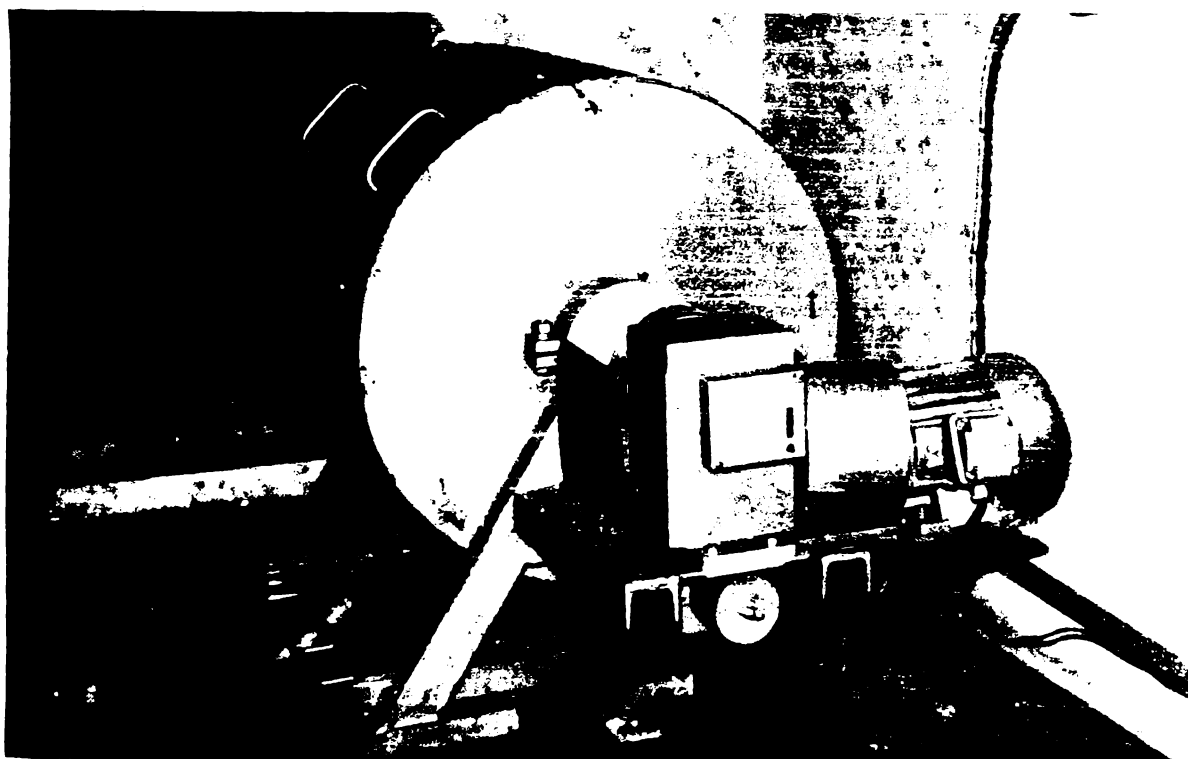


Fig.2.1. Aparat pentru determinarea rezistenței la uzură a agregatelor

Intrucât în anul realizării aparatului nu exista încă metodologia pentru determinarea rezistenței la uzură a criblurilor la noi în țară, am făcut o serie de testări de laborator pentru a stabili condițiile de determinare pentru diferitele sorturi de criblură existente la noi în țară.

Propunerile pe care le-am făcut au fost luate în considerare la elaborarea standardului 730-81, Agregate naturale pentru drumuri. Metode de încercare.

Rezistența Los Angeles se determină cu relația:

$$R_{uzură} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad \text{/\%}/ \quad (2.1)$$

în care:  $R_{uzură}$  este rezistența la uzură exprimată în procente;  
 $m_1$  - masa agregatului supus încercării, în g;  
 $m_2$  - masa agregatului după încercare, rămas pe ciurul  
 de 1,6 mm, în g;

Urmare determinărilor efectuate în laboratorul central s-au obținut următoarele valori pentru diferite sorturi de criblură:

Tabel 2.1

Sortul	Nr. de bile	Masa bilelor g	Rezistența la uzură în % Criblură din...		
			bazalt	andezit	calcar
3 - 8	7	2920 ± 15	16,0	18,8	46,0
8 - 16	9	3750 ± 20	14,0	18,0	47,0
16 - 25	11	4580 ± 30	14,5	15,0	50,0

Incercarea la uzură permite completarea încercărilor care se execută pentru determinarea caracteristicilor calitative ale criblurilor, cu o nouă încercare ce dă indicații deosebit de utile în privința comportării la uzură a criblurilor. În baza experimentărilor efectuate consider că se pot folosi cu rezultate bune la executarea mixturilor asfaltice mai ales în stratul de uzură, <sup>criblurile care au o rezistență la uzură</sup> de maxim 25 %. Evident criblurile cu o rezistență de 46...50 % se exclud, neadmițându-se utilizarea lor decât în stratul de legătură sau de bază.

Filerul. În general scheletul mineral al unei mixturi asfaltice, compus din cribluri și nisip are un volum mare de goluri. Pentru mărirea compactității se adaugă filer, care micșorează volumul de goluri al amestecului, însă mărește suprafața specifică a agregatului mineral. /26/ /45/ /65/ /87/.

Filerul mărește domeniul de plasticitate al bitumului și îmbunătățește adezivitatea la agregatul mineral. De asemenea, mărește frecarea interioară din bitum și coeziunea bitumului și prin aceasta îmbunătățește comportarea mixturii la solicitări statice și la rupere.

Bitumul amestecat cu filer își schimbă foarte greu compoziția chimică, împiedică îmbătrânirea bitumului acționând astfel încât bitumul să-și păstreze timp îndelungat proprietățile lui de liant.

Filerul dozat judicios în raport cu ceilalți componente mărește compactitatea și suprafața specifică a agregatului mineral total, asigurând astfel împreună cu bitumul, rezistențele mecanice și stabilitatea la temperaturi ridicate a mixturilor asfaltice. Excesul de filer este însă dăunător, deoarece rezistențele mecanice și stabilitatea la temperaturi ridicate scad, mixtura formează bulgări și se lucrează greu. Imbrăcămintea bituminoasă prezintă neregularități în suprafațare și este mai puțin rezistentă la acțiunea apei.

În scopul determinării rapide și exacte a suprafeței specifice a filerului utilizat la producerea mixturilor asfaltice, pe baza cercetărilor efectuate am realizat tot împreună cu Catedra de mecanică și rezistența materialelor a Facultății de Mecanică a Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara, un aparat care permite efectuarea acestei determinări.

Aparatul este prezentat în figura 2.2.

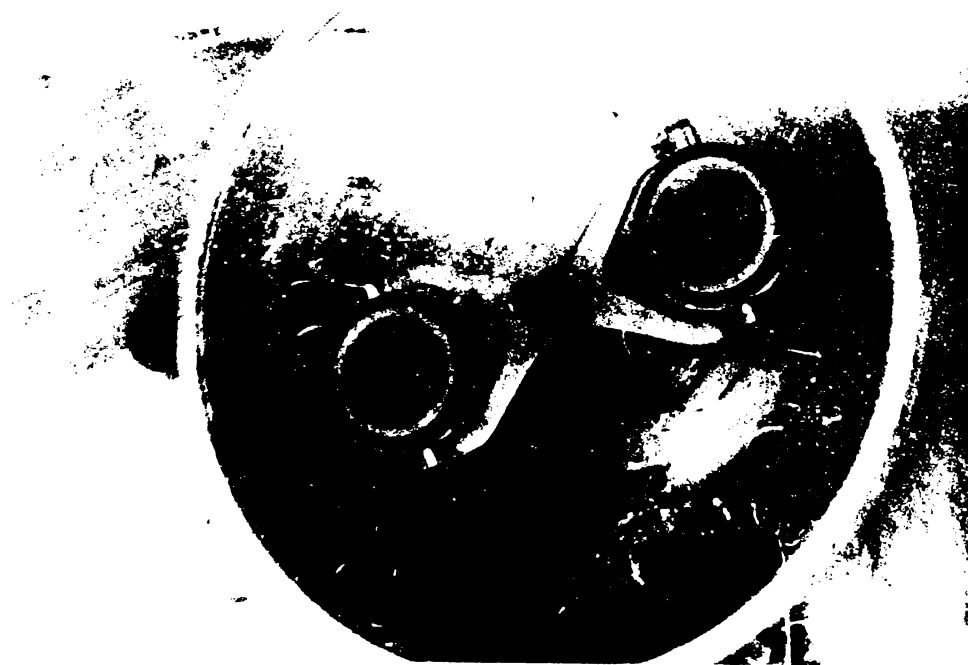


Fig.2.2. Aparat pentru determinarea suprafeței specifice a filerului

Aparatul este de fapt o centrifugă, cu două cupe, acționate mecanic. Cupa centrifugei are înălțimea de 72 mm și diametrul de 50 mm, completate cu plăci din alamă de 0,8 mm grosime.

Principiul metodei constă în saturarea unei cantități re-

de două minute la o forță centrifugă de 400 g. Suprafața specifică este determinată de masa petrolului reținut după centrifugare.

Pentru efectuarea determinării se cântărește pentru fiecare cupă câte 20 g filer uscat, se introduce filerul peste hîrtia de filtru, apoi se așază cupele în petrol pentru saturarea cu petrol. Petrolul pătrunde în tot filerul și-l umectează. Cînd probele sînt saturate se pun în centrifugă și se centrifughează timp de 2 minute la o forță de 400 g. Se cântăresc probele și prin diferență se obțin cantitățile de petrol reținute de filer. Se face media celor două determinări și se aplică o corecție în funcție de densitatea filerului.

$$K = \frac{\rho_{\text{filer}}}{2,65} \quad /-/ \quad (2.2)$$

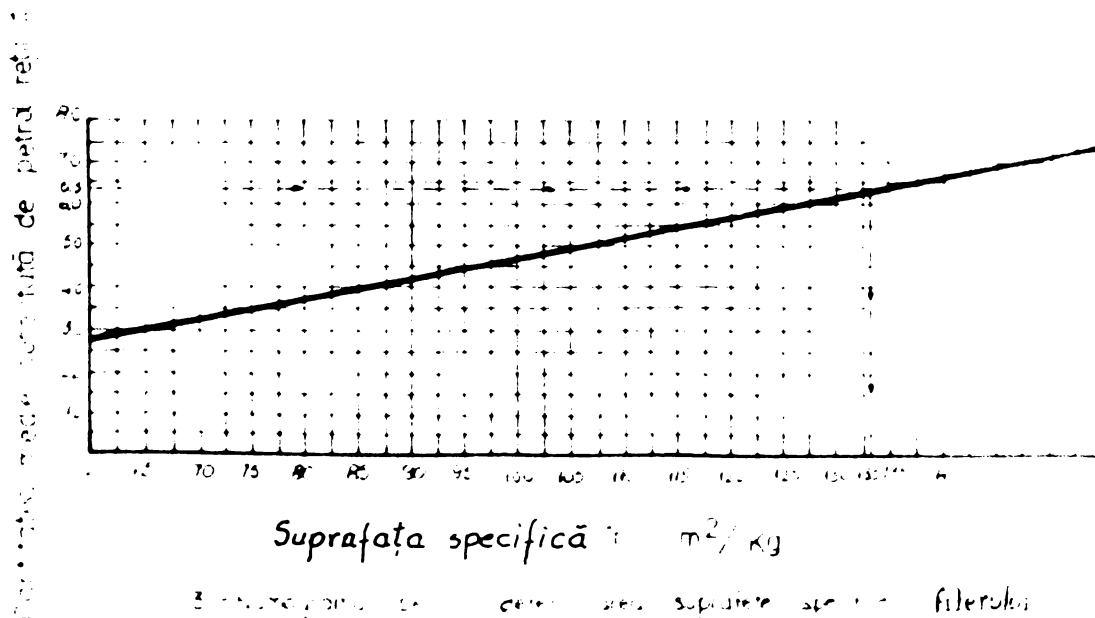
K - reprezintă corecția și este exprimată prin raportul dintre densitatea filerului examinat și 2,65 densitatea pentru care a fost construită nomograma, fig. 2.3

Cantitatea medie de petrol corectată  $m_1$  se obține cu relația:

$$m_1 = k m \quad /g/ \quad (2.3)$$

- k - factorul de corecție din relația anterioară;
- m - masa petrolului reținut după centrifugare, în g.

După obținerea cantității de petrol corectate se trece valoarea respectivă pe ordonată și se duce o paralelă cu axa absciselor pînă la intersecția cu dreapta respectivă și se citește pe abscisă direct suprafața specifică a filerului, în  $m^2/kg$ .





Aparatul este folosit în laboratorul Direcției drumuri și poduri Timișoara și a permis astfel determinarea rapidă a suprafeței specifice a filerelor utilizate la diferite lucrări și experimentări.

Tratînd în continuare rolul filerului în mixturile asfaltice, cercetările actuale /66/ /74/ /76/ /141/ /147/ /196/ /223/, acordă o mare atenție raportului dintre filer și bitum, arătînd rolul favorabil pe care-l are creșterea acestui raport pentru îmbunătățirea stabilității mixturilor asfaltice. Se constată că pentru betoanele asfaltice utilizate în stratul de uzură valoarea acestui raport este supraunitar, variînd între 1,1... 2,0, iar pentru asfalturile turnate 3...4.

## 2.2. Caracteristicile bitumului

Bitumul are un rol preponderent în mixturile asfaltice, fiind liantul care aglomerează agregatele, le asigură coeziunea și impermeabilitatea pe tot parcursul exploatării. Prin proprietățile sale de liant, bitumul realizează:

- anrobarea granulelor agregatelor cu o peliculă fină;
- o bună adezivitate pe agregat și menținerea acestei adezivități în prezența așelor factori, care tind să se substituie bitumului la interfața liant-agregat. Factorul cel mai periculos și care acționează asupra sistemului agregat-bitum este apa.

Pentru caracterizarea bitumurilor utilizate la prepararea mixturilor asfaltice pe lîngă încercările obișnuite care evidențiază penetrația, punctul de înmuiere înel și bilă, punctul de rupere Fraass, ductilitatea, adezivitatea, în scopul cunoașterii mai detaliate a proprietăților sale se studiază indicele de penetrație și modulul de rigiditate. /1/ /2/ /128/ /133/ /136/ /215/

Definirea indicelui de penetrație I.P. este dată de relația:

$$\frac{d \lg pen}{dT} = \frac{1}{50} \cdot \frac{20 - I.P.}{10 + I.P.} \quad (2.4.)$$

Pfeiffer și Saal /86/ au propus să se utilizeze ca puncte de referință penetrația bitumului la punctul de înmuiere, care are valoarea 800 pentru toate tipurile de bitum și penetrația bitumului la 25°C, fiind o caracteristică ușor accesibilă.

Pentru variația temperaturii dT se folosesc aceleași

noțiuni și anume punctul de înmuiere I.B. și temperatura de 25°C. În acest caz relația de mai sus (2.4) se poate nota astfel:

$$\frac{\lg 800 - \lg \text{pen } 25^{\circ}\text{C}}{T_{\text{I.B.}} - 25^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{50} \cdot \frac{20 - \text{I.P.}}{10 + \text{I.P.}} \quad (2.5)$$

Indicele de penetrație se poate determina ușor cu ajutorul nomogramei prezentate în fig.2.4.

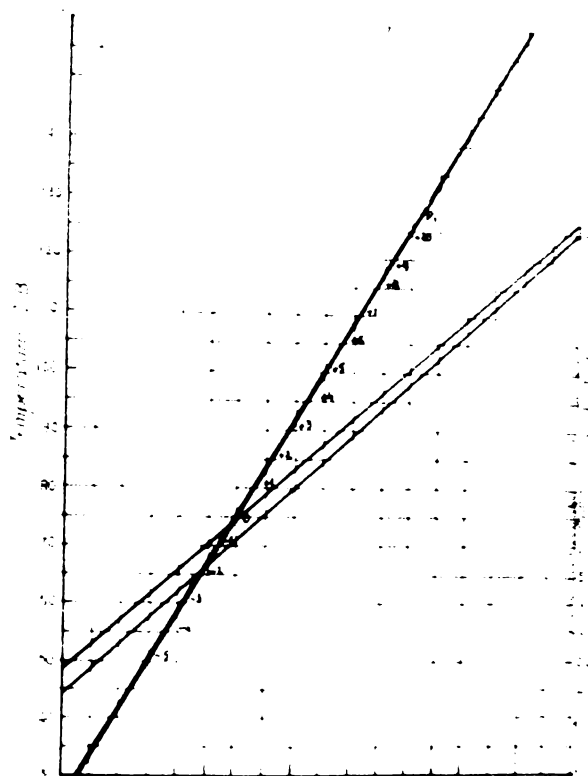


Fig 2.4 - Nomograma pentru determinarea indicelui de penetrație al biturilor

Modulul de rigiditate al bitumului a fost introdus de Van der Poel /270/ /264/, pornind de la modulul lui Young, studiind variațiile raportului efort deformație, în cazul unei solicitări longitudinale a bitumului. Modulul de rigiditate este dat de relația:

$$S_b = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \text{/N/m}^2 \quad (2.6)$$

- $S_b$  este modulul de rigiditate în  $\text{N/m}^2$  ;
- $\sigma$  - efortul longitudinal, în  $\text{N/m}^2$  ;
- $\epsilon$  - deformația relativă.

În realitate și pentru a fi cât mai exacti, ținând seama de faptul că bitumul este un corp viscoelastic, ar trebui definit modulul complex prin relația:

$$S_b^* = \frac{\sigma_m}{\epsilon_m} e^{i\varphi} \quad (2.7)$$

$\varphi$  este unghiul de defazaj, care apare între efort și deformație în timpul solicitărilor sinusoidale. Pentru toate aplicațiile practice și concrete este suficient să se utilizeze modulul de rigiditate al bitumului definit de Van der Poel prin relația 2.6.

Modulul de rigiditate depinde de durata (timpul) de aplicare a încărcării și de temperatură, întrucât bitumul este un corp vîscoelastic.

Van der Poel /270/ a definit modulul de rigiditate în funcție de următorii parametri:

- consistența bitumului ;
- susceptibilitatea termică a bitumului;
- timpul de încărcare pentru determinarea modulului de rigiditate;
- temperatura la care se face determinarea modulului de rigiditate.

Prin asocierea acestor parametri se ajunge la posibilitatea de a defini modulul de rigiditate prin:

- diferența dintre temperatura la care este evaluat modulul de rigiditate și temperatura la punctul de înmuiere al bitumului respectiv;
- indicele de penetrație al bitumului;
- durata de aplicare a încărcării (efortului).

În funcție de acești parametri a fost întocmită *nomograma* Van der Poel, care permite determinarea modulului de rigiditate al bitumului la diferite temperaturi.

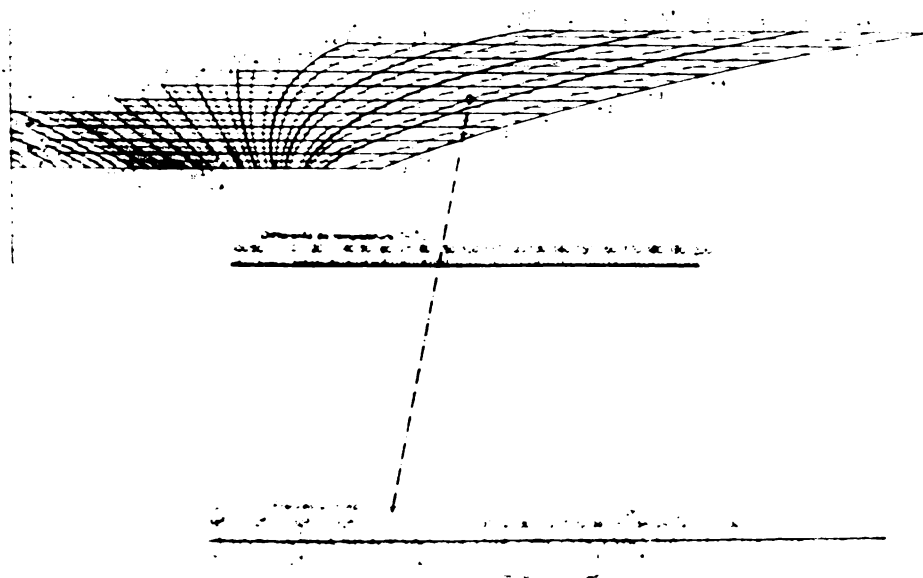


Fig. 2.6. Nomograma Van der Poel pentru determinarea modulului de rigiditate al bitumului la diferite temperaturi.



După definirea celor mai importante caracteristici ale materialelor care intră în componența mixturilor asfaltice pentru a putea trece la proiectarea acestora trebuie luați în considerare și alți parametri care au o influență considerabilă asupra comportării îmbrăcăminților bituminoase în timp și care țin seama de : trafic (mai ales traficul greu) regimul climatic (temperatura minimă și maximă, ploi, îngheț-dezgeț, etc.)

### 2.3. Condiții de calitate pentru realizarea mixturilor asfaltice

În scopul realizării unor mixturi asfaltice corespunzătoare trebuie să se examineze în primul rând condițiile de calitate impuse acestora și care sînt numeroase. Schematic ele pot fi rezumate și prezentate sub forma următoarelor caracteristici mai importante și interdependente unele de altele:

- lucrabilitate;
- compactitate;
- stabilitate mecanică;
- insensibilitate la acțiunea apei;

Lucrabilitatea este proprietatea mixturii asfaltice de a putea fi pusă în operă în condițiile obținerii unor caracteristici fizico-mecanice ridicate ale îmbrăcăminții bituminoase. Pentru a fi lucrabilă mixtura asfaltică trebuie să fie alcătuită din agregate judicios proporționate și dintr-un liant bine dozat, în consecință, adus într-un anumit stadiu de fluiditate. Lucrabilitatea depinde de:

- fluiditatea liantului, exprimată prin vîscozitate, penetrație și punct de înmuiere;
- compoziția granulometrică;
- natura și forma agregatelor, agregatele pot proveni din roci de natură bazică, acidă sau neutră, iar forma granulelor poate fi poliedrică, lamelară, colțuroasă sau rotunjită;
- proporția de filer;
- conținutul optim de liant.

În consecință lucrabilitatea este o funcție complexă, care se poate exprima prin relația:

$$L = F (\nu, c, n, f_g, f, b) \quad (2.8)$$

în care L este lucrabilitatea mixturii asfaltice și care este

funcție de:

- $\eta$ , vîscozitatea liantului;
- $n$ , natura agregatelor, acidă, bazică, neutră;
- $f_g$ , forma granulelor, poliedrică, lamelară, colțuroasă, rotunjită;
- $f$ , proporția de filer din compoziția totală;
- $b$ , conținutul optim de liant.
- $c$ , compoziția granulometrică.

Compactitatea mixturii asfaltice trebuie astfel realizată, încît, să se dozeze judicios liantul și agregatele, obținîndu-se după punerea în operă și compactare un volum minim de goluri, dar fără exces de liant. Compactitatea depinde de granulozitatea agregatului mineral și de asemenea de forma granulelor. Pentru două curbe granulometrice identice, din care una alcătuită cu agregate concasate, iar cealaltă cu agregate rotunjite (neconcasate) la aceeași energie de compactare se obțin compactități diferite, mixtura asfaltică obținută cu agregate concasate se compactează mai greu. Compactitatea se poate exprima printr-o relație de forma:

$$C = F(V_g, c, f_r, f_g) \quad (2.9)$$

în care:

- $C$  este compactitatea;
- $V_g$ , volumul de goluri;
- $c$ , compoziția granulometrică;
- $f_r$ , forma granulelor rotunjite.
- $f_g$ , forma granulelor concasate.

Stabilitatea mecanică este strîns legată de dozajul de liant și de vîscozitatea lui. Un exces de bitum conduce sub efectul traficului în mod cert la vîluriri ale îmbrăcămintei bituminoase. Un liant prea moale cu un punct de înmuiere scăzut, conduce de asemenea la vîluriri și deformări în timp. Scheletul mineral are de asemenea un rol important în asigurarea stabilității, cu cît acesta este mai puternic, format din agregate cu dimensiunea peste 2...3 mm și stabilitatea îmbrăcămintei crește, cu condiția ca să existe un raport corespunzător între cantitatea totală de liant și filer.

Insensibilitatea la acțiunea apei. Comportarea la acțiunea apei este influențată mai ales de următorii factori:

- compactitatea;
- adezivitatea liantului la agregate;

- prezența argilei în mixtura asfaltică.

Compactitatea intervine și în acest caz, întrucât o mixtură compactă nu permite pătrunderea apei în îmbrăcămintă și îi asigură astfel o bună etanșeitate.

Adezivitatea liantului la agregate asigură îmbrăcămintea bituminoasă asupra riscului dezanrobării. Prezența apei în masa mixturii asfaltice mărește considerabil riscul degradării în timp a îmbrăcămintei.

Schematic proiectarea mixturilor asfaltice ar putea fi prezentată conform graficului de mai jos: din fig.2.6.

Se examinează condițiile de trafic și regimul climateric, pentru care urmează să se proiecteze îmbrăcămintea bituminoasă, apoi se efectuează determinările de laborator privind calitatea materialelor și se fac încercările ce definesc caracteristicile fizico-mecanice mai importante ale mixturilor asfaltice.

În funcție de rezultatele obținute și după ce se compară cu prescripțiile tehnice se adoptă decizia bun când se poate trece la execuție și rău când trebuie să se revadă întreg sistemul.

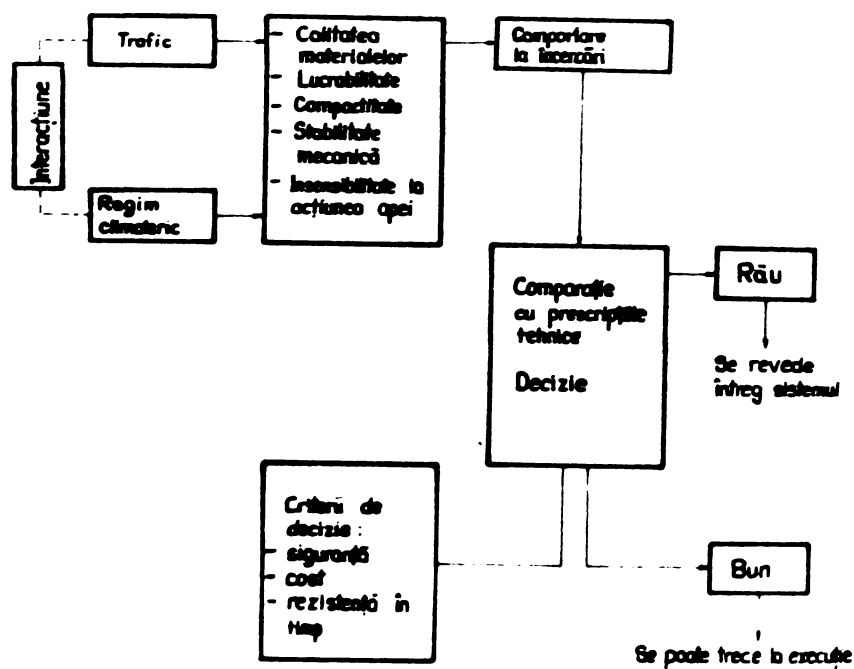


Fig. 2.6 Schema proiectării mixturilor asfaltice

Cerințele de calitate impuse unei mixturi asfaltice sînt uneori contradictorii, întrucît stabilitatea maximă corespunde unei sensibilități sporite la acțiunea apei, astfel că fiecare soluție adoptată este de fapt un compromis între parametri luați în discuție la proiectarea mixturilor asfaltice, acest compromis trebuie însă astfel realizat ca să se obțină în final îmbrăcăminți bituminoase cu performanțe fizico-mecanice superioare și care să

asigure o durată de exploatare cât mai mare și fără degradări în condițiile date.

În acest scop am adus o serie de contribuții la rezolvarea problemei prin folosirea programelor de calcul.

#### 2.4. Contribuții aduse la proiectarea mixturilor asfaltice prin folosirea programelor de calcul

Pentru elaborarea dozajelor necesare producerii mixturilor asfaltice sînt necesare operații laborioase în vederea realizării unor proporții judicioase între diversele agregate minerale, astfel încît să se obțină încadrarea curbei granulometrice a amestecului total în zonele granulometrice impuse de standarde și instrucțiunile în vigoare /29/ /36/ /262/. Numărul de încercări necesare pentru a obține o curbă granulometrică bună, depinde, în mare măsură, de experiența inginerilor din laborator care proiectează diferite tipuri de mixturi asfaltice precum și de calitatea materialelor utilizate.

În general, soluțiile obținute în urma cîtorva încercări, sînt corespunzătoare, dar, nu se pot realiza suficiente combinații ale componentilor și nici un număr satisfăcător de curbe granulometrice, care impun calcule lungi, ca timp de lucru apoi, reprezentări grafice, urmate de determinarea fracțiunilor necesare calculului suprafeței specifice a agregatelor, ceea ce însumează în total un mare volum de muncă.

Pe de altă parte, un dozaj odată stabilit, va putea fi utilizat numai atît timp cît compoziția granulometrică a agregatelor folosite nu se modifică față de cea luată în considerare la elaborarea lui, în consecință dozajele pentru mixturile asfaltice trebuie refăcute ori de cîte ori se schimbă furnizorii sau se modifică granulozitatea agregatelor.

Pentru a elibera laboratorul de un mare volum de muncă și pentru a obține în mod mai operativ dozajele optime pentru mixturi asfaltice, în calitate de șef laborator al D.D.P. Timișoara, împreună cu un grup de analiști-programatori, de la Centrul teritorial de calcul electronic din Timișoara, ne-am propus rezolvarea problemei elaborării dozajelor, cu ajutorul calculatorului electronic /27/ /36/ /186/ /262/.

Pentru a deveni rezolvabilă pe calculator, problema a fost formulată în modul prezentat în continuare, considerîndu-se

cunoscute următoarele:

- caracteristicile mixturilor asfaltice reprezentate prin numărul și felul materialelor componente, zona granulometrică impusă de standarde sau instrucțiuni, limitele admise pentru conținutul de bitum;
- compoziția granulometrică a agregatelor minerale și a filerului;
- costul materialelor ce intră în componența mixturii;
- algoritmul de calcul al necesarului de liant.

S-a cerut calculatorului să determine:

- proporțiile necesare din fiecare agregat pentru a realiza amestecul, astfel încât curba granulometrică rezultată să se încadreze în zona granulometrică impusă, obținând concomitent și costul minim;
- reprezentarea grafică a curbei;
- calculul suprafeței specifice a agregatului mineral total;
- necesarul de liant, folosind pentru calcul metoda suprafeței specifice la diferite valori ale modulului de conținut;
- costul tonei de mixtură asfaltică ce urmează a fi fabricată cu dozaajul elaborat, înglobând costul agregatelor și a liantului (fără manoperă și utilaje).

Pornind de la aceste premise în anul 1973 problema a fost rezolvată, astfel că începând din anul 1974 elaborarea dozajelor în cadrul Direcției drumuri și poduri Timișoara a trecut pe calculator, ceea ce a condus la obținerea într-un timp foarte scurt a unei mari varietăți de soluții.

#### 2.4.1. Modelul matematic folosit în programul OPTIMIX

Presupunând că în compoziția mixturii intră NRM materiale ( $2 \leq NRM \leq 8$ ) și că trebuie să se determine aportul procentual al fiecăruia la realizarea amestecului, în problemă vor intra NRM necunoscute a căror sumă trebuie să fie 1. Considerând că aceste materiale la analiza granulometrică dau resturi pe NRS site și ciururi ( $5 \leq NRS \leq 10$ ), fracțiunile care trec prin sitele și ciururile respective se pot exprima prin relații liniare de forma:

$$E_i(X_1, X_2, \dots, X_{NRM}) \quad (2.10)$$

în care  $i = 1, 2, \dots, NRS$

Deoarece curba granulometrică a amestecului total trebuie să se înscrie într-o zonă granulometrică delimitată prin limite

superioare și inferioare, vor rezulta NRS duble inegalități, pe care trebuie să le satisfacă necunoscutele :

$$\text{LINF}_i \leq E_1(X_1, X_2, \dots, X_{\text{NRM}}) \leq \text{LSUP}_i \quad (2.11)$$

în care  $i = 1, 2, \dots, \text{NRS}$

Din punct de vedere grafic problema este prezentată în fig.2.7.

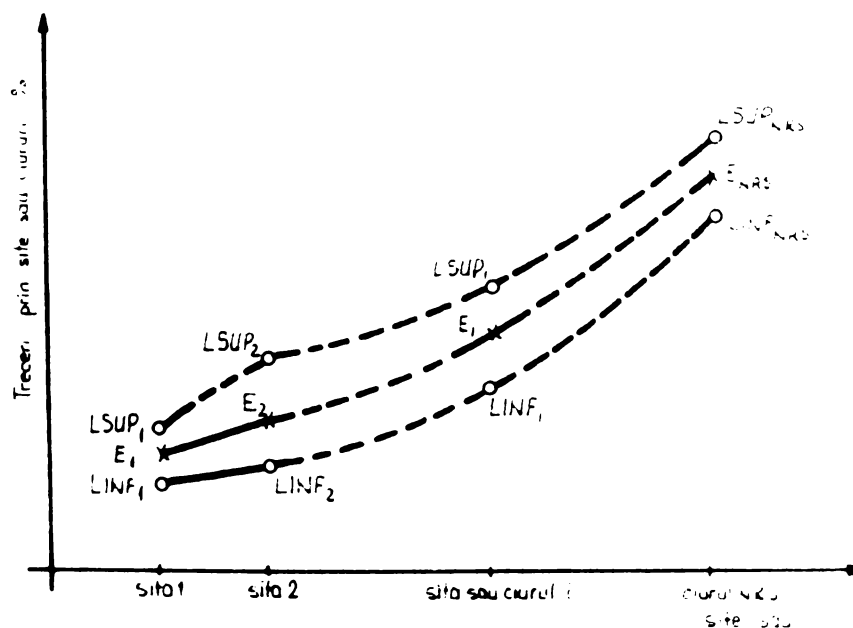


Fig 2.7 - Prezentarea grafică a problemei pe calculator

Necunoscutelor li se pot impune în plus niște domenii de variație, în care să se înscrie:

$$l_i \leq X_i \leq L_j \quad (2.12)$$

$$j = 1, 2, \dots, \text{NRM}$$

Aceste domenii de variație rezultă din recomandările standardelor și din experiența acumulată. De exemplu în betoanele asfaltice executate la cald se recomandă ca raportul între nisipul natural și cel de concasaj să fie 1:1, în timp ce la mortare asfaltice acest raport poate fi 4:1. În ceea ce privește proporția de cribluri fine, la betoanele asfaltice pentru strat de uzură se poate lucra fie numai cu criblură 3...8 mm, fie cu un amestec de 3...8 mm și 8...16 mm, respectînd în general prescripția ca sortul 8-16 să reprezinte 1/3 din criblura totală din amestec.



Necunoscutele din relația 2.12. trebuie să satisfacă sistemul de inegalități, astfel obținut și să minimizeze funcția:

$$F(X_1, X_2, \dots, X_{NRM}) = \sum_{j=1}^{NRM} PR_j X_j \quad (2.13)$$

$PR_j$  este costul real al materialului notat  $X_j$ .

În consecință lucrarea este o problemă tipică de programare liniară, rezolvabilă prin metoda simplex (NRM variabile, eventual dublu mărginite, NRS + 1 restricții și funcția  $F$  ca funcție economică).

Prin rezolvarea acestui sistem de inecuații se poate determina curba granulometrică optimă a amestecului de agregate minerale.

În continuare, calculatorul reprezintă grafic curba granulometrică obținută și calculează suprafața specifică a agregatului total după relația lui M. Duriez.

$$100 S = 0,17 A + 0,32 a + 2,30 N + 12 n + 135 f \quad (2,14)$$

în care:  $S$  reprezintă suprafața specifică a amestecului de agregate minerale, în  $m^2/kg$ ;

$A$  - procentul de granule peste 10 mm;

$a$  - procentul de granule între 5 și 10 mm;

$N$  - procentul de nisip între 0,315 și 5 mm;

$n$  - procentul de nisip între 0,315 și 0,08 mm;

$f$  - procentul de parte fină (filer) sub 0,08 mm.

După determinarea suprafeței specifice, se poate stabili necesarul de liant cu relația:

$$b = k \sqrt[5]{S} \quad (2.15)$$

$b$  este procentul de liant raportat la 100 părți agregat mineral;

$k$  - modulul de conținut, care poate varia de la 3,5 - 5,0 ;

$S$  - suprafața specifică în  $m^2/kg$ .

#### 2.4.1.1. Rezolvarea problemei pe calculator

Lucrarea a fost realizată la Centrul teritorial de calcul electronic Timișoara pe calculatorul IRIS-50.

Problema se rezolvă în mai multe etape prezentate în continuare.

Crearea și lansarea unui fișier permanent intitulat "MIXTURI" care să conțină unele caracteristici ale mixturilor utilizate. Fișierul este organizat selectiv, pentru a asigura accesul direct la elementele sale, fiecare mixtură asfaltică fiind reperată printr-un cod.

Verificarea datelor ce urmează să fie prelucrate. Programul "ANALIZA" verifică datele atât din punct de vedere formal (exactitatea lor), precum și din punct de vedere al modului de încadrare în standardele și instrucțiunile în vigoare, făcând observațiile necesare în lista pe care o afișează. Analizele granulometrice ale fiecărui agregat în parte sînt analizate din punct de vedere al încadrării în standardele în vigoare. În cazurile de abateri de la prevederile respective, se calculează exact procentul de granule din material, care este în afara limitelor impuse și se afișează. Aceste observații sînt foarte utile la aprecierea calității materialelor care urmează a fi folosite la stabilirea dozajelor pentru mixturile asfaltice, permițînd totodată ca ținînd cont de calitatea agregatelor să se poată analiza soluțiile elaborate de calculator.

Pregătirea fazei finale de optimizare Programele "PREPAR" și "F.LUCRU", pe baza datelor de intrare și a informațiilor extrase din fișierul "MIXTURI" pregătesc matricele de intrare în programul de optimizare, creînd fișierul pe bandă "SPECIAL". În același timp, programul "PREPAR" selectează o parte din informații care vor fi necesare în prelucrare ulterior, creînd fișierul pe bandă "TRANSMIS".

Optimizarea se realizează prin programul "OPTIMIX", care aplică în mod repetitiv metoda simplex.

Calculul necesarului de liant. Rezultatele optimizării sînt prelucrate prin programul "TRABAND", în vederea folosirii acestora în calculul necesarului de liant. Aceste rezultate sînt transmise prin intermediul fișierului pe bandă "REZULTAT".

Programul "CALCBIT" utilizînd fișierul "REZULTAT" și fișierul "TRANSMIS" aplică metoda suprafeței specifice și calculează necesarul de liant, redactînd în același timp lista finală cu rezultatele.

Schema de lucru este prezentată în fig.2.8.



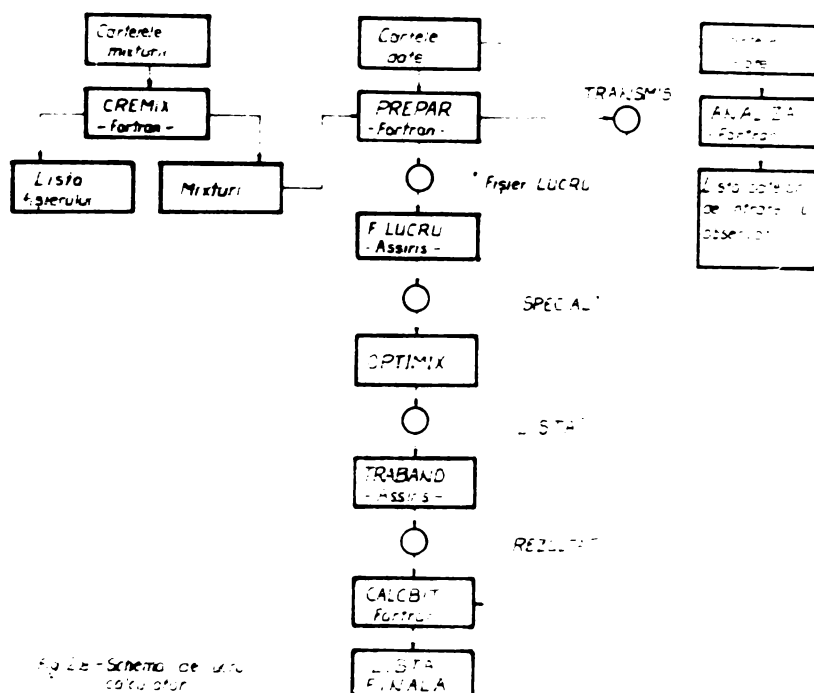


Fig.2.8 - Schema de lucru calculator

### Forma de introducere a datelor în calculator

Pentru ca lucrarea să fie ușor utilizată de beneficiari, datele au fost concepute simple și cât mai apropiate de cele folosite în mod curent la stabilirea dozajelor pentru mixturile asfaltice, pe baza calculelor manuale. În acest scop a fost conceput un formular tip care conține:

- codul și denumirea formației de mixturi asfaltice pentru care se solicită dozajele;
- câte un rând pentru fiecare material în care se menționează: codul materialului, denumirea, prețul real, resturile pe sitele și ciururile folosite la analiza granulometrică, precum și trecerile prin sita cea mai fină;
- lista codurilor mixturilor solicitate.

Pe baza acestor formulare se performează un fișier pe cartele. Acest fișier poate conține analizele granulometrice ale agregatelor minerale provenite de la un număr mare de formații de mixturi asfaltice, pentru fiecare putându-se solicita o gamă largă de tipuri de mixturi asfaltice.

Fișierul pe cartele al datelor de introducere se prezintă în fig.2.9 fiind format din mai multe fișiere parțiale.

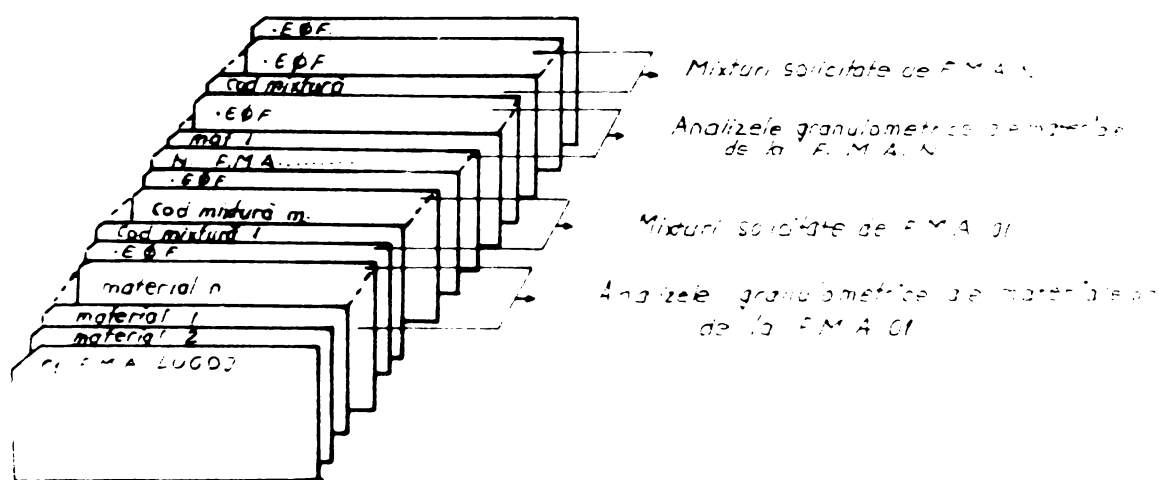


Fig. 2.9 Fișierul de cartele

### Modul de prezentare al rezultatelor

Soluția ideală din punct de vedere granulometric ar fi aceea a cărei curbă se apropie cât mai mult de curba mediană a zonei granulometrice. Pentru a obține soluții care să satisfacă, pe cât posibil, această condiție, se procedează la îngustarea zonei granulometrice inițiale cu 40 %. Această condiție severă nu poate fi respectată întotdeauna, din cauza granulozității agregatelor minerale. Pentru a oferi, pe cât posibil, soluții și în aceste cazuri, s-au propus, pentru fiecare tip de mixtură asfaltică, un număr de patru variante:

- varianta 1, cu reducerea zonei granulometrice cu 40% și cu limite impuse procentajelor de agregate minerale;
- varianta 2, cu reducerea zonei granulometrice cu 20 % și cu limite impuse procentelor de agregate minerale;
- varianta 3, fără reducerea zonei granulometrice și cu limite impuse procentelor de agregate minerale;
- varianta 4, cu reducerea zonei granulometrice cu 20 %, fără limite impuse procentelor de agregate minerale.

Fiecare dintre variante apare listată (în listing) pe trei cartele perforate (anexele I, II, III).

Calculul dozajului de liant s-a făcut pentru mai multe valori ale modulului de conținut K, oferind astfel laboratoarelor de drumuri o mai mare varietate de soluții, pentru a putea alege soluția care corespunde cel mai bine condițiilor locale.

#### 2.4.1.2. Concluzii privind programul OPTIMIX

Programul OPTIMIX a intrat în exploatare curentă în anul

1974, elaborându-se în perioada 1974-1980 peste 2000 de dozaje pentru o gamă foarte largă de mixturi asfaltice, ca: mortare asfaltice, betoane asfaltice cu agregat mărunț bogate și sărace în criblură, betoane asfaltice rugoase, betoane asfaltice pentru strat de legătură, anrobate bituminoase cu agregate locale de balastieră, cu adaos de zgură, cu agregate de carieră, etc.

Elaborarea dozajelor în patru variante, pentru o mixtură asfaltică durează aproximativ două minute, metoda fiind din acest punct de vedere foarte rapidă și în consecință deosebit de eficientă.

Rezultate deosebite au fost obținute cu ajutorul calculatorului în ceea ce privește varietatea soluțiilor oferite. Astfel, în cazul unor formații de mixturi asfaltice, care au primit cribluri 3...8 mm necorespunzătoare sortului, fiind impurificate însă și cu argilă, calculatorul ne-a oferit o serie de soluții noi prin excluderea criblurii 3...8 mm, în consecință o rezolvare mai bună pentru scopul nostru, ținând seama de condițiile locale (lipsa sortului 3 - 8).

În cele ce urmează se prezintă comparativ două dozaje pentru beton asfaltic cu agregat mărunț bogat în criblură (B.a. 16.60) elaborat de calculator, în comparație cu dozajul elaborat de laborator (manual). De asemenea sînt prezentate rezultatele comparative ale încercărilor de laborator.

Tabel 2.2

===== Materiale =====	Dozaj în %,elaborat de calculator                      laborator	
===== criblură 8...16 mm	38,0	14,0
criblură 3...8 mm	-	33,0
nisip de concasaj	24,0	16,0
nisip natural	22,0	17,7
filer de calcar	9,0	12,0
bitum D 80/120	<u>7,0</u>	<u>7,3</u>
	100,0	100,0
Costul tonei de mixtură	163,0 lei/t	177,0 lei/t
=====		

Pe baza datelor obținute de la calculator s-a trecut la experimentarea în laborator a celor două tipuri de mixturi asfaltice și la compararea performanțelor lor fizicio-mecanice.

După prepararea mixturilor asfaltice în laborator, s-au executat epruvetele cubice și s-au determinat caracteristicile lor. Rezultatele obținute sînt prezentate în tabelul 2.3.

Tabel 2.3.

Caracteristici	Beton asfaltic cu agregat mărunt bogat în criblură	
	calculator	laborator
Bitum, în %	7,0	7,3
Agregate, în %	93,0	92,7
Curba granulometrică, în %		
- trece prin sita de 0,08 mm	7,6	8,6
- trece prin sita de 0,09 mm	8,7	9,2
- trece prin sita de 0,2 mm	15,8	15,2
- trece prin sita de 0,6 mm	30,4	27,9
- trece prin ciur de 3 mm	50,8	46,5
- trece prin ciur de 8 mm	60,0	80,9
- trece prin ciur de 15 mm	100,0	100,0
Densitatea aparentă, g/cm <sup>3</sup>	2,32	2,30
Absorbția de apă, % vol.	4,2	5,0
Rezistența la compresiune, în daN/cm <sup>2</sup>		
- la 22°C	35,0	32,0
- la 50°C	15,0	10,0

Cu dozajul respectiv s-a executat un sector experimental pe drumul național 6 Timișoara-Sînnicolau la km 610-611 a cărui comportare în timp în perioada 1974-1981 a fost corespunzătoare.

Avînd în vedere aceste rezultate foarte bune, în anii următori am extins folosirea acestui dozaj și la formația de mixturi asfaltice Lugoj, executîndu-se astfel stratul de uzură pe drumul național 6 Caransebeș-Lugoj-Timișoara pe 10 km. în următoarele tronsoane: km 480-486, 504-506, 525-527.

Rezultatele obținute prin folosirea numai a criblurii 8...16 mm în stratul de uzură pot fi urmărite în tablul 2.4. și atestă o foarte bună comportare a îmbrăcămintei bituminoase al cărui strat de uzură a fost astfel realizat, densitățile aparente sînt mari, peste 2,33 g/cm<sup>3</sup>, absorbțiile de apă mici, pe sectoarele respective nu au apărut niciun fel de degradări, fapt ce

atestă că soluția propusă de calculator este eficientă și contribuie la realizarea unei îmbrăcăminți bituminoase cu performanțe fizico-mecanice superioare.

Tabel 2.4

Rezultate obținute pe carote, strat de uzură din beton asfaltic cu agregat mărunț bogat în criblură, prin folosirea sortului 8 - 16

DN 6, km.	Bitum %	Densi- tate aparen- tă g/cm <sup>3</sup>	Ab - sorb- ție de apă % vol.	Stabi- litatea Mars- hall daN	Fluaj Mars- hall mm	Rezistența la compresiune în daN/cm <sup>2</sup>	
						la 22°C	la 50°C
480+479 stg.	7,0	2,35	3,4	1200	4,0	40,0	20,0
482+987 stg.	6,9	2,34	3,2	1000	3,5	33,0	13,2
483+420 dr.	7,1	2,37	3,0	1200	3,0	36,0	14,0
484+360 stg.	6,9	2,32	4,4	1200	3,5	39,0	18,0
485+608 dr.	6,9	2,36	3,6	1100	3,3	40,0	20,0
486+010 dr.	7,0	2,35	3,0	1100	3,1	33,0	13,0
504+465 dr.	7,0	2,35	3,8	1250	3,8	40,0	17,0
505+118 stg.	6,9	2,34	4,6	1200	4,0	38,0	14,0
506+735 stg.	6,9	2,35	3,6	1250	3,5	36,0	13,0
525+665 stg.	7,0	2,33	4,0	1100	4,0	42,0	13,0
526+505 stg.	7,2	2,36	3,6	1270	3,0	40,0	17,0
527+020 dr.	7,2	2,36	3,4	1150	3,7	39,0	17,0

Anexa I, conține următoarele date:

- lotul din cadrul unității noastre, explicitat prin localitate;
- tipul de mixtură asfaltică solicitat conform proiectului;
- varianta cerută cu reducerea zonei granulometrice;
- varianta cerută cu limite impuse procentelor de materiale.

Dozaj agregat, conține codul fiecărui agregat, prețul tonei de agregat și procentele alese.

Prețul tonei de agregate în lei/t.

Observație privind încadrarea în limitele impuse.

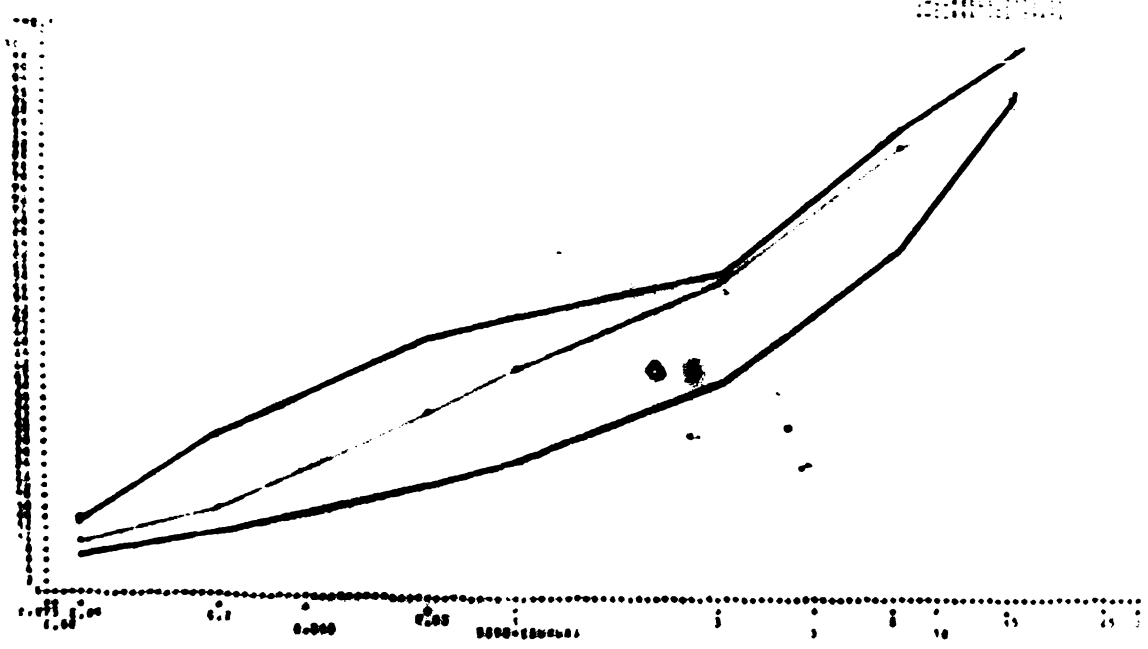
Curba granulometrică obținută, cu trecerile prin site și ciururi.

Anexa II reprezintă grafic curba granulometrică, obținută și o încadrează în zona granulometrică a fiecărui tip de mixtură aplicată.

Anexa II.

ZONA DE LA LONJITUDINAL STAS VENTOS SE  
CUMPLI GRADUACIONE DE LA LONJITUD

GRADUACIONE DE LA LONJITUD





DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...

Anexa I.

CONTINENTE DE AMERICA  
PARTIDA 24  
BATCH REPORTEO CU FEBRERO MARZO 2014  
MONEDA SI CON DECIMALES CUANTIFICACION  
CANTIDAD UNIDAD VALOR UNITARIO VALOR TOTAL

DETALLE DE INCORPORACION EN LIPIVOLA IMPRES  
CANTIDAD UNIDAD VALOR UNITARIO VALOR TOTAL

Anexa II.

...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...

Anexa III.

Anexa III (cartelele perforate), cuprinde datele prezentate în continuare.

Calculul suprafeței specifice, stabilind fracțiunile în procente:

- granule peste 10 mm,
- granule între 5 și 10 mm,
- granule între 0,315 și 5 mm,
- granule între 0,08 și 0,315 mm,
- granule sub 0,08 mm.

Suprafața specifică calculată în  $m^2/kg$ .

Dozajul de liant și compoziția mixturii asfaltice, pentru diferite valori ale modulului de conținut de la 3,5 la 4,5 cu intervale de 0,125.

#### 2.4.2. Proiectarea mixturilor asfaltice prin utilizarea aplicației informatice PROMIX

Aplicația informatică PROMIX /260/ /261/ se încadrează în domeniul tehnic al sectorului construcției și întreținerii drumurilor, avînd un caracter de calcul tehnico-ingineresc privind proiectarea mixturilor asfaltice în condițiile optimizării tehnico-economice complexe.

Față de aplicația OPTIMIX /260/ /261/ /262/, noua aplicație informatică PROMIX prezintă un caracter mai complet de generalizare în domeniul mixturilor asfaltice, permițînd proiectarea unei game variate de tipuri, care pot fi grupate astfel:

- anrobate bituminoase executate la cald;
- mortare asfaltice;
- betoane asfaltice bogate în criblură și rugoase pentru stratul de uzură;
- betoane asfaltice deschise pentru stratul de legătură;
- anrobate bituminoase executate la rece cu emulsie bituminoasă cationică sau anionică.

Aplicația informatică PROMIX oferă specialiștilor o gamă largă de soluții în ceea ce privește proiectarea unor mixturi asfaltice de bună calitate, în condițiile unor consumuri de materiale și energie cît mai reduse sau ale realizării altor obiective propuse.

Criteriile de optimizare incluse în rezolvarea PROMIX se referă la următoarele aspecte:

- minimizarea costului unitar total al mixturii asfaltice;

- minimizarea conținutului de liant din compoziția mixturii asfaltice;
- maximizarea conținutului de liant;
- minimizarea conținutului procentual al unui sort de agregat mineral, în funcție de condițiile locale;
- maximizarea conținutului procentual al unui sort la agregat mineral;
- minimizarea consumului de energie necesar producerii mixturii asfaltice.

#### 2.4.2.1. Metode și algoritmi de calcul

Metodele de calcul tehnico-ingenerești cuprinse în PROMIX sînt cele privind:

- respectarea restricțiilor tehnice ale instrucțiunilor cunoscute, transpuse în aplicație prin descrierea matematică adecvată;
- formularea matematică a considerațiilor proprii suplimentare (restricții impuse etc.);
- stabilirea dozajului necesar de liant după metoda suprafeței specifice totale adaptată la condițiile programării liniare.

Pentru mixturile asfaltice, determinarea compoziției acestora este definită prin rezolvarea unei funcții obiectiv dată de un criteriu de optimizare urmărit. Metoda de calcul privind stabilirea soluțiilor optime pentru o variantă bine definită (prin tip mixtură asfaltică, nivel și criterii, de optimizare, restricții tehnice și suplimentare, condiții de execuție) se bazează pe exploatarea posibilităților metodei SIMPLEX în condițiile pachetului de programe OPALINE, varianta dezvoltată, "PROGENCD, UN:2 (ICI)" /262/. Se urmărește rezolvarea în final a sistemului:

$$FN, C, O = \sum_{j=1}^n (C_{N, C, O})_j X_j; \quad j = 1, \dots, n \quad (2.16)$$

$$\sum_{j=1}^n (a_{N, C, O})_{i, j} X_j \leq (b_{N, C, O})_i; \quad I = 1 \dots m \quad (2.17)$$

$$X_j \geq 0 \quad (2.18)$$

în care:  $X_j$  sînt necunoscutele problemei, adică proporțiile procentuale în care participă în compoziția amestecului dat materialele componente de ordinul  $j$ , admise în analiză;

N,C,O, - simboluri privind încadrarea concretă a cazului de analiză într-un caz particular definit prin nivelul de optimizare N, concepție, fabricație, punere în operă; "criteriul de optimizare C" și "condițiile organizatorice generale O";

a,b,c, - coeficienți numerici ai sistemului prestabilit pe parcursul proiectării aplicației (date fixe, date variabile, valori antecalculate după caz);

j - simbolul materialelor componente admise în analiză. Materialele j cuprind agregatele de carieră și balastieră, fierele, lianții bituminoși;

i - simbolul numărului de ordine al relațiilor de restricție;

$F_{N,C,O}$  - simbolul funcției obiective a sistemului.

Soluționarea sistemului urmărește realizarea, pentru fiecare variantă de caz bine definită a situației ca atare:

$$F_{N,C,O} = \min.\max. \quad (2.19)$$

Restricțiile i pot fi grupate în următoarele categorii:

- restricții de granulozitate, privind încadrarea curbei granulometrice a scheletului mineral proiectat în zona granulometrică impusă, cu reduceri de 40...20 %, la alura curbei;

- restricții de alcătuire a scheletului mineral prin reducerea la minim a unu sau doi componenți, proporția relativă a acestora;

- restricții privind dozajul de liant și agregate minerale (limite absolute și relative).

Metoda programării liniare din programul OPTIMIX a fost menținută și în PROMIX pentru soluționarea amestecului de agregate minerale.

O variantă de mixtură asfaltică supusă soluționării este definită prin:

- destinația organizatorică (șantier, temă de cercetare etc.);

- clasă, grupă și tip de mixtură asfaltică;

- funcționalitate sau destinație în lucrarea rutieră;

- materiale componente;

- condiții suplimentare privind zona granulometrică și alura curbei granulometrice a scheletului mineral;

- modulul de conținut;

- tipul stației de preparare;

- alte caracteristici (restricții).



\*\*\*\*\*  
SPROMIX-79  
\*\*\*\*\*

DIRECTIA DRUMURILOR  
BUCURESTI

PROIECTIA SI DESFUSORUL DE TRASEE SI PLANUL DE TRASEE  
PENTRU CATEGORIA DE TRASEE DE PARCARE SI  
PENTRU CATEGORIA DE TRASEE DE PARCARE SI  
PENTRU CATEGORIA DE TRASEE DE PARCARE SI

PROIECTIA SI DESFUSORUL DE TRASEE SI PLANUL DE TRASEE  
PENTRU CATEGORIA DE TRASEE DE PARCARE SI  
PENTRU CATEGORIA DE TRASEE DE PARCARE SI  
PENTRU CATEGORIA DE TRASEE DE PARCARE SI

PROIECTIA SI DESFUSORUL DE TRASEE SI PLANUL DE TRASEE  
PENTRU CATEGORIA DE TRASEE DE PARCARE SI  
PENTRU CATEGORIA DE TRASEE DE PARCARE SI  
PENTRU CATEGORIA DE TRASEE DE PARCARE SI

PROIECTIA SI DESFUSORUL DE TRASEE SI PLANUL DE TRASEE  
PENTRU CATEGORIA DE TRASEE DE PARCARE SI  
PENTRU CATEGORIA DE TRASEE DE PARCARE SI  
PENTRU CATEGORIA DE TRASEE DE PARCARE SI

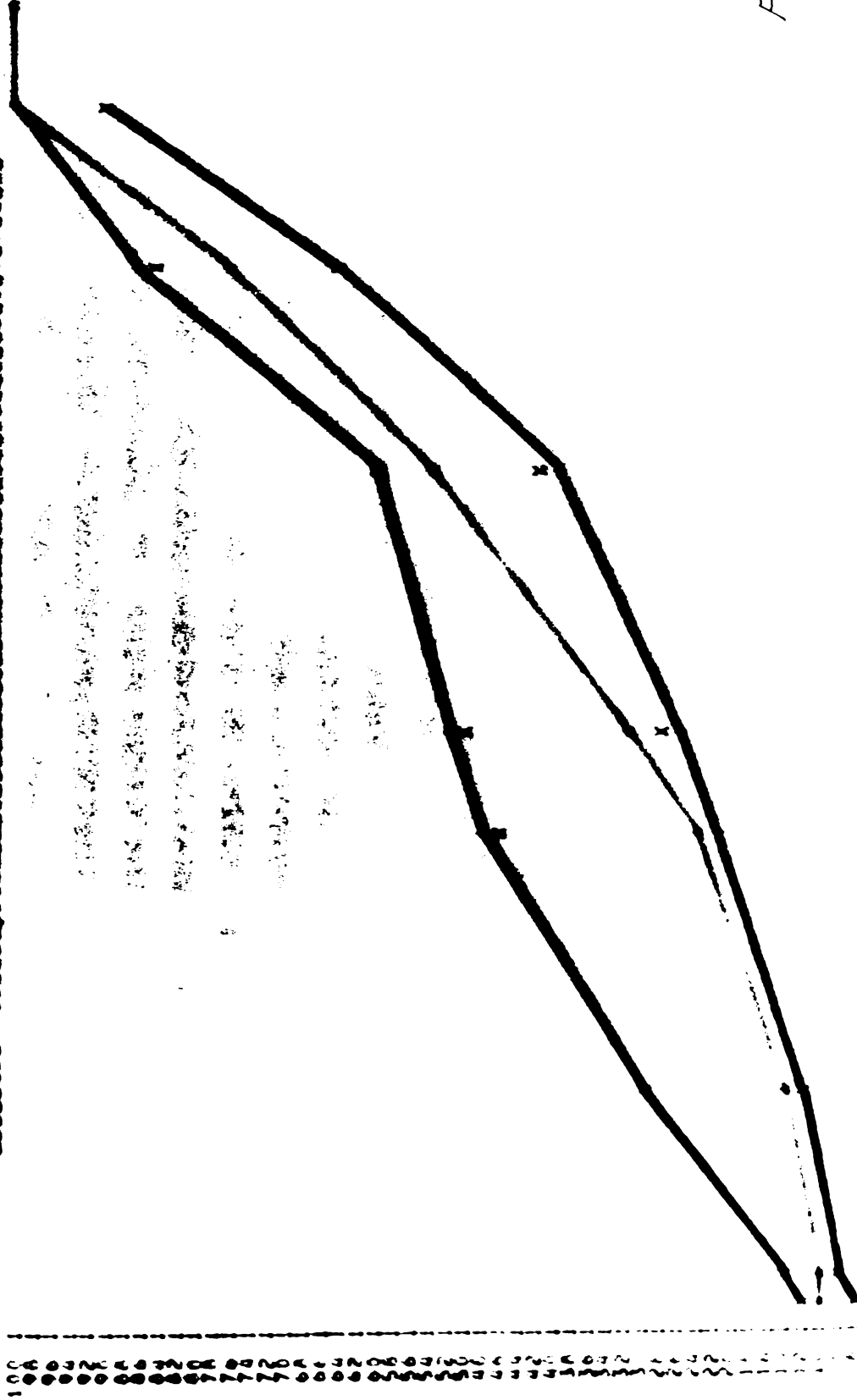


Fig. 2.12





Aplicația cuprinde de asemenea un modul al unor calcule tehnico-inginerești auxiliare, cu titlu orientativ, care oferă aprecieri privind valorile probabile ale unor caracteristici fizice și mecanice ca de exemplu: coeficientul de uniformitate a scheletului mineral, raportul părți fine bitum, indicele de eficiență tehnico-economică etc. (fig. 2.12.b).

CONCLUZII. Aplicația informatică PROMIX permite ca, pe baza datelor de intrare furnizate de un laborator de specialitate privind compoziția granulometrică a fiecărui agregat mineral care intră în alcătuirea scheletului mineral al mixturilor asfaltice, să se poată elabora o gamă largă de dozaje optimizate după următoarele criterii:

- minimizarea costului unitar;
- minimizarea conținutului de liant bituminos;
- minimizarea sau maximizarea conținutului dintr-un agregat mineral dat;
- minimizarea consumului de energie necesar producerii mixturii asfaltice;
- alte criterii de optimizare, definite după necesități.

Folosind programul PROMIX, specialiștii din laborator pot alege dintr-o foarte largă gamă de compoziții furnizate de calculator, pe cele care corespund cel mai bine condițiilor locale, funcție de agregatele existente în stoc, agregate locale, proporții impuse pentru diferite sorturi etc.

Menționez că după alegerea câtorva variante este necesar ca soluțiile obținute să fie verificate prin realizarea în laborator a mixturilor asfaltice executându-se încercările privind rezistența la compresiune, stabilitatea și fluajul, densitatea aparentă, absorbția de apă și volumul de goluri. Dacă aceste deziderate sînt îndeplinite se poate trece la execuția acestor tipuri de mixturi asfaltice pe șantiere în instalațiile de producere a mixturilor asfaltice.

În ceea ce privește eficiența economică, în cazul aplicării criteriului de minimizare a costului se înregistrează următorii indici:

- |   |                |
|---|----------------|
| - eficiența economică directă, exprimată în procente față de valoarea producției de mixturi asfaltice | $E_d = 0,1 \%$ |
| - eficiența economică indirectă   | $E_i = 1,6 \%$ |
| - eficiența economică totală  | $E_t = 1,7 \%$ |

- termenul de recuperare a cheltuielilor  
inițiale

$$T_r = 1 \text{ an}$$

Urmărind cu prioritate, alte criterii de calcul, impuse de necesitățile reale, concrete ale condițiilor de execuție, aplicația oferă soluții utile și adecvate.

În ceea ce privește problema minimizării consumului de energie la fabricarea mixturilor asfaltice, aplicația oferă facilități multiple. De asemenea, există posibilitatea exploatarea funcției obiectiv auxiliare pentru minimizarea consumului de energie de fabricație și punere în operă, sau chiar a energiei totale consumată la obținerea și transportul materialelor, cumulate cu cele anterioare.

Folosind aplicația PROMIX în anul 1981 și din experimentările efectuate în cadrul laboratorului central al Direcției drumuri și poduri Timișoara, reiese utilitatea și eficiența acesteia și se estimează ca în viitor cu unele adaptări aplicația va putea fi utilizată și pentru proiectarea compoziției betoanelor de ciment.

Aplicația PROMIX se încadrează armonice în sistemul informațional-informatic, în cadrul subsistemului calculelor tehnico-ingineresti din domeniul rutier.

#### 2.5. Contribuții originale aduse la îmbunătățirea proiectării mixturilor asfaltice.

Urmare studiilor și cercetărilor întreprinse în vederea îmbunătățirii proiectării mixturilor asfaltice am adus următoarele contribuții originale:

- în scopul aprecierii calității criblurilor folosite la prepararea mixturilor asfaltice, am realizat și omologat aparatul Los Angeles pentru determinarea rezistenței la uzură și am stabilit condițiile de lucru pentru fiecare sort de criblură 3-8, 8-16 și 16-25, precizând condițiile de lucru, numărul bilelor folosite ca abrazivi și valorile rezistenței la uzură pentru fiecare în parte. Urmare experimentărilor efectuate, în ultimii ani aceste aparate au fost introduse în dotarea laboratoarelor de specialitate din țară;

- în vederea determinării suprafeței specifice a filelului utilizat la producerea mixturilor asfaltice, am realizat în colaborare cu Institutul Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara un aparat de tipul unei centrifuge care permite determinarea

rapidă a suprafeței specifice a filerului, necesară în continuare pentru proiectarea judicioasă a mixturilor asfaltice;

- pentru prima dată în țară prin realizarea programului OPTIMIX am obținut cu ajutorul programului de calcul o proiectare judicioasă a mixturilor asfaltice, introducând programul pentru toate cele 17 formații de mixturi asfaltice din cadrul Direcției drumuri și poduri Timișoara, cu rezultate deosebit de bune. Prin folosirea aplicației OPTIMIX s-a putut trece la stabilirea unui dozaj optim de beton asfaltic cu agregat mărunț bogat în criblură, prin folosirea numai a sortului 8-16, cu rezultate bune în exploatare, comportarea sectoarelor astfel executate dând rezultatele scontate de-a lungul anilor;

- am colaborat la elaborarea într-o concepție originală a unei noi aplicații PROMIX pentru proiectarea mixturilor asfaltice, în condițiile optimizării tehnico-economice complexe și a implementării acesteia cu rezultate favorabile mai ales în condițiile minimizării consumului de bitum pentru a realiza economii de bitum.

## Capitolul 3

### CONTRIBUTII LA STUDIAREA SI REALIZAREA MIXTURILOR ASFALTICE, PRIN FOLOSIREA NISIPURILOR BITUMINOASE DIN JUDETUL BIHOR, BAZINUL DERNA-TATARUS

#### 3.1. Generalități

Nisipurile bituminoase din bazinul Derna-Tătăruș Budoi au fost utilizate încă în imperiul austro-ungar la obținerea unor mixturi asfaltice pentru asfaltarea străzilor în Viena și Buda Pesta /126/ datorită proprietăților deosebite ale bitumului natural din aceste nisipuri, bitum lipsit complet de parafină, comparabil prin calitate sa cu renumitul bitum de Trinidad./126/

Ani de-a rândul nisipurile bituminoase n-au mai fost folosite, datorită unui ritm foarte scăzut de modernizare a drumurilor în perioada 1918-1944, când erau prelucrate doar pentru obținerea unor uleiuri pe scară mică.

Readucerea lor în actualitate este meritul unor valoroși cercetători de la Institutul de Cercetări în Transporturi secția de drumuri, care au studiat temeinic nisipurile bituminoase /126/ au elaborat tehnologia de producere a mixturilor asfaltice, au modificat instalațiile de preparare, de la încălzirea în contracurent la încălzirea în echicurent, au studiat condițiile de punere în operă și au elaborat în final normativele necesare sectorului de drumuri, pentru a se putea trece apoi pe scară largă la folosirea acestui lient bituminos.

Eforturile depuse au fost încununate de succes, astfel că de la primele experimentări din anul 1957 s-a trecut din anul 1960 la folosirea nisipurilor bituminoase în temerare acțiuni de asfaltare a drumurilor naționale, județene și locale din zonele limitrofe zăcămintelor /126/ /29/ /30/ /181/ /182/.

În perioada 1959-1970 s-au executat peste 5000 km îmbrăcăminți bituminoase din mixturi asfaltice cu nisipuri bituminoase.

După 1970, întrucât drumurile naționale au beneficiat de bitumul produs de rafinăriile din țară, folosirea nisipurilor bituminoase s-a restrâns, astfel încât ele au fost dirijate cu precădere pentru realizarea îmbrăcăminților bituminoase pe drumurile județene și locale.

Direcția drumuri și poduri Timișoara, a lucrat în pe -  
rioada 1960-1970 cu nisipuri bituminoase modernizând aproximativ  
700 km de drumuri în cadrul regionalei noastre pe trasee foarte  
diferite, DN 6 Caransebeș-Lugoj-Timișoara , DN 7  
Iliia-Arad, DN 58 Caransebeș-Reșița, DN 58 A Lugoj-Ezeriș, DN 59  
Timișoara-Moravița, DN 66 Petroșani-Hățeg-Simeria, DN 66 A Petro-  
șani-Cîmpu lui Neag, DN 68 Caransebeș-Hățeg, DN 68 A Lugoj-Dum-  
brava, DN 69 Timișoara-Arad, DN 76 Deva-Brad, DN 79 Arad-Zerind  
și DN 79 A Chișineu Criș-Vârșand frontiera R.P.Ungară. Pe harta  
din fig.3.1. sînt prezentate drumurile pe care s-au executat  
îmbrăcăminți bituminoase folosind nisipul bituminos.

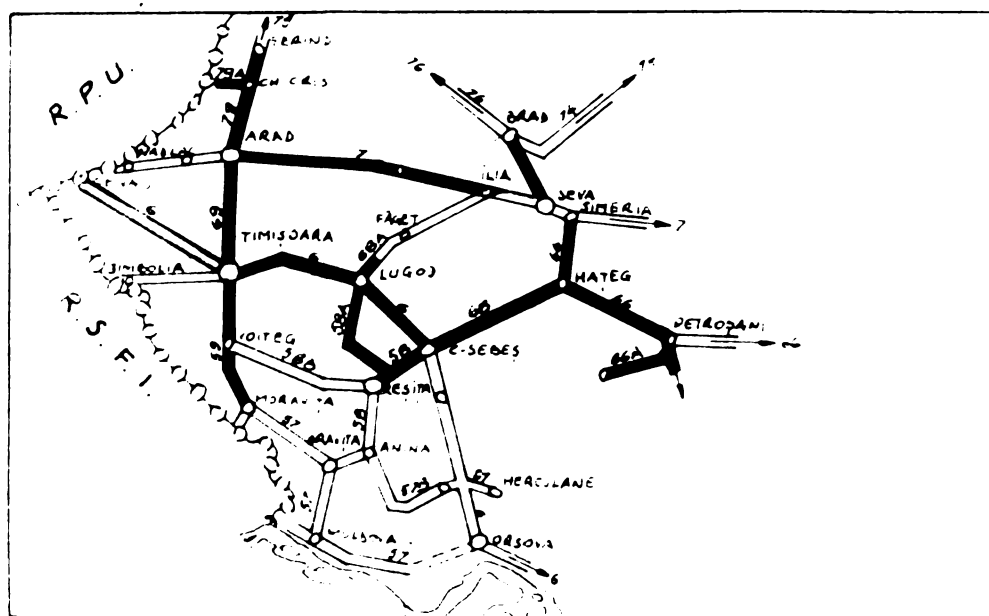


Fig. 3.1. Drumurile naționale din raza D.P. Timișoara pe care  
s-au executat îmbrăcăminți cu nisip bituminos

Datorită acestui fapt am avut la dispoziție un volum  
foarte mare de date peste 3500 încercări realizate pe mixturi as-  
faltice și pe carote, permițînd să se studieze atît în laborator  
cît și în "situ" comportarea acestor îmbrăcăminți, avînd posibi-  
litatea de a urmări în timp evoluția lor prin prelevarea unui  
număr mare de probe, care au fost studiate și analizate în labo-  
ratorul nostru și în unele cazuri la Institutul de Cercetări-  
secția drumuri- laboratorul de mixturi asfaltice.

In aceste condiții existînd foarte multe posibilități  
de studiu și domenii încă neabordate, am adus o serie de contribu-  
ții la proiectarea și elaborarea dozajelor acestor mixturi asfal-  
tice.



### 3.2. Contribuții aduse la elaborarea dozajelor pentru mixturile asfaltice realizate cu nisip bituminos

Una din problemele importante, care se pune înainte de începerea producerii mixturilor asfaltice, constă în stabilirea unor dozaje judicioase, pentru fiecare tip de mixtură asfaltică, ținând cont de caracteristicile agregatelor aprovizionate și ale nisipului bituminos, precum și de condițiile de trafic și climă, în care se va executa și va fi exploatată îmbrăcămintea bituminoasă /31/ /26/.

Intrucât metoda de calcul a dozajului de liant în funcție de volumul de goluri se poate aplica foarte greu în cazul acestor mixturi asfaltice, deoarece bitumul este inclus, în nisipul bituminos, ar fi fost necesare operații foarte laborioase și greoaie pentru separarea unei cantități mari de liant pentru a stabili volumul de goluri al agregatului total.

Relația de calcul pentru necesarul de liant prin metoda volumului de goluri este:

$$b = \frac{(V_g - n) \rho_b}{\rho_{gi}} 100 \quad (\%) \quad (3.1)$$

b, reprezintă conținutul de bitum exprimat în procente, raportat la masa agregatului total

$V_g$ , volumul de goluri în stare îndesată, al agregatului total determinat în laborator și exprimat în procente,

n, volumul de goluri remanent în mixtura asfaltică după compactare și care variază între 2...6 %,

$\rho_b$ , densitatea bitumului,

$\rho_{gi}$ , densitatea în stare îndesată a agregatului mineral total.

Pentru a evita aceste operații greoaie și seria mare de încercări pe care le implică am considerat util să <sup>se</sup> determine necesarul de liant prin metoda suprafeței specifice, admitând că dacă granulele agregatului mineral sînt bine anrobate și legate între ele se obțin mixturi asfaltice insensibile la acțiunea apei, rezistente și durabile.

În condițiile date, studiind literatura de specialitate am considerat că relația care ar putea fi aplicată cel mai ușor în cazul de mai sus ar fi cea propusă de M. Duriez, bazată pe cal-

culul suprafeței specifice /86/ /87/.

$$b = K \sqrt[5]{S} \quad (\%) \quad (3.2)$$

b este conținutul de bitum raportat la masa agregatului total;

S suprafața specifică a agregatului în  $m^2/kg$ ;

K modulul de conținut a cărui valoare urma s-o determin mai exact pe baza rezultatelor obținute pe sectoare cu comportare bună, mediocră și rea.

S se calculează cu relația:

$$100 S = 0,33 A + 2,30 N + 12 n + 135 f \quad (3.3)$$

A reprezintă procentul de agregate cu dimensiunea peste 5 mm;

N procentul de granule cu dimensiunile între 5 și 0,315 mm;

n procentul de granule cu dimensiunile între 0,315 și 0,08 mm ;

f procentul de granule sub 0,08 mm.

Pornind de la constatarea că nisipul bituminos intră în proporție de 35...45 % în componența betoanelor asfaltice pentru stratul de uzură, în funcție de conținutul său de bitum este necesar să se urmărească și compoziția sa granulometrică, deoarece agregatul din nisipul bituminos este foarte fin și deci suprafața lui specifică proprie intervine cu pondere importantă la stabilirea necesarului de liant.

Se prezintă în continuare în tabelul 3.1 câteva curbe granulometrice ale nisipului bituminos analizat.

Tabel 3.1

Curba granulometrică a nisipului bituminos

Curba granulometrică	1	2	3	4
trece prin sita de 0,08 mm, %	10,3	13,2	12,7	18,1
trece prin sita de 0,09 mm, %	18,4	17,8	17,2	24,5
trece prin sita de 0,2 mm, %	66,2	69,8	64,1	66,0
trece prin sita de 0,6 mm, %	93,0	94,3	95,2	87,1
trece prin ciur de 3 mm, %	96,6	97,7	98,5	94,7
trece prin ciur de 5 mm, %	100,0	100,0	100,0	100,0

Din rezultatele obținute se observă că prin sita de 0,2 mm trece între 64,1...69,8 % din agregatul total, fapt ce confirmă premisele privind finețea nisipului din nisipul bituminos.

Experimentările efectuate în laborator au avut ca scop determinarea modulului de conținut  $K$ , care să asigure cele mai bune caracteristici fizico-mecanice. În acest scop s-au preparat o serie de epruvete din beton asfaltic cu agregat mărunț sărac în criblură, pentru  $K = 4,0, 4,25$  și  $4,50$ , pentru <sup>aceleași</sup> suprafață specifică. Caracteristicile fizico-mecanice medii pe epruvete se pot urmări în tabelul 3.2.

Tabel 3.2

Caracteristicile fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice realizate cu nisip bituminos

Proba	K	bitum în %	Rezistența la compresiune la 22°C daN/cm <sup>2</sup>	Densitate aparentă g/cm <sup>3</sup>	Absorb- ție de apă % vol
1	4,0	7,0	40,0	2,16	13,3
2	4,25	7,4	38,0	2,17	8,5
3	4,50	7,7	39,0	2,19	5,6

Examinînd rezultatele obținute, se constată că absorbția de apă minimă de 5,6 % se obține pentru un modul de conținut de 4,50. Se apreciază că se obțin rezultate corespunzătoare și la un modul de conținut de 4,25, absorbția de apă fiind 8,5 % față de 9,0 % maxim admis.

Aceleași determinări s-au efectuat și pentru stabilirea modulului de conținut necesăr pentru betonul asfaltic deschis folosit în stratul de legătură și pentru anrobatele bituminoase.

Verificarea modulului de conținut a fost făcută și pe carote prelevate din diferitele straturi, determinîndu-se suprafața specifică, procentul de liant necesar prin calcul și cel real obținut, rezultatele fiind prezentate în tabelul 3.3.

Din interpretarea datelor prezentate în tabelul 3.3 se constată că pentru probele studiate, al căror conținut de bitum corespunde suprafeței specifice a agregatului mineral total, sectorul de drum de pe care au fost prelevate carotele se prezintă corespunzător. Pentru proba notată cu 3, care este un beton

Tabel 3.3

Rezultatele încercărilor efectuate pentru stabilirea modului de conținut de bitum K

Nr. crt.	P r o b a	Suprafața K modulul specifi- de conți- că m <sup>2</sup> /kg nut	Bitum % cal- real cu- lat	Rezistența la compre- siune la 22°C daN/ cm <sup>2</sup>	Punct de înnuiere I și B °C	Absorbția de apă % vol.	Observații
1	Beton asfaltic pentru strat de uzură DN 69	18,0	4,5 7,4 7,4	48,0	49,0	4,4	bun
2	Beton asfaltic pentru strat de uzură DN 7	26,0	4,5 8,0 8,0	40,0	50,0	6,5	bun
3	Beton asfaltic pentru strat de uzură DN 69	22,0	4,5 7,7 9,0	20,0	35,0	3,0	exces de liant și bitum moale vălurire
4	Beton asfaltic pentru strat de legătură DN 6	10,0	3,5 5,25 5,1	-	42,0	6,7	bun
5	Anrobete bitumi- nose DN 68 A	13,0	3,75 5,9 5,8	31,0	50,0	8,0	bun
6	Anrobete bitumi- nose DN 58 A	16,0	3,5 5,75 5,6	39,0	49,0	8,5	bun

asfaltic cu agregat mărunt sărac în criblură, cu o suprafață specifică totală de  $22 \text{ m}^2/\text{kg}$  adoptînd un modul de conținut  $k = 4,5$ , necesarul de bitum ar fi  $7,7 \%$ , dar, conform analizei efectuate se constată că proba conține  $9,0 \%$  bitum deci un exces de liant, combinat concomitent și cu un liant moale, punct de înmuiere  $35^\circ\text{C}$ , rezistență la compresiune la  $22^\circ\text{C}$  de numai  $20 \text{ daN/cm}^2$ , fapt ce a condus la vălurirea sectorului respectiv și la necesitatea de a-l repara.

Ținînd cont de rezultatele cele mai bune obținute pe epruvete și mai ales pe probele prelevate din îmbrăcămintea executată atît imediat după execuție cît și la  $1...3$  ani, am recomandat următoarele valori pentru modulul de conținut K:

- pentru bețoane asfaltice utilizate în strat de uzură  $K = 4,25...4,50$  ;
- pentru bețoane asfaltice utilizate în strat de legătură  $K = 3,50$  ;
- pentru anrobate bituminoase  $K = 3,50...3,75$  .

Pentru facilitarea calculelor a fost întocmit tabelul care dă în funcție de suprafața specifică și modulul de conținut, direct, cantitatea de bitum raportată la mixtura asfaltică.

Studiile întreprinse de autoare au fost încununate de succes, aplicarea metodei a fost brevetată ca inovație în anul 1967 brevet de inovație 113/1967 publicată în reviste de specialitate, în Indrumătorul pentru laboratorul șantierului de drumuri ediția 1966 și 1971 și generalizată pe țară cu actul Direcției tehnice MTTc nr.83183 din 2 aprilie 1968 fiind folosită în laboratoarele de specialitate /26/ /29/ /31/ /177/ /182/.

Ulterior dovedindu-și eficiența metoda a fost adaptată și pentru anrobatele și mixturile asfaltice care foloseau drept liant bitumul tip D obținut de la rafinării.

În continuare se vor trata contribuțiile pe care le-am adus la realizarea anrobațelor și bețoanelor asfaltice prin folosirea nisipului bituminos.

bituminoase cu caracteristici fizico-mecanice diferite, care au permis punerea în evidență a unor aspecte deosebite referitor la concepția și proiectarea acestora. Imbrăcămintele bituminoase ușoare s-au executat pe DN 68 A Lugoj-Ilia, DN 58 A Lugoj-Ezeriș și pe DN 79 A Chișineu Criș-Vârșand./27/ /181/.

Pentru a folosi pe scară cât mai largă agregatele locale s-au studiat mai multe variante și anume balastul local de Timiș care a fost concasat și un split 3..25 mm obținut ca agregat local din carierele Zam și Bătuța.

### 3.3.1. Studii privind anrobatele bituminoase realizate cu pietriș concasat și nisip bituminos

Materialele utilizate pentru producerea anrobatelor bituminoase au fost: balastul ciuruit și concasat, filerul de calcar, nisipul bituminos și bitumul dur industrial.

Balastul din Timiș a fost ciuruit separându-se în nisip 0...7 mm și pietriș 7...71 mm, care a fost supus apoi operației de concasare, obținându-se un pietriș 7...30 mm, în compoziția căruia 55 % din granule sînt concasate.

Filerul de calcar de la Căvăran, a cărui compoziție granulometrică este prezentată în tabelul 3.4.

Nisipul bituminos, caracterizat printr-un conținut de bitum natural, cuprins între 13...15 % și un punct de înmuiere I și B de 10...17°C. Analiza de grupă a bitumului natural arată că acesta este alcătuit din: 67...72 % uleiuri, 20...22 % rășini și 10...11 % asfaltene. Bitumul natural din nisipul bituminos se caracterizează printr-o consistență redusă și se precizează că a fost complet lipsit de parafină.

Pentru corectarea consistenței bitumului natural s-a folosit un bitum dur industrial, avînd penetrația la 25°C, 10...15 zecimi de mm și punctul de înmuiere I și B de 85...90°C.

Compoziția granulometrică medie a agregatelor minerale folosite pentru producerea anrobatelor bituminoase este prezentată în tabelul 3.4.



Tabel 3.4

Compoziția granulometrică a agregatelor  
minerale

Materiale	Procente rămase pe ciur și sita de ... mm								Trece prin sita de 0,09 mm %
	25	15	7	3	1	0,6	0,2	0,09	
Pietriș 7...30 mm	20,2	42,6	26,1	7,5	2,0	1,6	-	-	-
Nisip 0...7 mm	-	-	18,0	37,0	35,0	6,0	1,2	1,0	1,8
Nisip din nisipul bituminos	-	-	-	0,4	0,7	1,5	39,0	37,0	21,4
Filer de calcar	-	-	-	-	2,8	3,9	15,0	18,1	60,2

Dozajele utilizate, au fost elaborate pe baza încercărilor de laborator, urmărind obținerea unui raport 80/20 între bitumul natural și bitumul industrial în prima fază de experimentare, apoi pe baza rezultatelor obținute s-a trecut la modificarea acestui raport la 75/25, mărind concomitent și procentul total de liant.

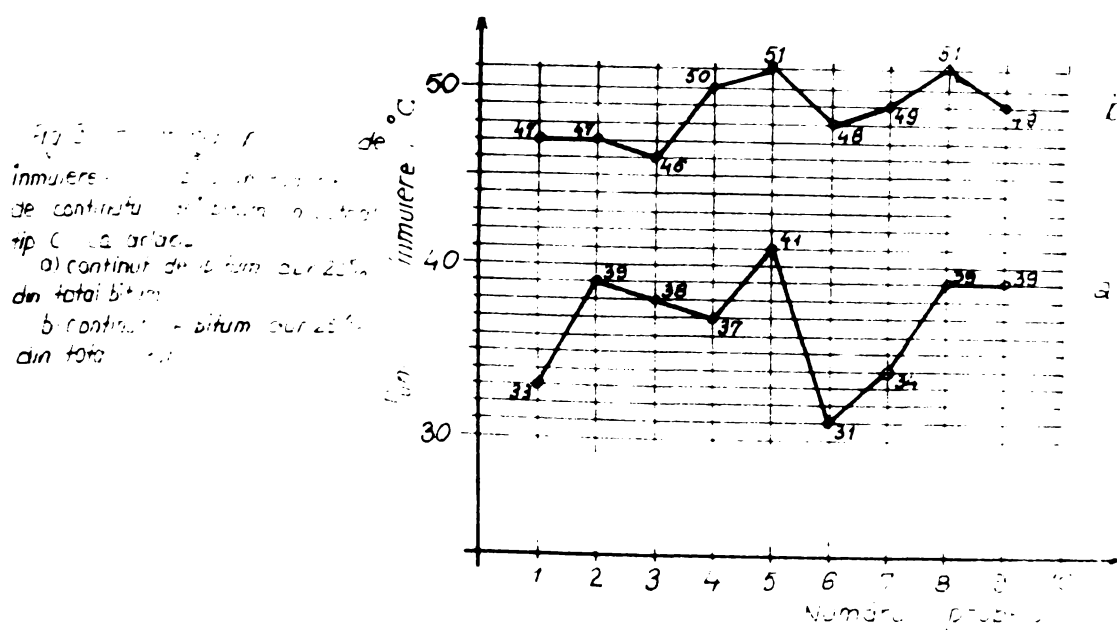
Tabel 3.5

Materiale	Dozaj 1			Dozaj 2			Dozaj 3		
	do- zaj %	bi- tum %	agre- gate %	do- zaj %	bi- tum %	agre- gate %	do- zaj %	bi- tum %	agre- gate %
Nisip bituminos (13,6 %)	30,0	4,0	26,0	31,4	4,3	27,1	29,2	4,0	25,2
Bitum industrial 10/15	1,0	1,0	-	1,0	1,0	-	1,3	1,3	-
Pietriș 7-30 mm	31,0	-	31,0	30,0	-	30,0	31,0	-	31,0
Nisip 0-7 mm	33,0	-	33,0	32,6	-	32,6	33,5	-	33,5
Filer calcar	5,0	-	5,0	5,0	-	5,0	5,0	-	5,0
TOTAL	100,0	5,0	95,0	100,0	5,3	94,7	100,0	5,3	94,7

Se observă că în dozajele 1 și 2, raportul între bitumul natural și bitumul industrial reprezintă 80/20. Intrucât la analiza anrobotelor bituminoase imediat după fabricare s-au obținut puncte de înmuiere cu valori cuprinse între 31-41°C a fost necesar să se modifice dozajele astfel încât să se ridice punctul de înmuiere la valori cuprinse între 45-51°C și în consecință în

dozajul 3, raportul bitum natural/bitum industrial a fost ridicat la 75/25.

În figura 3.2. se poate urmări variația punctului de înmuiere înel și bilă, în funcție de conținutul de bitum industrial. Varianta a reprezintă această variație la raportul 80/20 între bitumul natural și cel industrial, iar varianta b la raportul 75/25.



Această modificare a dozajelor a contribuit la creșterea rezistenței la compresiune la 22°C, de la 20...27 daN/cm<sup>2</sup> la 30...36 daN/cm<sup>2</sup>. Prin creșterea procentului de bitum total de la 5,0 la 5,3 % s-a micșorat concomitent și absorbția de apă de la 13,0 % la 9,5 %./181/.

### 3.3.1.1. Caracteristicile fizico-mecanice ale anrobate- lor bituminoase și comportarea lor în exploa- tare

După prepararea anrobateelor bituminoase în instalațiile de producere a mixturilor asfaltice, cu încălzire în echicurent, acestea au fost așternute pe stratul de fundație din balast cilindrat și consolidat în mod corespunzător având o grosime minimă de 30 cm. Imbrăcămintea bituminoasă ușoară a avut o grosime de 6,0 cm după compactare. În fig.3.3 este prezentat sistemul rutier realizat.

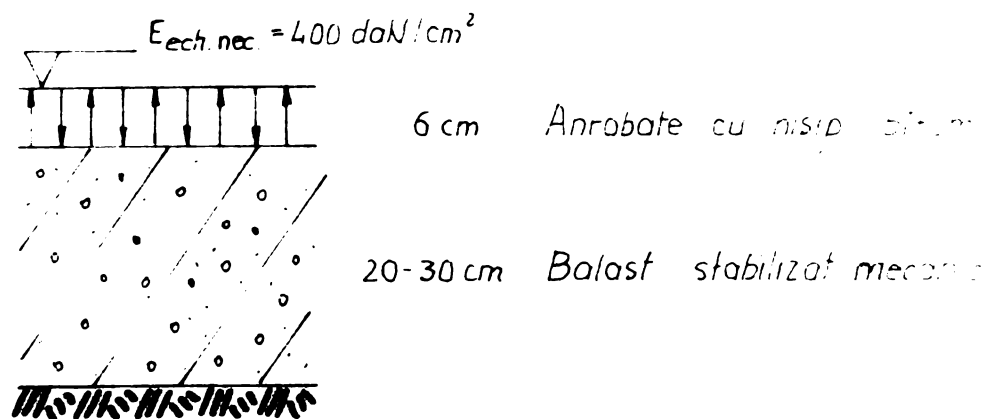


Fig. 3.3 Sistem rutier cu îmbrăcămintă bituminoasă ușoară

Examinînd carotele prelevate din îmbrăcămintea realizată s-au obținut o serie de date, care au permis formularea unor observații mai importante cu privire la conținutul de liant, compoziția granulometrică etc.

Cu privire la conținutul de liant. S-au prelevat carote din îmbrăcămintea bună, închisă, etanșă și din sectoare cu îmbrăcămintă poroasă deschisă, cu agregatul mineral vizibil și mici degradări locale, considerată necorespunzătoare. Grupînd rezultatele obținute s-a ajuns la următoarele tipuri de anrobate bituminoase specificate în tabelul 3.6.

Tabel 3.6

Rezultate medii pe carote

Caracteristici	Tipuri de anrobate				
	1	2	3	4	5
Compoziția granulometrică în %:					
3...30 mm	53,0	50,4	43,0	45,4	45,5
0,2...3 mm	21,7	29,9	35,0	28,2	27,5
0,2...0,08 mm	15,5	10,3	15,7	17,4	17,0
sub 0,08 mm	9,8	9,4	6,3	9,0	10,0
Bitum total %	3,9	4,6	4,9	5,1	5,6
Punct de înmuiere I și B în °C	47,0	47,0	51,0	39,0	50,0

Caracteristici	Tipuri de anrobate				
	1	2	3	4	5
Rezistența la compresiune la 22°C, daN/cm <sup>2</sup>	29,0	38,0	35,0	25,0	39,0
Absorbția de apă % vol.	14,0	12,0	10,0	9,5	8,5
Constatări pe teren referitor la suprafața îmbrăcămin- tei	neco- resp.	neco- resp.	hună-	bună	bună

Tipurile de anrobate bituminoase 1 și 2 (din tabelul 3.6.) au fost prelevate din îmbrăcămintea bituminoasă necorespunzătoare, poroasă, cu granule neanrobate. Cauza acestor defecțiuni se datorește unui conținut insuficient de liant sub 4,0 % ceea ce a condus la o absorbție de apă mare 14,0 %...12 %. Concluzia ce rezultă din aceste date referitor la conținutul real de liant, grată că probele cu un conținut de 4,9...5,6 % bitum sînt corespunzătoare, iar sectoarele cu un conținut mai redus de liant trebuie neapărat etanșate.

În consecință pentru realizarea unor anrobate bituminoase de acest tip și peste care nu se realizează o etanșare fie cu un tratament bituminos fie cu un strat de închidere etanș din mortar asfaltic, este necesar să se mărească procentul de liant total astfel încît să se realizeze 5,0...6,0 % bitum total în anrobatele ce se vor executa în viitor.

Referitor la compoziția granulometrică. Din examinarea a 100 probe, curbele granulometrice au arătat că zona granulometrică se poate lărgi față de cea inițial considerată bună, astfel încît să se obțină concomitent caracteristici fizico-mecanice corespunzătoare.

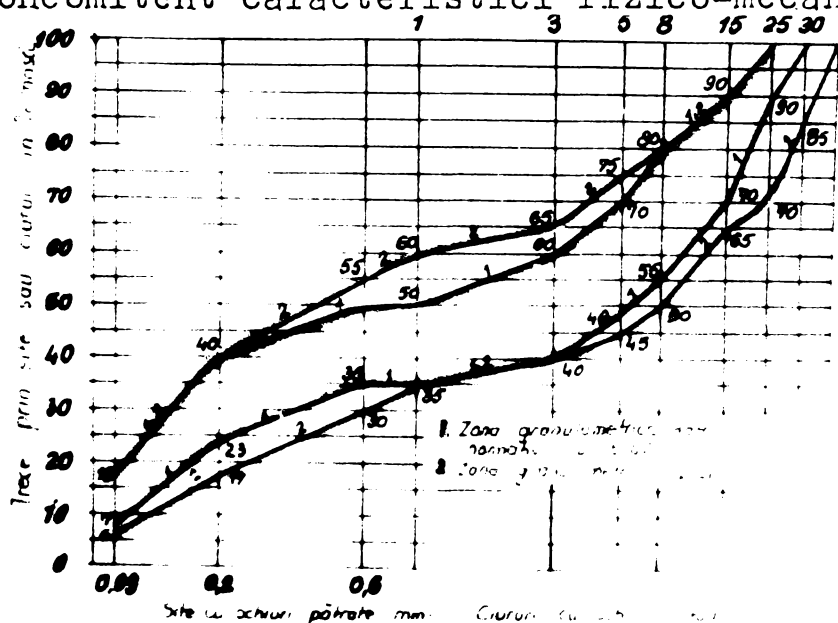


Fig 3.4 Zone granulometrice pentru anrobate bituminoase

Cu privire la valoarea deflexiunilor determinate cu deflektometrul

Din măsurătorile efectuate se constată că valorile deformațiilor sînt corespunzătoare, ceea ce atestă o portanță satisfăcătoare a sistemului rutier realizat. Valorile deflexiunilor măsurate sînt prezentate în tabelul 3.7.

Tabel 3.7

Valorile deflexiunilor măsurate de deflektometrul Benkelmann

Drumul și poziția km	Valoarea deflexiunilor în mm		
	0,5 m dreapta	axă	0,5 m stînga
DN 68 A km 2 + 000	0,30	0,16	0,20
3 + 000	0,32	0,22	0,36
4 + 000	0,40	0,40	0,40
5 + 000	0,40	0,22	0,46
6 + 000	0,36	0,32	0,40
7 + 000	0,40	0,60	0,60
8 + 000	0,44	0,32	0,18
9 + 000	0,34	0,32	0,30
10 + 000	0,56	0,10	0,34
10 + 800	0,52	0,50	0,50
DN 58 A km 1 + 700	0,40	0,38	0,42
3 + 200	0,38	0,30	0,32
4 + 000	0,50	0,40	0,64
5 + 000	0,64	0,60	0,60
6 + 000	0,56	0,40	0,58
7 + 000	0,50	0,50	0,40
8 + 000	0,36	0,38	0,42
9 + 000	0,38	0,36	0,60

Din datele prezentate se consideră că uniformitatea execuției este în general satisfăcătoare, întrucît diferența între valoarea minimă și maximă a deformației este sub 0,4 mm.

3.3.2. Anrobate bituminoase realizate cu split 3...25 mm și nisip bituminos

Pornind de la experiența dobîndită, și rezultatele obținute am considerat că prin ridicarea conținutului de bitum total de la 5,0 %...6,0 % se pot obține anrobate bituminoase cu

performanțe mai bune, cu condiția de a mări și scheletul mineral total și anume de la 40 % la 56 %, pentru a asigura o rezistență sporită la compresiune.

Compoziția anrobateelor bituminoase s-a realizat cu dozajul prezentat în tabelul 3.8.

Tabel 3.8

Dozaj anrobate bituminoase cu split 3...25 mm

	Dozaj %	Bitum %	Agregate %
Nisip bituminos (12 %)	36,5	4,4	32,1
Bitum industrial	1,5	1,5	-
Split 3...25 mm	56,0	-	56,0
Filer calcar	6,0	-	6,0
	100,0	5,9	94,1

Adoptînd un conținut de bitum mai ridicat și anume 5,9 % un raport filer bitum 1,0 s-a reușit să se obțină anrobate bituminoase cu performanțe superioare celor prezentate anterior, astfel încît s-a considerat că se poate trece în urma rezultatelor de laborator la execuție directă.

Comparația între tipurile de anrobate bituminoase în ceea ce privește alcătuirea lor este redată în figura 3.5.

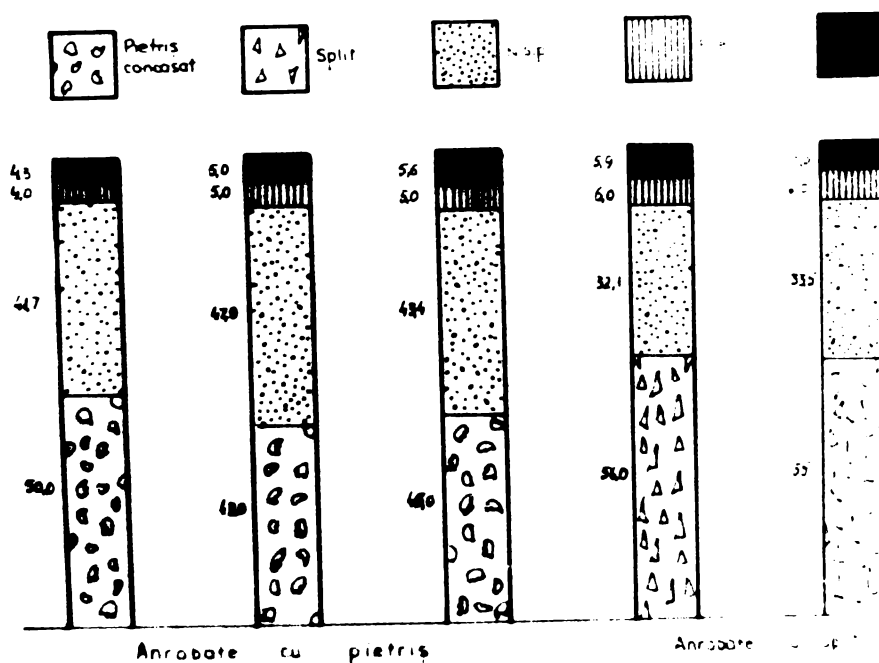


Fig 3.5 - Histograme ale anrobateelor realizate cu nisip bituminos

Din compararea acestora se constată superioritatea anrobateelor bituminoase, care se caracterizează printr-un



schelet mineral mai puternic și anume 56,0 % split 3...35 mm față de 43,0 % - 45,0 % agregat concasat din pietriș (fracțiunea 3...30 mm). De asemenea se remarcă un conținut mai ridicat de liant, ceea ce a condus la o anrobare mai bună a tuturor granulelor și în consecință la obținerea unor anrobate bituminoase cu performanțe fizico-mecanice superioare.

### 3.3.3. Concluzii privind anrobatele bituminoase

Referitor la anrobatele bituminoase studiile întreprinse în laborator și valorificate pe 50 km de drumuri pe care s-au executat îmbrăcăminți asfaltice ușoare cu nisip bituminos au permis evidențierea unor aspecte interesante în ceea ce privește concepția și proiectarea straturilor bituminoase realizate pe diverse trasee de drumuri naționale din Banat.

Analizând un număr de 100 probe prelevate la ieșirea din malaxor și de carote, din diferite sectoare se desprinde o concluzie favorabilă executării acestor îmbrăcăminți bituminoase într-un singur strat, fără strat de închidere, ceea ce conduce la eficiență economică sporită.

Datorită fineței agregatului din nisipul bituminos, reiese că acesta contribuie la obținerea unei compoziții granulometrice care permite înscrierea într-o zonă granulometrică similară cu a betoanelor asfaltice realizate cu bitum D 80/100 după cum se poate urmări din figura 3.6.

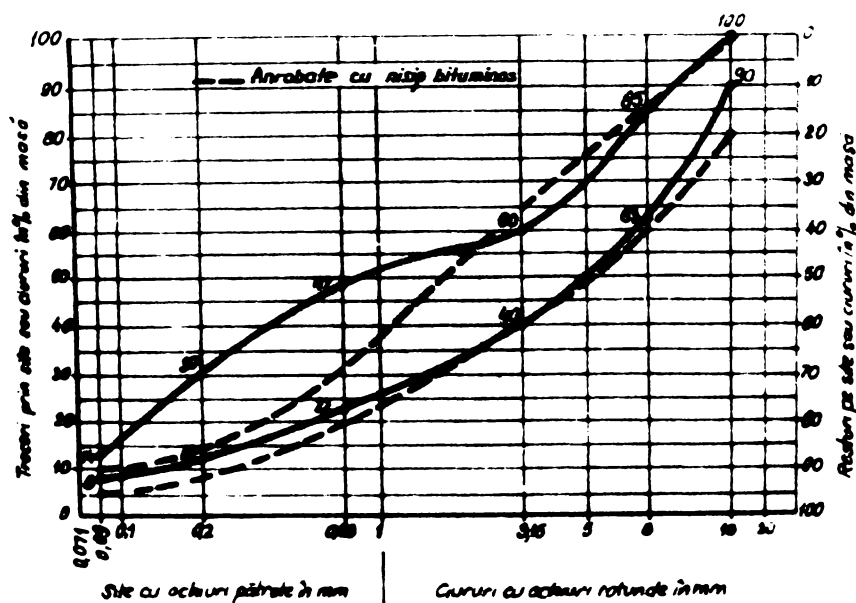


Fig 36 - Zona granulometrică a anrobatei realizate cu nisip bituminos, comparativ cu betoanele asfaltice bogate în criblură, realizate cu bitum D 80/120

In consecință anrobatele bituminoase se caracterizează printr-un schelet mineral puternic, fracțiunea cu dimensiunile granulelor peste 3 mm reprezintă peste 50 %, la un conținut de 5,5...6,2 % bitum și un raport filer bitum de 1:1 se realizează un grad de compactare optim, o absorbție de apă de 8...9 % și o rezistență la compresiune de 35...40 daN/cm<sup>2</sup> după cum se poate vedea din tabelul 3.9.

Tabel 3.9

Nr. probei	Poziția km	%	bi-tum	$\rho$ ap g/cm <sup>3</sup>	Absorb-ția de apă % vol	Rezistența la compresiune daN/cm <sup>2</sup>		Punct de înmuiere I și B °C
						22°C	50°C	
1	DN 79 A km 3+650	stg.	5,5	2,20	9,0	35,0	17,0	50
2	km 6+750	dr.	6,2	2,20	7,0	39,0	21,0	50
3	km 7+250	stg.	6,0	2,21	8,0	40,0	20,0	56
4	km 8+300	dr.	5,9	2,18	9,0	35,0	13,0	51
5	km 9+850	dr.	5,7	2,18	9,8	39,0	18,0	50
6	km 17+500	dr.	5,9	2,25	9,2	36,0	20,0	49

Urmărind comportarea în exploatare a acestor anrobate bituminoase se constată că a fost foarte bună, unele dintre aceste îmbrăcămiți bituminoase ușoare au rezistat în exploatare timp de 10-12 ani.

În s-au constatat văluriri, fâgașe sau refulări, deoarece scheletul mineral puternic, corelat cu un conținut relativ scăzut de bitum și un raport filer/bitum 1/1 au asigurat stabilitatea anrobatelelor de-a lungul anilor.

In consecință ca urmare experienței acumulate se consideră că acest tip de îmbrăcămițe bituminoasă reprezintă o soluție foarte bună pentru asfaltarea unor drumuri de clasa tehnică IV și V, iar în actuala conjunctură, deficit de bitum în țară ar fi necesar să se reconsidere posibilitatea folosirii masive în acest scop a nisipurilor bituminoase cel puțin pentru zonele limitrofe bazinului Derna-Tătăruș. Se recomandă mai ales pentru drumurile de interes local, comunale, alei pentru pietoni etc.

Propunerile privind extinderea zonei granulometrice și a sporirii necesarului de bitum total sînt incluse în noul normativ departamental care se referă la anrobatele bituminoase executate cu nisip bituminos C.D.42-69.

### 3.4. Mortare asfaltice realizate cu nisip bituminos

Referitor la mortarele asfaltice realizate cu nisip bituminos este necesar să arăt că acestea nu au dat rezultatele aşteptate, întrucît neavînd schelet mineral corespunzător, iar nisipul bituminos întrînd în proporţie mare în componenţa lui, pe sectoarele executate cu un astfel de strat de uzură au apărut vâluriri şi refulări mari de ordinul 4...5 cm, ceea ce ne-a obligat să eliminăm 2...3 ani de la execuţie stratul de uzură şi să-l înlocuim cu un alt tip de mixtură asfaltică şi anume de beton asfaltic cu agregat mărunt sărac în criblură.

În concluzie se apreciază în urma rezultatelor obţinute că mortarele asfaltice cu nisip bituminos nu sînt adecvate pentru realizarea stratului de uzură din cauza unei stabilităţi foarte scăzute.

Încercările efectuate în laborator pun în evidenţă caracteristicile necorespunzătoare ale mortarului asfaltic, care a avut o rezistenţă la compresiune scăzută 17...20 daN/cm<sup>2</sup>, o stabilitate insuficientă tocmai datorită procentului ridicat de liant total între 9,0...10,0 % fapt ce ne-a condus la evitarea lui la realizarea stratului de uzură, în grosime de 3...4 cm.

### 3.5. Studii pentru realizarea stratului de uzură din beton asfaltic folosind ca liant bitumul din nisipul bituminos.

Betoanele asfaltice cu agregat mărunt sărace în criblură au fost executate cu cribluri 8...16 mm, 3...8 mm, filer, nisip de concasaj şi bitum industrial tip C cu penetraţia 5...20 ze - cimi de mm şi punct de înmuiere I.B.82...92<sup>o</sup>C şi nisip bituminos cu un conţinut de liant care a variat între 12...15 %.

Dozajele medii folosite sînt prezentate în tabelul 3.10.

Tabel 3.10

Dozaje pentru beton asfaltic sărac în criblură  
(B.a.16.40 n.b.)

Materiale	Dozaje medii, în %
Nisip bituminos cu un conţinut de 15...12 % bitum	35,0...42,3
Bitum industrial tip C	2,2... 2,4
Criblură 8...16 mm	5,0...10,0
Criblură 3... 8 mm	20,0...25,0

Materiale	Dozaje medii, în %
Nisip de concasaj	15,4...19,8
Filer de calcar	10,0...11,0

Utilizînd dozajele medii prezentate anterior s-a realizat un beton asfaltic cu nisip bituminos cu un conținut mediu de liant de 7,3 și 7,8 %. Raportul dintre bitumul natural din nisipul bituminos și bitumul industrial fiind 70/30.

Corpurile de probă preparate în laborator au avut următoarele caracteristici fizico-mecanice:

- rezistența la compresiune la 22°C corespunzătoare, variînd între 30...40 daN/cm<sup>2</sup>;
- densitatea aparentă g/cm<sup>3</sup> 2,16...2,25
- absorbția de apă, % vol 4 ...9

Scheletul mineral al acestor betoane asfaltice se caracterizează prin 25...30% criblură, restul fiind nisip de concasaj, nisip natural și filer.

Curbele granulometrice realizate se pot urmări în fig.3.7 și în tabelul 3.11.

Tabel 3.11

Curba granulometrică a agregatului mineral din betonul asfaltic sărac în criblură executat cu nisip bituminos

Curba granulometrică	Proba				
	1	2	3	4	5
trece prin sita de 0,09 mm	17,0	17,1	18,5	19,0	17,0
trece prin sita de 0,2 mm	48,5	50,6	49,5	39,2	36,3
trece prin sita de 0,6 mm	65,2	60,0	59,6	55,7	56,5
trece prin ciur de 1 mm	67,8	64,0	63,5	60,8	62,3
trece prin ciur de 3 mm	72,0	76,2	70,7	70,8	71,3
trece prin ciur de 8 mm	97,5	92,7	91,4	91,9	87,6
trece prin ciur de 15 mm	100,0	97,2	97,1	97,0	100,0
trece prin ciur de 20 mm	-	100,0	100,0	100,0	-

Se remarcă faptul că fracțiunea peste 3 mm reprezintă în general între 24,8 % și 29,3 %, deci un schelet mineral corespunzător, iar curbele granulometrice se înscriu în zona recomandată.

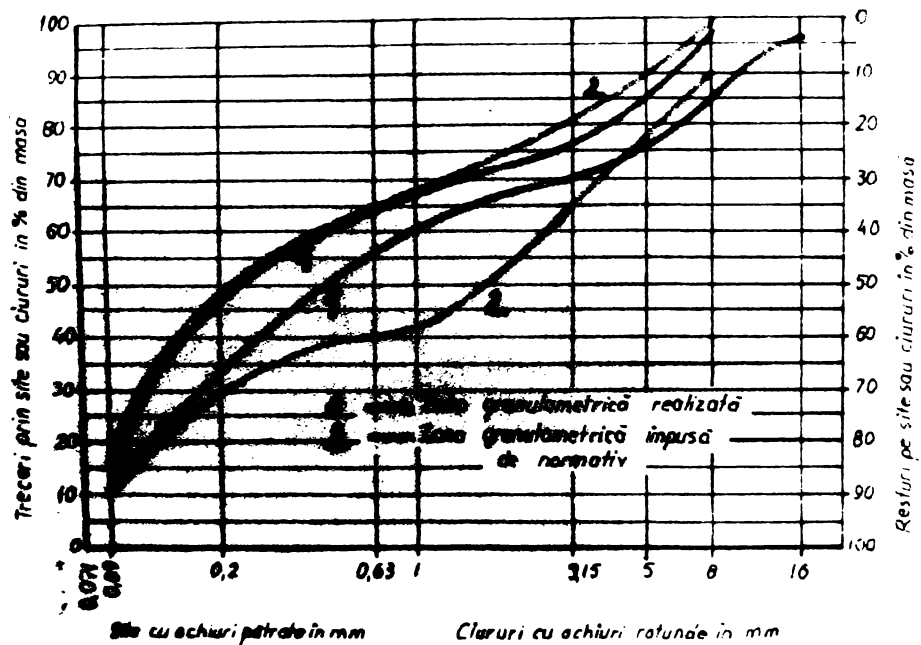


Fig. 3.7. Zona granulometrică pentru betoane asfaltice sărace în criblură executate cu nisip bituminos

În primii ani de execuție, stabilirea dozajelor de liant s-a făcut pe baza experimentărilor, abia din anul 1966 s-a trecut la realizarea lor în funcție de suprafața specifică a agregatului mineral total. De aceea au fost necesare o serie foarte mare de determinări în vederea stabilirii valorii modulului de conținut  $k$ . Pe baza rezultatelor obținute atât în laborator cât și pe numeroase probe prelevate din stratul de uzură, am constatat că se obțin rezultate bune pentru acele betoane asfaltice sărace în criblură al căror modul de conținut  $k$ , a variat între 4,25 și 4,50.

În tabelul 3.12 se pot urmări caracteristicile fizico-mecanice ale unor betoane asfaltice realizate cu același schelet mineral, dar cu un conținut de bitum diferit.

Tabel 3.12

Caracteristicile fizico-mecanice ale betoanelor asfaltice sărace în criblură, realizate cu nisip bituminos

Caracteristici	1	2	3	4	5	6	7
Bitum, în %	6,9	7,1	7,1	7,3	7,5	7,8	9,0
Modul de conținut $k$	4,0	4,0	4,25	4,25	4,5	4,7	5,2
Suprafața specifică $m^2/kg$	20,0	23,0	18,0	21,0	19,0	22,0	22,0
Punct de înmuiere I și B $^{\circ}C$	40,0	43,0	40,0	50,0	47,0	46,0	35,0



Caracteristici	1	2	3	4	5	6	7
Rezistență la compresiune, daN/cm <sup>2</sup> ;							
la 22°C	37,0	34,0	35,0	42,0	40,0	38,0	18,0
la 50°C	18,0	20,0	17,0	22,0	21,0	19,0	9,0
Densitatea aparentă g/cm <sup>3</sup>	2,22	2,16	2,21	2,16	2,20	2,25	2,24
Absorbția de apă % vol	8,0	7,4	7,0	6,7	6,0	5,0	2,6

Se constată că probele 4 și 5 cu un conținut de bitum între 7,3 și 7,5 % au rezistențele cele mai ridicate la compresiune la 22°C și absorbții de apă în limitele toleranțelor admise între 6,7 și 6,0 % (se admite maxim 9,0 %). Deși din punct de vedere al examinării probelor de laborator s-ar putea considera proba cea mai bună, proba 6, cu un conținut de 7,8 % bitum, o densitate aparentă pe placă de 2,25 g/cm<sup>3</sup> și o absorbție de apă de 5,0 %, verificările pe probe prelevate din îmbrăcămintea bituminoasă evidențiază o comportare foarte bună a sectoarelor executate cu 7,3 și 7,5 % bitum. Evident deci, că este mai economic să se lucreze cu acest conținut de liant, decât cu 7,8 %, conținut ce mărește costul tonei de mixtură asfaltică și influențează în mod sensibil stabilitatea îmbrăcămintei bituminoase în timpul verii, când pe suprafețele însozite temperatura îmbrăcămintei poate atinge valori cuprinse între 50 și 60°C. Din acest considerent pe baza rezultatelor proprii am recomandat și aplicat ca pe drumurile din regionala noastră în zona cu climă caldă să se lucreze cu 7,3...7,5 % bitum total în stratul de uzură. Numai pentru zonele cu umiditate mare Petroșani-Cîmpu lui Neag am recomandat 7,8... 8,0 % bitum.

Betoanele asfaltice pentru stratul de uzură au fost folosite pe aproximativ 600 km în cadrul direcției noastre, astfel că avînd foarte multe rezultate de laborator se vor prezenta în continuare în tabelul 3.13, caracteristicile obținute pe carote prelevate din îmbrăcămintea gata executată.



Tabel 3.13

Rezultate obținute pe carote prelevate din îmbrăcăminte

Nr. crt.	DN 69 km	Bi- tum %	I și B °C	Rezis- tența la compre- siune la 22°C daN/cm <sup>2</sup>	Densi- tate a- parentă g/cm <sup>3</sup>	Absorb- ția de apă % vol
1	6+000 stg.	7,2	46	35,0	2,30	3,5
2	8+000 stg.	7,5	43	30,0	2,23	3,0
3	9+000 dr.	7,4	50	37,0	2,22	4,5
4	9+900 stg.	7,7	48	38,0	2,20	6,2
5	12+100 stg.	6,9	40	37,0	2,22	8,0
6	19+780 dr.	7,3	50	42,0	2,06	6,7
7	20+970 stg.	7,8	44	30,0	2,20	6,2
8	21+500 stg.	8,0	44	31,0	2,25	6,0
9	21+800 dr.	8,2	49	26,0	2,20	6,2
10	23+300 dr.	8,0	42	32,0	2,20	5,2
11	24+400 axă	7,2	48	37,0	2,19	9,0
12	24+000 stg.	7,0	43	34,0	2,16	7,4
13	24+700 dr.	7,4	58	54,0	2,00	4,4
14	26+400 dr.	7,3	46	38,0	2,13	6,5
15	28+690 dr.	7,6	46	42,0	2,20	8,1
16	29+400 stg.	7,8	43	41,0	2,20	7,6
17	29+600 dr.	7,6	40	38,0	2,25	5,7
18	30+250 stg.	8,2	43	34,0	2,29	5,0
19	30+700 dr.	7,6	40	38,0	2,15	9,0
20	31+500 stg.	7,5	48	50,0	2,19	8,4
21	32+500 dr.	8,0	50	50,0	2,05	9,0
22	34+135 dr.	8,0	40	30,0	2,26	6,0
23	38+040 stg.	7,1	40	35,0	2,21	7,0

Din analiza rezultatelor din tabelul 3.13 reiese că rezistența la compresiune pe cuburi, reconstituite din carote variază între 30...42 daN/cm<sup>2</sup> în majoritatea probelor analizate, probele cu 26,0 daN/cm<sup>2</sup> și 54 daN/cm<sup>2</sup> fiind excepții.

Cu privire la conținutul de liant, am ajuns la concluzia că este suficient un procent de 7,0...7,8 % considerînd că peste 8,0 % bitum total în mixtură poate conduce la deformații mari ale îmbrăcămintei.

Modulul de conținut adoptat pentru calculul suprafeței specifice a fost 4,5, justificat prin comportarea corespunzătoare a probelor examinate.

Verificînd suprafețele specifice pe carote se constată o bună corelație între procentul de bitum calculat și procentul real de bitum din mixtură asfaltică determinat prin extracție.

Rezultatele obținute pot fi urmărite în tabelul 3.14

Tabel 3.14

Kilometrul	Suprafața specifică m <sup>2</sup> /kg	% bitum calculat	%bitum real în mixtura asfaltică
24+700 dr	18,0	7,4	7,4
19+780 dr	19,0	7,5	7,3
9+900 stg.	24,0	7,7	7,7
30+900 dr.	19,0	7,5	7,4

În ceea ce privește alcătuirea scheletului mineral al acestor betoane asfaltice se constată că fracțiunea peste 3 mm a variat între limitele 25...35 % ceea ce indică preponderența nisipului, partea fină, fracțiunea sub 0,09 mm reprezintă 17...20 % datorită procentului mare de parte fină din nisipul bituminos, iar nisipul în general constituie 50 % din scheletul mineral total. Se constată în consecință că betonul asfaltic pentru strat de uzură realizat cu nisip bituminos, are un schelet mineral în care predomină fracțiunea 0..3 mm, ceea ce îl face sensibil la deformații plastice sub efectul traficului la temperaturi ridicate, mai ales în cazul cînd, liantul bituminos inclus în mixtura asfaltică este moale, datorită unor deficiențe care au apărut în procesul tehnologic.

#### Observații asupra comportării sub trafic

Examinînd îmbrăcămintea bituminoasă realizată dintr-un strat de beton asfaltic sărac în criblură în stratul de uzură și un strat de legătură tot cu nisip bituminos sub efectul trafi-

cului în continuă creștere se constată o comportare bună. Degrădările apărute pe parcursul a 12...14 ani de la darea în exploatare sînt de tipul: gropilor, văluriri și refulări ale stratului de uzură, fisuri longitudinale. Degrădările sub formă de gropi, fisuri longitudinale au fost puține și provin din cauza unor defecțiuni locale. Astfel fisurile în axa drumului au apărut datorită unei sudări insuficiente între cele două benzi de circulație executate alternativ, iar fisurile longitudinale apărute la joncțiunea dintre fundația veche și fundația nouă au fost provocate de tasarea fîșiei lărgite și de neuniformitatea rigidității fundației, mixtura asfaltică examinată în laborator prezentînd caracteristici fizico-mecanice corespunzătoare. Defecțiunile tipice pentru acest tip de îmbrăcăminte bituminoasă sînt văluririle și refulările care produc impedimente mari pentru trafic.

Problema văluririlor apărute pe aceste sectoare a fost foarte mult studiată și va fi tratată în detaliu în capitolul reutilizarea îmbrăcăminților bituminoase.

### 3.6. Betoane asfaltice deschise pentru strat de legătură realizate cu nisip bituminos

Betoanele asfaltice deschise pentru strat de legătură avînd în componența lor un conținut ridicat de granule cu dimensiunea peste 3 mm, în general 60...70 % atestă o comportare bună în exploatare, astfel încît nu s-au semnalat defecțiuni sub formă de vălurire decît în cazuri foarte rare.

Dozajele folosite pentru realizarea stratului de legătură pe circa 600 km de drum sînt prezentate în tabelul 3.15.

Tabel 3.15-

Dozaje pentru beton asfaltic utilizat ca strat de legătură

===== Materiale =====	Dozaje medii, în % =====
Nisip bituminos cu 12...15 % bitum	23,0...26,5
Bitum industrial tip C	1,2... 1,6
Criblură 16...25 mm	30,0...33,0
Criblură 8...16 mm	29,5...30,0
Criblură 3... 8 mm	9,3...12,3
=====	=====

În general cu aceste dozaje medii s-a căutat să se obțină un conținut total de 4,6...4,8 % bitum în mixtura asfaltică pentru stratul de legătură, realizând concomitent un schelet mineral puternic alcătuit din 65...70 % agregat cu dimensiunea peste 3 mm, fapt ce a condus la o stabilitate corespunzătoare a stratului de legătură.

Sondajele efectuate pe sectoarele pe care au apărut văluriri au arătat că aceste deformații au afectat numai stratul de uzură, stratul de legătură fiind corespunzător.

Din datele prezentate, care sînt rezultatul unor studii deosebit de laborioase în laborator și corelate cu observații pe teren se desprind următoarele concluzii mai importante:

- betoanele asfaltice deschise pentru strat de legătură realizate cu nisip bituminos se prezintă bine în exploatare, chiar după o perioadă de 15...20 ani de la darea în circulație;

- comportarea corespunzătoare se datorește compoziției judicioase a acestui tip de mixtură <sup>asfaltică</sup>, unui conținut de bitum de 4...5 % și unui schelet mineral puternic constituit în majoritatea cazurilor din peste 65 % agregate concasate cu dimensiuni peste 3 mm.

### 3.7. Concluzii finale, și contribuții originale aduse la studierea mixturilor asfaltice realizate cu nisip bituminos, propuneri

Contribuțiile originale aduse în acest domeniu al utilizării nisipurilor bituminoase la realizarea anrobatelor, a betoanelor asfaltice pentru strat de legătură și de uzură sînt reflectate în studierea acestora, stabilirea dozajului optim de liant, prin metoda suprafeței specifice, determinarea modulului de conținut K pentru fiecare tip de mixtură asfaltică, generalizarea acestei metode pe țară, propuneri pentru lărgirea zonelor granulometrice a anrobațelor bituminoase, propuneri acceptate și incluse în normative.

Stabilirea raportului optim între bitumul natural din nisipul bituminos și bitumul dur, în scopul obținerii rezistenței maxime.

Experimentările efectuate și volumul mare de date obținute ca urmare realizării în Direcția drumuri și poduri Timișoara a 700 km îmbrăcămînți bituminoase de acest tip cu o com-

portare bună sub efectul traficului au permis ca pe baza acestor date să pot formula și unele propuneri pentru viitor.

În actuala etapă, caracterizată pentru sectorul de drumuri mai ales prin penurie de lianți bituminoși este util să se reia problema folosirii nisipurilor bituminoase mai ales pentru drumurile din clasa tehnică IV și V, pentru drumurile de interes local, comunale, pentru asfaltarea străzilor în orașe și comune, existînd astfel posibilitatea diversificării utilizării acestora în lucrările enumerate mai sus.

Pentru a se evita anumite erori, recomand pe baza experienței dobîndite să se evite realizarea mortarelor asfaltice datorită sensibilității lor la vâlurire și să se acorde o atenție deosebită realizării betoanelor asfaltice pentru strat de uzură, ridicînd procentul de granule concasate de la 20...30 % la 35...45 %, fapt ce va contribui efectiv la creșterea stabilității mixturii asfaltice și în consecință îi va spori durabilitatea în timp, oferind utilizatorilor un drum cu un strat de rulare uniform, fără vâluriri și făgașe.

Propunerile făcute pentru a revizui posibilitatea folosirii pe scară mai largă a nisipurilor bituminoase pentru diferite tipuri de mixturi asfaltice își găsesc justificare și la producerea unor anrobate pentru reparații sau prefabricate. Este de remarcat că pe plan internațional s-a înființat Comitetul pentru nisipuri bituminoase în cadrul OCDE, care studiază posibilitatea folosirii nisipurilor bituminoase din diferite țări din lume, chiar în condițiile în care conținutul de liant bituminos al acestora este mult mai scăzut și anume 5...8%/18/ /56/.

Este necesar să se folosească și în viitor nisipurile bituminoase din bazinul Derna-Tătăruș, rezervele estimate (prin studiile geologice întreprinse în acest scop) reprezintă aproximativ 12 milioane tone, chiar dacă numai 100.000 t ar fi folosite anual la executarea îmbrăcăminților bituminoase, s-ar putea înlocui aproximativ 10.000 t bitum.

Sînt necesare în continuare studii și cercetări privind utilizarea nisipurilor bituminoase în instalații tip uscător-malaxor cu productivitate sporită, ceea ce ar conduce la creșterea ritmului de realizare a acestor îmbrăcăminți bituminoase, mai ales pentru județele situate în apropierea acestor zăcăminte de nisipuri bituminoase.



## Capitolul 4

### MIXTURI ASFALTICE EXECUTATE CU GRANULIT

În R.S.România s-au efectuat studii și cercetări sistematice de către secția de drumuri din cadrul Institutului de Cercetări și Proiectări Tehnologice în Transporturi (I.C.P.T.T.) în scopul diversificării gamei mixturilor asfaltice utilizate în tehnica rutieră, atât în ceea ce privește înlocuirea agregatelor naturale prelucrate și neprelucrate cu agregate artificiale de tipul zgurelor concasate și granulate, cât și pentru modificarea lianțurilor bituminoase și înlocuirea bitumului cu nisip bituminos /111/ /126/.

În acest context, autoarea a efectuat în cadrul laboratorului central al Direcției de drumuri și poduri Timișoara, studii și experimentări privind folosirea agregatului artificial ușor, cunoscut la noi în țară sub numele de granulit, ca înlocuitor al criblurilor în diferite tipuri de mixturi asfaltice și anrobate bituminoase /37/ /42/ /44/.

Cercetările au pornit de la premisele cunoscute, știind că granulitul se utilizează pe scară largă atât în străinătate, cât și la noi în țară la executarea betoanelor de ciment foarte ușoare și ușoare, folosite în mod curent la realizarea unor construcții civile /5/ /6/.

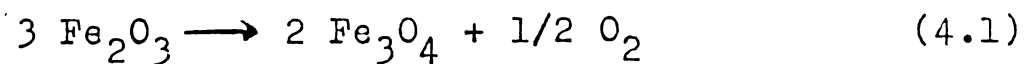
De asemenea în cadrul temei de cercetare "Structuri rutiere cu straturi termoizolante specifice climatului continental", s-au efectuat studii de către Institutul de Cercetări și Proiectări Tehnologice în Transporturi, secția drumuri, în anul 1977, asupra posibilității folosirii zgurelor, a tușurilor vulcanice și a granulitului ca material izolator /102/.

#### 4.1. Posibilitatea folosirii granulitului la producerea mixturilor asfaltice

Granulitul face parte din categoria agregatelor minerale ușoare și se obține prin expandarea argilelor ușor fuzibile în cuptoare rotative. În acest scop, argila se fuzionează cu cantități reduse de apă sub formă de granule și se arde în cuptoare rotative la 1100 - 1200°C. Expandarea se datorește degajării, la temperatura ridicată din cuptor, a unor gaze care se formează în urma reacțiilor de disociere sau de combinare a unor



oxizi ai argilei, conform reacției:



Se obțin granule de formă rotunjită cu suprafața vitrifiată și structura poroasă în interior. Granulitul are o culoare roșietică în exterior și gri-vînată în spărtură /5/ /6/.

În figura 4.1. este prezentat granulitul.



Fig.4.1. Granulitul

Granulitul a fost descoperit încă în anul 1885, iar pe scară industrială s-a produs începînd cu anul 1918, după patentul americanului S.J.Hayde, folosind un cuptor rotativ.

În 1975 în S.U.A. existau peste 50 de întreprinderi, care au produs aproximativ 13,5 mil.tone granulit pe an, în U.R.S.S. există 30 de întreprinderi care produc 12,5 mil.tone anual, Anglia produce 1,5 mil.tone anual, iar la noi în țară în 1976 s-a produs 0,5 mil.tone, ceea ce reprezintă doar 0,6 % din producția de agregate /5/ /6/.

În România se fabrică granulit la Întreprinderea de produse ceramice Mondial-Lugoj, la Mureșeni-Tg.Mureș, Iași, Sătuc-Buzău, precum și la Combinatul pentru lianți Cîmpulung-Argeș.

Întreprinderea de produse ceramice Mondial-Lugoj, secția de granulit are o capacitate de 110.000 m<sup>3</sup>/an, a intrat în

funcție în anul 1974, folosind ca materie primă o argilă tip montmorilonit-ilit./5/ /6/.

Componenții principali ai argilei sînt bioxidul de siliciu, trioxidul de aluminiu și oxizii de fier. În funcție de limitele principalilor oxizi ce intră în compoziția chimică a argilelor expandabile, ele se clasifică în : bune, mijlocii, și slabe.

Compoziția oxidică a argilelor expandabile este prezentată în tabelul 4.1.

Tabel 4.1

Compoziția oxidică a argilelor expandabile			
Oxizii, în %	bune	mijlocii	slabe
SiO <sub>2</sub>	50...60	60...70	70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25...15	15...40	10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO	12... 6	6... 4	4
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	5...1,5	5... 1,5	1,5

Studii mai detaliate privind compoziția chimică a argilei din cariera Hodoș-Lugoj, utilizată la obținerea granulitului /5/ /6/ arată că această compoziție variază în funcție de adîncimea la care se face extracția ei, rezultatele fiind prezentate în tabelul 4.2.

Tabel 4.2

Compoziția chimică a argilei din cariera Hodoș-Lugoj			
Oxizii, în %	5 - 6 m	6 m	7 m
SiO <sub>2</sub>	69,70	76,28	69,83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,14	10,80	14,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,48	3,88	4,64
FeO	0,31	0,18	0,54
TiO <sub>2</sub>	0,87	0,67	1,06
CaO	1,15	1,09	1,07
MgO	0,97	0,68	0,97
Na <sub>2</sub> O	0,93	1,02	1,03
K <sub>2</sub> O	1,51	1,45	1,53
pierderi prin calcinare	5,11	3,54	4,85

=====  
Compoziția chimică a argilei din cariera Hodos-Lugoj  
 Oxizii, în %                      5 - 6 m                      6 m                      7 m  
 =====

Raportul oxizilor:

$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	0,217	0,141	0,208
$\frac{Fe_2O_3}{Al_2O_3 + SiO_2}$	0,053	0,044	0,055
$\frac{CaO + MgO}{Al_2O_3 + SiO_2}$	0,025	0,023	0,025

=====  
 Prin arderea și expandarea argilei în cuptoare rotative se constată o modificare a compoziției chimice, în sensul unei ușoare creșteri a conținutului în oxizi, în urma procesului tehnologic de calcinare și expandare.

In tabelul 4.3. se poate urmări această variație de la argila inițială la argila expandată /5/ /6/.

Tabel 4.3

=====  
 Compoziția chimică a argilei, în %                      Argilă neexpandată                      Argilă expandată  
 =====

SiO <sub>2</sub>	69,53	71,45
TiO <sub>2</sub>	0,83	0,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,87	15,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,35	5,77
CaO	1,13	1,85
MgO	1,39	1,70
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	2,50	2,55
pierderi prin calcinare	4,98	-

=====

Granulitul astfel obținut /5/ fiind o argilă arsă la temperatura de 1100 - 1300°C a devenit un material inert din punct de vedere chimic și prezintă stabilitate în condițiile de folosire obișnuită în construcții. Se precizează că nu este stabil în mediile agresive, la care nici betonul greu obișnuit nu rezistă /5/ /6/.

Caracteristica esențială a granului este densitatea mică în grămadă în stare afînată și uscată, care poate varia în limite mari și anume între 300...1050 kg/m<sup>3</sup>, în timp ce densitatea criblurilor în aceleași condiții variază între 1400-1500 kg/m<sup>3</sup>. Datorită acestei proprietăți (densitate mică) /5/ /6/ granulul a fost introdus în mod eficient la executarea betoanelor de ciment foarte ușoare, permițînd realizarea unei serii de construcții civile în județul Timiș, în municipiul Cluj-Napoca etc.

Dintre realizările mai cunoscute în municipiul Timișoara este și hotelul Timișoara cu panouri de fațadă din beton ușor cu granuliț /5/ /6/ blocuri cu zece etaje cu diafragme din beton ușor cu granuliț BG 200, etc.

#### 4.1.1. Caracteristicile granului

Examinînd granulul fabricat la noi în țară se constată că în funcție de mărimea granulelor, granulul se livrează în următoarele sorturi :

- 0 - 7 cu granulația 0 ... 7,1 mm
- 7 - 16 cu granulația 7,1...16 mm
- 16 - 31 cu granulația 16 ...31,5 mm

Granulele trebuie să aibă o formă rotunjită, apropiată de elipsoid, suprafața vitrifiată, iar în spărtură o structură celulară microporoasă.

Densitate. După densitatea în grămadă în stare afînată și uscată, /5/ /6/ toate sorturile de granuliț se împart în clasele și subclasele din tabelul 4.4.

Tabel 4.4.

Clasele și subclasele	Densitate în grămadă în stare afînată și uscată, kg/m <sup>3</sup> , max.		
	sort 0-7	sort 7-16	sort 16-31
A <sub>1</sub> b	nu se normează	350	300
A a	600	500	400
A <sub>2</sub> b	700	600	500
A <sub>3</sub> a	850	750	650
A <sub>3</sub> b	1050	900	800

Rezistența la strivire. Rezistența la strivire a granulitului în funcție de densitatea în grămadă în stare afînată și uscată, se determină numai pe sortul 7 - 16 și trebuie să fie minim:

- pentru clasa și subclasa  $A_2a$  .....20 daN/cm<sup>2</sup>;
- pentru clasa și subclasa  $A_2b$  .....25 daN/cm<sup>2</sup>;
- pentru clasa și subclasa  $A_3a$  .....30 daN/cm<sup>2</sup>;
- pentru clasa și subclasa  $A_3b$  .....40 daN/cm<sup>2</sup>.

Rezistența la strivire se determină pe sortul 7-16 uscat în prealabil. Granulitul se introduce într-un cilindru de oțel cu diametrul și înălțimea de 120 mm scuturînd de cîteva ori cilindrul pentru ca granulitul să se așeze cît mai bine, pînă la înălțimea de 100 mm măsurată de jos. Se introduce pistonul cu diametrul 119 mm astfel încît reperul inferior al pistonului să corespundă cu marginea de sus a cilindrului. Cilindrul de oțel cu granulit și cu pistonul se introduc între platanele unei prese și se ridică sarcina treptat astfel încît pistonul să înainteze cu 0,5...1 mm/s. În momentul în care pistonul a pătruns 20 mm în cilindru se citește forța pe manometrul presei. Rezistența la strivire se calculează cu relația:

$$\sigma_s = \frac{P}{A} \quad (\text{daN/cm}^2) \quad (4.2)$$

în care:  $\sigma_s$  - este rezistența la strivire, în daN/cm<sup>2</sup>

P - forța necesară tasării agregatului cu 20 mm,  
în daN

A - suprafața interioară a cilindrului, în cm<sup>2</sup>.

Rezistența la îngheț-dezghet. Granulitul trebuie să reziste la 15 cicluri de îngheț-dezghet, fără ca pierderile să depășească 10 % din masă.

Absorbția de apă admisibilă este de maxim 25 % din masă.

#### 4.1.2. Granulitul folosit la experimentare

Granulitul pentru experimentare a fost aprovizionat de la Intreprinderea de produse ceramice Mondial-Lugoj și a avut caracteristicile medii prezentate în tabelul 4.5.

Tabel 4.5

Caracteristici	Granulit, sort	
	0 - 7	7 - 16
Densitatea în grămadă în stare afînată, uscată, kg/m <sup>3</sup>	750-1000	800-1000
Rezistența la strivire, daN/cm <sup>2</sup>	-	30- 50
Absorbția de apă, % masă	10- 15	10- 16
Rezistența la îngheț-dezgheț (pierderi în masă după 15 cicluri), %	6- 8	2- 4

Celelalte proprietăți fizice mai importante ale granu- litului utilizat, respectiv compoziția granulometrică, densita- tea în grămadă în stare afînată și îndesată, volumul de goluri, etc., pot fi urmărite în tabelul 4.6.

Curbele granulometrice ale celor două sorturi de gra- nulit sînt prezentate în figura 4.2.

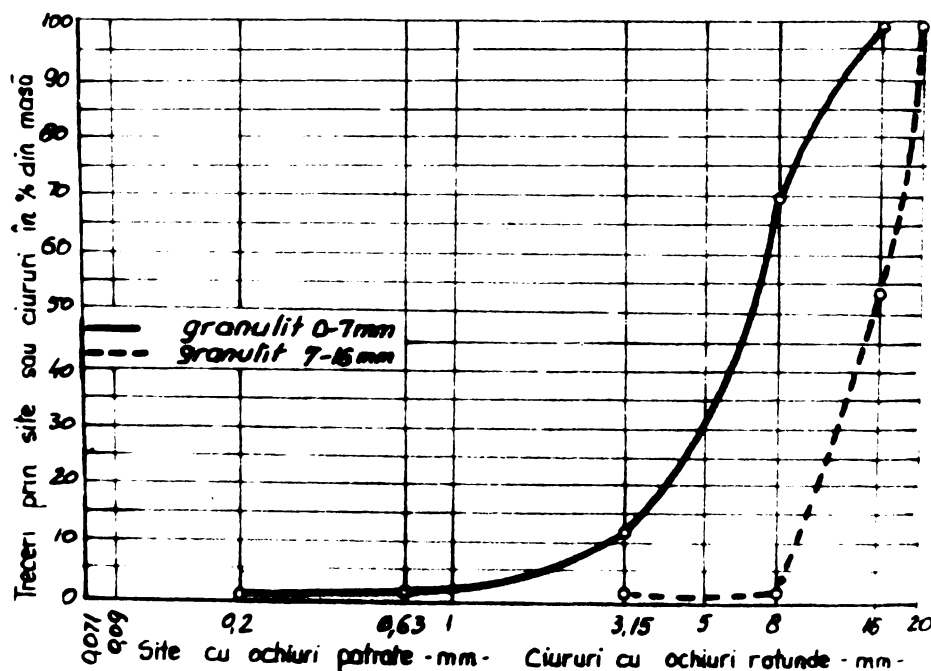


Fig. 4.2. Curbe granulometrice pentru granulit



Tabel 4.6

Caracteristicile granulitului	sort	
	0 - 7	7 - 16
Densitatea în grămadă, în kg/m <sup>3</sup> :		
- în stare afînată	760,0	850,0
- în stare îndesată	870,0	950,0
Densitatea aparentă, kg/m <sup>3</sup>	1600,0	1562,0
Volum de goluri, în % :		
- în stare afînată	52,5	46,2
- în stare îndesată	45,5	39,0
Rezistența la îngheț-dezghet, %	8,0	2,0
Compoziția granulometrică, în %		
- rest pe ciur de 15 mm	-	45,4
- rest pe ciur de 8 mm	31,2	52,8
- rest pe ciur de 3 mm	56,8	1,0
- rest pe sita de 0,63 mm	11,2	0,8
- rest pe sita de 0,2 mm	0,2	--
- rest pe sita de 0,09 mm	0,1	-
- trece prin sita de 0,09 mm	0,5	-
TOTAL	100,0	100,0

Din examinarea granulozității și a curbelor granulometrice ale granulitului sort 0-7 și 7-16 se constată că, din acest punct de vedere se pot înlocui corespunzător criblurile sau celelalte agregate naturale folosite în mod obișnuit la producerea diferitelor tipuri de mixturi asfaltice /28/ /37/ /42/ /44/.

În plus pentru a putea trece la utilizarea granulitului, au fost necesare studii și încercări privind rezistența la uzură (aparatură Los Angeles), fenomenul de adezivitate între bitum și granuliț, precum și cu privire la necesarul de liant pentru anrobare.

Rezistența la uzură s-a determinat cu ajutorul aparatului Los Angeles, realizat împreună cu Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara /39/.

Pentru încercare s-a lucrat cu granuliț sort 7-16 în următoarele condiții:

- masa probei ..... 5000 g
- numărul bilelor ..... 8 (opt)
- numărul de rotații ..... 500

În urma efectuării încercărilor s-a obținut o rezistență la uzură de 28...31 %.

Rezultatele obținute arată că rezistența la uzură a granului este corespunzătoare, fiind comparabilă cu a agregatelor naturale folosite uzual și în consecință s-a apreciat că poate fi folosit la producerea mixturilor asfaltice.

#### Adezivitatea bitumului D 80/120 la granulit

Solicitările pe care le suportă îmbrăcămințile bituminoase /1/ /2/ /34/ în timpul duratei de exploatare, se reflectă la interfața liant-agregat, astfel încât la elaborarea dozajelor pentru diferite tipuri de mixturi asfaltice, trebuie să se ia în considerare necondiționat legătura dintre liant și agregat, deci să se studieze fenomenul de adezivitate și în consecință rezistența la efectul agenților exteriori, apă, săruri, etc. În concluzie adezivitatea lianților hidrocarbonați față de diferite agregate minerale constituie una dintre problemele majore ale tehnicii rutiere.

Sub acest aspect datorită faptului că granulitul este un agregat artificial ușor și nestudiat din punct de vedere al adezivității față de bitum s-a impus necesitatea examinării teoretice și practice a fenomenului de adezivitate la interfața liant-granulit.

Adezivitatea este definită ca o proprietate a lianților bituminoși de a adera pe suprafața agregatelor și de a lipi granulele între ele./1/ /2/ /34/ /85/ /177/.

Principiile teoretice privind fenomenul de adezivitate sînt cunoscute, echilibrul forțelor la suprafața de contact liant-agregat fiind reprezentate schematic în figura 4.3.

Liantul bituminos aderă bine pe granula unui agregat mineral, dacă udă suprafața acesteia. Udarea agregatului de către liant se realizează în funcție de tensiunea superficială a granulei agregatului, tensiunea superficială a liantului, tensiunea interfacială solid-liant și unghiul de udare a liantului pe suprafața granulei agregatului mineral.

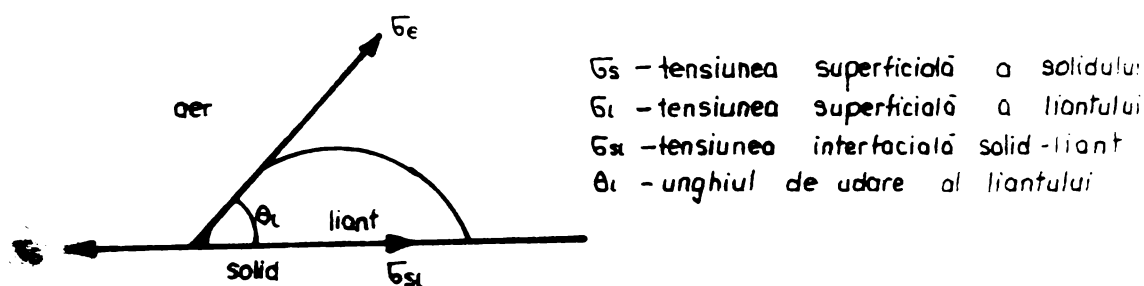


Fig +3 Echilibrul forțelor la suprafața de contact liant-solid

Se consideră că în cazul unei picături de bitum, în contact cu un agregat mineral, la interfața dintre bitum și agregat iau naștere forțele reprezentate în fig.4.3. Condiția de echilibru este exprimată prin relația:

$$\sigma_s = \sigma_{sl} + \sigma_l \cos \theta_1 \quad (4.3)$$

- $\sigma_s$  este tensiunea superficială a solidului;
- $\sigma_l$  - tensiunea superficială a liantului;
- $\sigma_{sl}$  - tensiunea interfacială solid-liant;
- $\theta_1$  - unghiul de udare a liantului pe suprafața agregatului.

Din relația (4.3) se obține :

$$\sigma_l \cos \theta_1 = \sigma_s - \sigma_{sl} \quad (4.4)$$

$\sigma_l \cos \theta_1$  reprezintă tensiunea de adeziune.

Lucrul mecanic necesar pentru a distruge  $1 \text{ cm}^2$  din interfața liant-solid este dat de relația lui Duprè:

$$W_{sl} = \sigma_l + (\sigma_s - \sigma_{sl}) \quad (4.5)$$

$W_{sl}$  este lucrul mecanic ;

înlocuind  $\sigma_s - \sigma_{sl}$  cu  $\sigma_l \cos \theta_1$  se obține:

$$W_{s1} = \sigma_1 + \sigma_1 \cos \theta_1 = \sigma_1 (1 + \cos \theta_1) \quad (4.6)$$

În consecință, lucrul mecanic de adeziune va fi cu atât mai mare, cu cât unghiul  $\theta_1$  va fi mai mic; dacă unghiul  $\theta_1$  este mic, înseamnă că liantul aderă bine la agregat și fenomenul de adezivitate are loc.

Din studiile efectuate de numeroși cercetători [1/ /2/ /34/ /74/ reiese că lianții bituminoși și bitumurile fluide, prezintă o bună adezivitate pe agregate uscate, deci din punct de vedere tehnologic, comportarea lor este bună.

În tehnica rutieră, mai ales pentru îmbrăcămintele bituminoase este necesar să se ia în considerare și fenomenul de anrobare în prezența apei.

În mod obișnuit, dezanrobarea nu este singura cauză a degradării drumurilor, astfel, riscul potențial devine periculos numai când se produce și o cinetică suficient de rapidă a dezanrobării.

Pentru specialiștii din sectorul de drumuri interesează mai puțin cunoașterea posibilității unei dezanrobări, care poate apărea într-o îmbrăcăminte bituminoasă după 15 ani, dacă în mod obișnuit această îmbrăcămintă trebuie reînnoită mai de vreme.

În ceea ce privește măsurarea adezivității, este necesar să se arate că metodele frecvent utilizate în tehnica rutieră se referă la aprecieri calitative, care măsoară în general indirect adezivitatea, dar pun în evidență mai concludent, fenomenul care are loc în realitate. [1/ /2/ /34/ /127/ /136/.

Determinarea adezivității s-a efectuat prin metoda statică la rece și metoda dinamică la rece la 24 ore și la 6 zile, comparativ cu cribluri provenite din roci bazice și acide. După tratarea cu lapte de var și filer, încercarea s-a efectuat prin metoda dinamică la rece, la 6 zile.

Rezultatele sînt prezentate în tabelul 4.7.

Tabel 4.7

=====			
Adezivitate, prin metoda:	granulit	criblură bazică	criblură acidă
=====			
Statică la rece	75,0 %	90,0 %	70,0 %
Dinamică la rece:			
- la 24 ore	70,0 %	80,0 %	60,0 %
- la 6 zile	70,0 %	80,0 %	50,0 %
Dinamică la rece la 6 zile:			
- după tratare cu 2 % lapte de var	90,0 %	98,0 %	80,0 %
- după tratare cu 2 % filer	88,0 %	98,0 %	80,0 %
=====			

Se constată că adezivitatea bitumului față de granulit este mai bună decât pe criblura acidă, dar evident mai scăzută decât pe criblura provenită din roci bazice.

Prin tratarea cu lapte de var sau filer se constată o creștere a adezivității cu aproximativ 20,0 %. Această condiție se realizează totdeauna în procesul tehnologic de producere a mixturilor asfaltice cu granulit, în compoziția cărora intră în mod obligatoriu filerul.

#### 4.2. Caracteristicile bitumului folosit la experimentare.

După efectuarea studiilor de laborator asupra caracteristicilor mai importante ale granulitului, s-a trecut la elaborarea dozajelor pentru diferite tipuri de mixturi asfaltice.

Bitumul folosit în acest scop a fost bitumul D 80/120 produs de Rafinăria Suplacu de Barcău, având următoarele caracteristici mai importante :

- penetrația la 25°C .....100 zecimi de mm;
- punct de înmuiere, I și B ..... 46°C ;
- ductilitatea la 25°C .....peste 100 cm;
- punct de rupere Fraass ..... - 21°C;
- indice de penetrație ..... - 0,47 ;

Compoziția de grupă a bitumului a fost determinată prin dizolvare în solvenți selectivi, la laboratorul de drumuri al Institutului de Cercetare și Proiectare Tehnologică în

Transporturi, obținându-se următoarele rezultate:

- uleiuri...54,9 % (din care 27,5 % saturate și 27,4 % aromatice);
- rășini ...15,4 %
- asfaltene 29,7 %

Raportul rășini/asfaltene a avut valoarea 0,51.

Indicele de refracție a hidrocarburilor saturate, 1,4966. Vîscozitatea la 60°C, a fost  $2,5 \cdot 10^5$  CP.

Adezivitatea bitumului pe granulit tratat cu 2 % filler a fost 88,0 % și în consecință a fost considerată corespunzătoare pentru experimentare.

#### 4.3. Caracteristicile nisipului și a filerului

La efectuarea studiilor de laborator și a experimentărilor care s-au făcut în instalația de producere a mixturilor asfaltice semiautomatizată de la Lugoj, s-au mai folosit nisip natural, nisip de concasaj și filer.

Nisipul natural a fost un nisip silicios curat avînd următoarele caracteristici mai importante:

- densitatea în grămadă în stare afînată.....  $1481 \text{ kg/m}^3$
- densitate în grămadă în stare îndesată.....  $1656 \text{ kg/m}^3$
- densitatea aparentă .....  $2420 \text{ kg/m}^3$
- volum de goluri în stare afînată ..... 38,5 %
- volum de goluri în stare îndesată ..... 31,5 %
- parte levigabilă ..... 0,01 %
- echivalent de nisip ..... 99,0 %
- substanțe humice ..... nu conține

Curba granulometrică medie a nisipului natural este dată în figura 4.4.

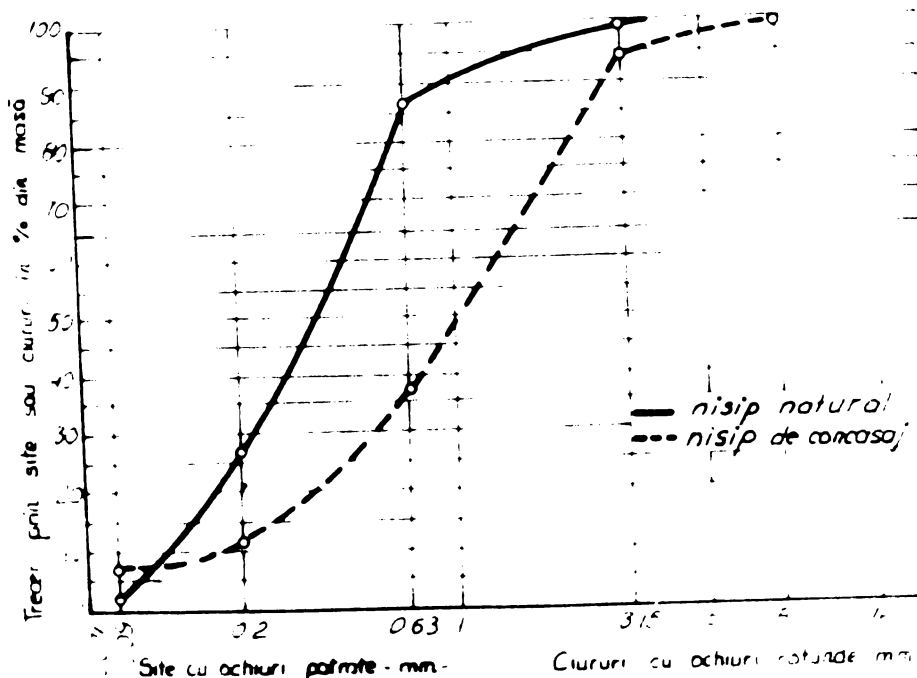


Fig +4 Curba granulometrică a nisipului natural și de concasaj



Nisipul de concasaj provenit din roci andezitice, a fost curat, avînd echivalentul de nisip E.N.= 81,7 %, echivalentul de nisip modificat E.N.M.= 85,6 % și coeficientul de activitate C.A.= 1,04.

Curba granulometrică este prezentată în figura de mai sus( curba punctată).

Filerul. La experimentare s-a folosit filerul din cretă măcinată de Murfatlar, care se caracterizează printr-o bună finețe de măcinare și coeficientul de hidrofilie 0,7.

Finețea de măcinare:

- trece prin sita de 0,08 mm .....	79,5 %
- trece prin sita de 0,09 mm .....	81,5 %
- trece prin sita de 0,2 mm .....	87,0 %
- trece prin sita de 0,6 mm .....	95,5 %
- trece prin ciur de 1 mm .....	100,0 %
Coeficient de hidrofilie .....	0,700

#### 4.4. Anrobate bituminoase cu granulit

Pentru realizarea acestor anrobate s-au folosit cele două sorturi de granulit 7-16 și 0-7, nisip natural, filer din cretă măcinată (de Murfatlar) și bitum D 80/120.

Dozajele studiate și caracteristicile fizico-mecanice ale anrobatelor cu granulit sînt prezentate în tabelul 4.8.

Tabel 4.8

Materiale în procente	Anrobate		
	A	B	C
granulit 7 - 16 mm	30,0	20,0	24,0
granulit 0 - 7 mm	30,0	30,0	26,0
nisip natural 0-3 mm	29,0	36,7	36,7
filer de Murfatlar	6,0	7,0	7,0
bitum D 80/100	5,0	6,3	6,3
	100,0	100,0	100,0
<b>Caracteristici fizico-mecanice</b>			
- densitatea aparentă, kg/m <sup>3</sup>	1440	1500	1510
- absorbție de apă, % vol.	15,0	10,0	10,0
- rezistența la compresiune, daN/cm <sup>2</sup>			

Materiale în procente	Anrobate		
	A	B	C
la 0°C	60,0	68,0	70,0
la 22 °C	30,0	36,0	37,0
la 50°C	12,0	17,0	18,0
- Stabilitatea Marshall la 60°C în daN	600,0	740,0	750,0
- Indice de curgere (fluaj), în mm	3,2	3,0	3,0
- raport stabilitate/fluaj	184,0	246,0	250,0
- umflarea după 28 zile păstrare în apă, %vol.	0,7	0,6	0,65
- reducerea rezistenței la compresiune după 28 zile păstrare în apă, %	17,0	16,0	16,0

NOTA: rezistența la compresiune s-a determinat pe epruvete cilindrice.

Din rezultatele experimentărilor efectuate în laborator se constată că anrobatele bituminoase realizate cu granulit se caracterizează printr-o densitate aparentă mică, ce variază între 1400 și 1500 kg/m<sup>3</sup>, față de 2200 - 2300 kg/m<sup>3</sup>, la anrobatele bituminoase realizate cu agregate naturale.

În consecință, anrobatele cu granulit sînt cu 35-40 % mai ușoare decît cele obișnuit folosite în tehnica rutieră și deci consumul pe m<sup>2</sup> este astfel sensibil mai redus, decît în cazul folosirii anrobatelor bituminoase cu agregate naturale concasate în întregime, parțial concasate, sau neconcasate.

În privința anrobatelor cu granulit notate cu A se apreciază că absorbția de apă fiind 15,0 %, ele pot fi utilizate la realizarea îmbrăcăminților bituminoase ușoare, numai dacă sînt etanșate, fie printr-un strat de închidere, fie printr-un tratament bituminos executat cu bitum la cald, sau cu emulsie bituminoasă cationică, la rece, în timp ce anrobatele notate cu B și C prezintă valori apropiate de cele folosite în tehnica rutieră, valoarea absorbției de apă fiind 10,0 %.

Curbele granulometrice ale anrobatelor bituminoase realizate cu granulit sînt prezentate în fig-4.5. și se constată că sînt situate în partea superioară a zonei granulometrice recomandate pentru anrobatele bituminoase realizate în mod

curent la noi în țară.

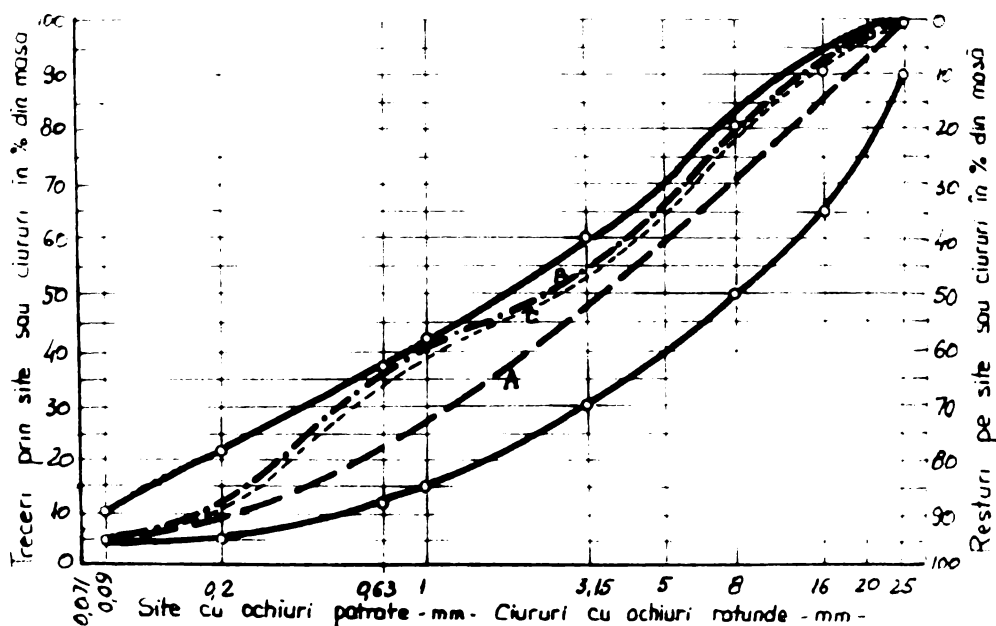


Fig 4.5. Anrobote bituminoase cu granolit.  
Curbe granulometrice realizate

Urmărind stabilitatea anrobotelor bituminoase realizate cu granolit prin încercarea Marshall, se constată că prezintă valori ridicate, ceea ce atestă o bună comportare a acestora.

Un parametru important urmărit a fost umflarea, pentru a studia dacă nu intervine pericolul dezanrobării și umflării în timp. Rezultatele încercărilor au arătat că umflarea se menține sub 1,0 %, ceea ce confirmă faptul că granulitul nu dă umflări pe parcursul încercării, deci anrobotele bituminoase se vor comporta bine în timp din acest punct de vedere.

#### 4.5. Beton asfaltic cu granolit pentru strat de legătură.

Deoarece în tehnica rutieră se folosesc pe scară largă betoanele asfaltice pentru strat de legătură și strat de uzură s-a trecut la obținerea acestora și studierea caracteristicilor lor mai importante.

Pornind de la premisele arătate s-au studiat și realizat în laborator, betoanele asfaltice cu granolit pentru strat de legătură prezentate în tabelul 4.9.

Tabel 4.9

M a t e r i a l e	Dozaje, în %		
	a	b	c
granulit 7..16 mm	60,0	62,0	60,0
nisip natural	31,7	29,8	32,8
filer-Murfatlar	3,0	3,0	2,0
bitum D 80/120	5,3	5,2	5,2
	100,0	100,0	100,0
Caracteristici fizico-mecanice			
- densitatea aparentă, kg/m <sup>3</sup>	1520	1500	1480
- absorbția de apă, % vol.	12,0	12,0	14,0
- rezistența la compresiune, în daN/cm <sup>2</sup>			
la 0°C	58,0	60,0	56,0
la 22°C	30,0	30,0	28,0
la 50°C	13,0	12,0	11,0
- stabilitatea Marshall la 60°C, în daN	700,0	740,0	730,0
- indice de curgere (fluaj), mm	3,0	3,1	3,1
- raport stabilitate/fluaj	233,0	238,0	235,0

Nota: Rezistența la compresiune s-a determinat pe e - pruvete cilindrice.

Curbele granulometrice obținute cu dozajele: a, b și c sînt prezentate în fig.4.6.

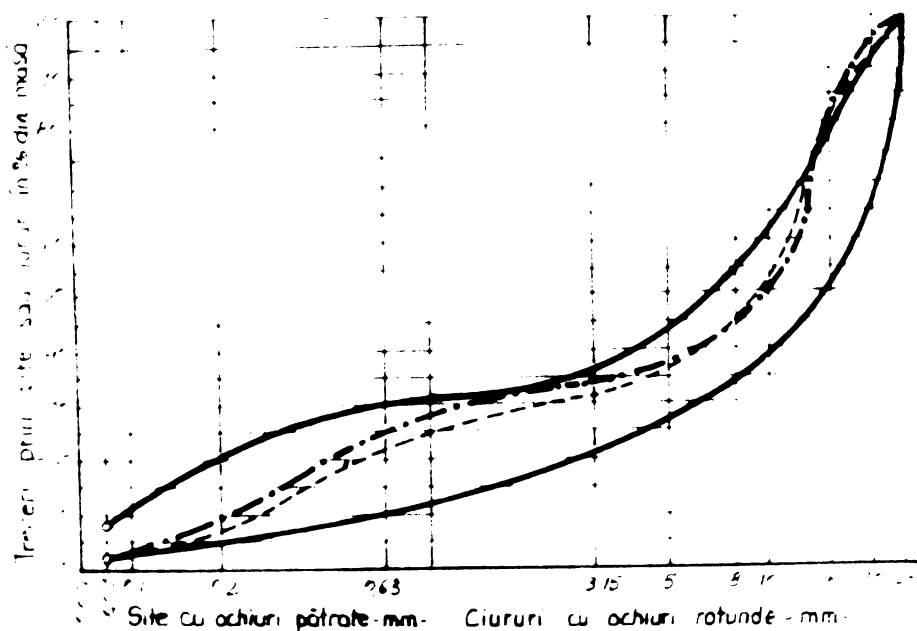


Fig.4.6 Beton asfaltic cu granulit pentru stratul de legătură  
Curbe granulometrice realizate

Din examinarea rezultatelor obținute se constată că betonul asfaltic cu granulit pentru strat de legătură poate fi realizat în aceleași condiții cu anrobatele bituminoase, conținutul de bitum a fost ales în limitele de 5,2 - 5,3 %. Se menționează că s-au făcut încercări în laborator și la un conținut de 4,0 - 4,7 % dar se constată că rămîne neanrobat granulitul, care datorită structurii sale poroase, necesită o cantitate sporită de bitum, comparativ cu mixturile asfaltice similare realizate cu agregate naturale.

Avantajul important obținut și în acest caz constă în densitatea aparentă mică a betonului asfaltic cu granulit pentru strat de legătură și anume 1480 - 1520 kg/m<sup>3</sup>, față de 2300 kg/m<sup>3</sup> pentru betoane asfaltice deschise de aceleași tip realizate cu cribluri sau pietriș. Micșorarea sensibilă a densității aparente conduce la reducerea consumului de mixtură asfaltică pe m<sup>2</sup> și km.

Pentru realizarea unui strat de legătură în grosime de 3,5 cm, este necesar să se folosească 53 kg/m<sup>2</sup> beton asfaltic deschis realizat cu granulit, față de 84 kg/m<sup>2</sup>, dacă se lucrează cu beton asfaltic deschis cu criblură sau pietriș.

#### 4.6. Beton asfaltic cu granulit pentru strat de uzură

Betonul asfaltic cu granulit pentru stratul de uzură a fost constituit din granulit sort 0 - 7, nisip natural, nisip de concasaj, filer și bitum D 80/120.

Granulitul utilizat cu densitatea în grămadă în stare afînată de 760 kg/m<sup>3</sup> - a intrat în componența dozajului Ia, iar pentru dozajele notate I, II, III, s-a lucrat cu un granulit cu densitate mai mare și anume 1000 kg/m<sup>3</sup> în stare afînată, fapt ce influențează proporțional și densitatea aparentă a mixturilor asfaltice realizate.

Dozajele pentru betonul asfaltic cu granulit sînt prezentate în tabelul 4.10

Tabel 4.10

Materiale, în %	Dozaje			
	I	Ia	II	III
granulit 0 - 7	40,0	40,0	50,0	45,0
nisip natural	20,2	20,2	16,5	17,6

Materiale, în %	Dozaje			
	I	Ia	II	III
nisip de concasaj	18,0	18,0	13,5	17,2
filer-Murfatlar	13,5	13,5	12,0	12,0
bitum D 80/100	8,3	8,3	8,0	8,2
	100,0	100,0	100,0	100,0

Curbele granulometrice realizate pentru cele trei tipuri de betoane asfaltice se pot urmări în fig.4.7.

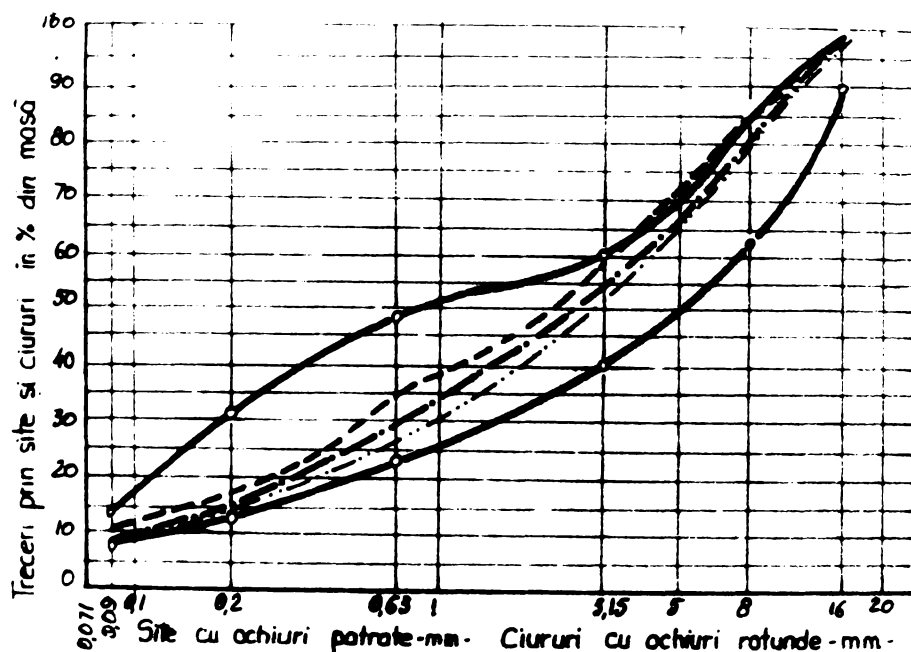


Fig.4.7 Beton asfaltic cu granuliț pentru strat de uzură  
Curbe granulometrice realizate

Caracteristicile fizico-mecanice ale acestor betoane asfaltice sînt date în tabelul 4.11.

Tabel 4.11

Caracteristici	I	Ia	II	III
Densitatea aparentă, $\text{kg/m}^3$	1980	1780	1900	1910
Absorbția de apă, % vol.	5,0	4,8	7,0	7,0
Rezistența la compresiune (epruvete cilindrice), $\text{daN/cm}^2$ :				
la $0^\circ\text{C}$	106	105	100	93
la $22^\circ\text{C}$	58	56	53	45
la $50^\circ\text{C}$	27	24	25	22



Caracteristici	I	Ia	II	III
Stabilitatea Marshall la 60°C, daN	1200	1100	1250	1100
Indice de curgere (fluaj), mm	4,7	5,0	4,7	4,8
Raport stabilitate/fluaj	256	220	266	230
Umflare după 28 zile, păstrare în apă, % vol.	0,2	0,1	0,2	0,2
Reducerea rezistenței la compresiune, după 28 zile păstrare în apă, %	15,0	14,0	15,0	14,4
Rezistența la compresiune (eprovete cubice), daN/cm <sup>2</sup>				
la 22°C	35,0	40,0	35,0	32,0
la 50°C	15,0	18,0	14,0	12,0

Rezultatele din tabelul 4.11 arată că performanțele fizico-mecanice ale celor patru tipuri de mixturi asfaltice realizate cu granolit sînt corespunzătoare.

#### Inercarea braziliană și coeziunea

Pentru betoanele asfaltice realizate cu granolit și utilizate în stratul de uzură al îmbrăcăminților bituminoase s-a considerat necesar să se examineze și rezistența la întindere pe generatoare (încercarea braziliană), în vederea cunoașterii coeziunii.

Rezistența la întindere pe generatoare s-a calculat cu relația:

$$R_t = \frac{P}{d \cdot h} \quad (\text{daN/cm}^2) \quad (4.7)$$

în care:  $R_t$  este rezistența la întindere pe generatoare, în daN/cm<sup>2</sup>;

P- forța la rupere exprimată în daN ;

d- diametrul epruvetei cilindrice în cm;

h- înălțimea epruvetei cilindrice în cm.

Pentru determinarea coeziunii s-a lucrat cu relația:

$$c = \frac{R_c \cdot R_t}{2\sqrt{R_c \cdot R_t - 3 R_t^2}} \quad (\text{daN/cm}^2) \quad (4.8)$$

c este coeziunea exprimată în daN/cm<sup>2</sup>;

$R_c$  și  $R_t$  rezistența la compresiune și la întindere pe generatoare, în daN/cm<sup>2</sup>.

De asemenea se poate lucra cu relația simplificată:

$$c = 0,5 \sqrt{R_c R_t} \quad (4.9)$$

Rezultatele obținute pe betonul asfaltic cu granulit comparativ cu două betoane asfaltice realizate cu criblură sînt prezentate în tabelul 4.12.

Tabel 4.12

Dozaj, în %	Beton asfaltic cu criblură		Beton asfaltic cu granulit
	1	2	3
bitum D 80/120	7,0	7,5	8,2
criblură 8 - 16	18,0	18,0	-
criblură 3 - 8	32,0	32,0	-
granulit 0 - 7	-	-	45,0
nisip natural	14,5	14,5	17,6
nisip de concasaj	15,5	15,0	17,2
filer-Murfatlar	13,0	13,0	12,0
	100,0	100,0	100,0
Densitate aparentă kg/m <sup>3</sup>	2340,0	2350,0	1780,0
Rezistența la compresiune daN/cm <sup>2</sup> la:			
0°C	84,1	99,3	105,3
22°C	46,5	41,0	55,8
50°C	17,7	17,9	23,3
Rezistența la întindere pe generatoare, daN/cm <sup>2</sup> la:			
0°C	24,6	28,1	30,0
22°C	8,8	7,5	9,4
50°C	2,5	2,3	4,0
Coeziunea, c, daN/cm <sup>2</sup> , la :			
0°C	22,7	26,4	27,1
22°C	10,1	8,8	11,4
50°C	3,3	3,2	4,8

În fig.4.8. este prezentată variația rezistenței la compresiune în funcție de temperatură pentru betonul asfaltic cu granulit (strat de uzură), comparativ cu betonul asfaltic realizat cu criblură, iar în fig.4.9 variația rezistenței la întindere pe generatoare, obținută prin încercarea braziliană în funcție de temperatură. Pentru ambele cazuri se constată

că rezistențele obținute la mixtura asfaltică realizată cu granulit sînt mai mari decît cele ale betonului asfaltic realizat cu criblură și considerat etalon. (1)

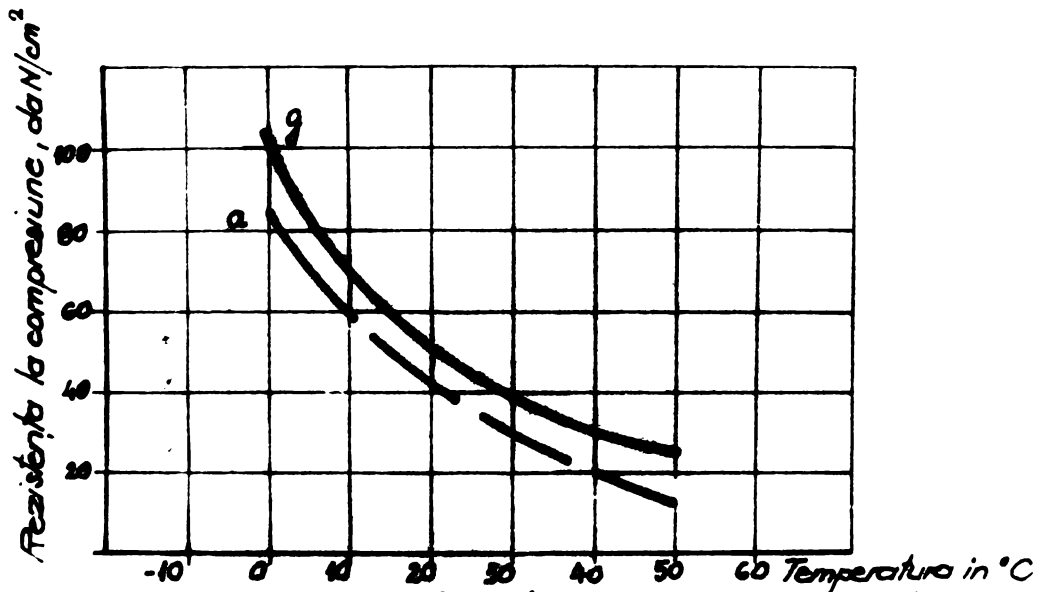


Fig. 4.8. Variația rezistenței la compresiune pe epruvete cilindrice în funcție de temperatură  
a - beton asfaltic cu criblură (1)  
g - beton asfaltic cu granulit

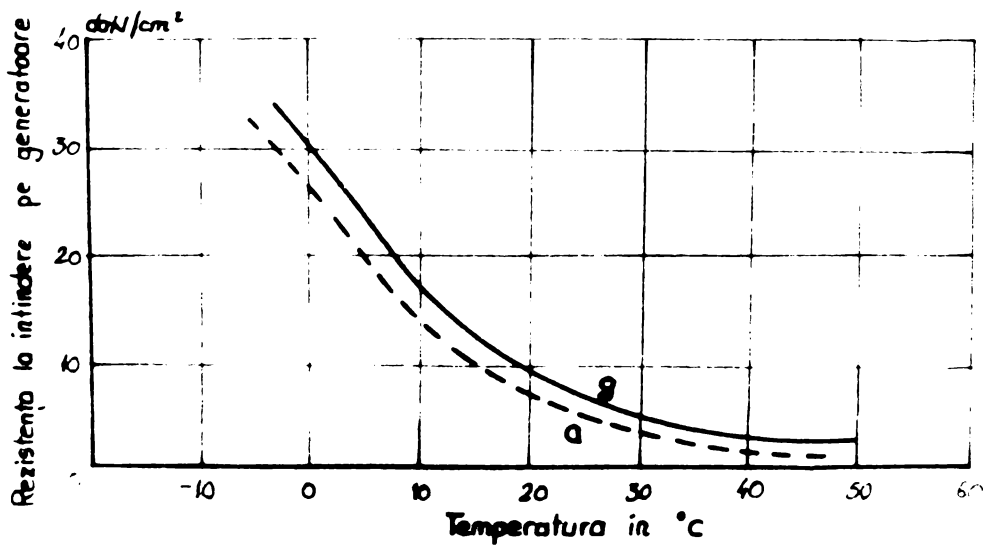


Fig. 4.9. Variația rezistenței la întindere pe generatoare la funcție de temperatură  
- a - beton asfaltic cu criblură (1)  
- g - beton asfaltic cu granulit

Studiind valoarea coeziunii se constată că și aceste valori sînt comparabile cu cele ale probei etalon, iar la temperatura de 50°C coeziunea este mai mare și anume 4,8 daN/cm<sup>2</sup> față de 3,3 și 3,2 în cazul betoanelor asfaltice realizate cu criblură.

În fig.4.10 se prezintă variația coeziunii celor două tipuri de betoane asfaltice și se constată că deși conținutul în bitum al mixturii asfaltice cu granulit este 8,2% față de 7,0 % în cazul betonului asfaltic realizat cu criblură, coeziunea atestă valori mai ridicate cînd se utilizează granulit ca înlocuitor al criblurii.

Din datele prezentate în tabelul 4.12, în fig.4.8, 4.9 și 4.10 se constată că performanțele fizico-mecanice ale betonului asfaltic cu granulit pentru strat de uzură sînt comparabile cu cele ale betoanelor asfaltice realizate cu criblură, rezistențele la compresiune și la întindere pe generatoare fiind mai ridicate în cazul betonului asfaltic cu granulit.

Comparînd aceste rezultate cu cele obținute în literatura de specialitate, se constată că mixturile tip beton asfaltic cu granulit atestă o comportare corespunzătoare, în condiții normale de exploatare atît la temperaturi scăzute, cît și la temperaturi de 50°C.

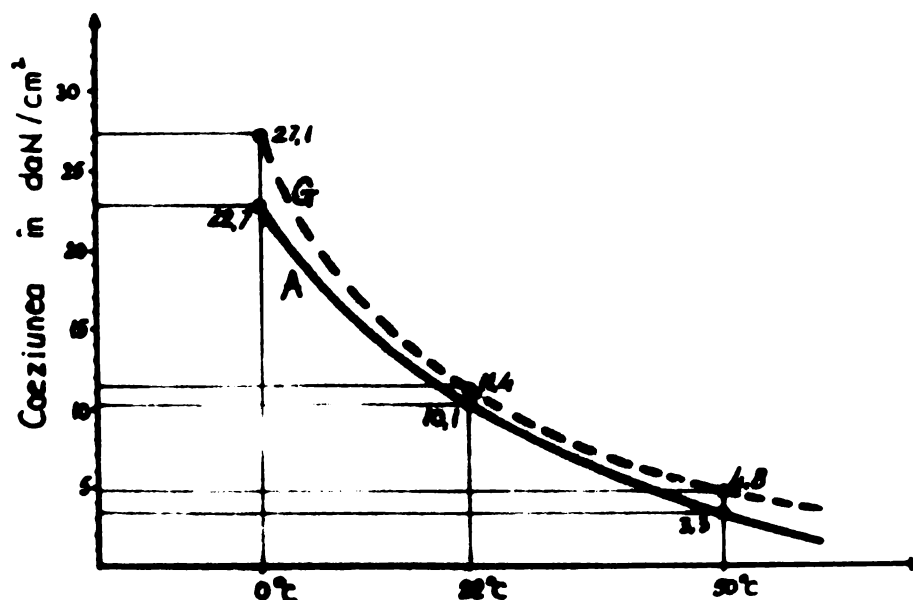


Fig. 4.10. Variația coeziunii cu temperatura  
curba A - beton asfaltic cu criblură (1)  
curba G - beton asfaltic cu granulit

4.7. Sector experimental, din îmbrăcăminte bituminoasă, realizat prin folosirea betoanelor asfaltice cu granulit

Urmare studiilor de laborator și a rezultatelor obținute, pentru verificarea comportării în exploatare a mixturilor asfaltice cu granulit s-a realizat un sector experimental pe DN 6 Lugoj - Timișoara km 510+820 - 510+880 dr, în anul 1976.

Îmbrăcămintea bituminoasă a fost executată în două straturi, un strat inferior de legătură de 4,0 cm și un strat de uzură de 3,0 cm.

Mixturile asfaltice au fost preparate în instalația de producere a acestora la formația Lugoj, cu respectarea procesului tehnologic obișnuit, fără nici un fel de modificări.

Dozajele folosite sînt prezentate în tabelul 4.13.

Așternerea și compactarea s-au realizat în aceleași condiții ca în cazul celorlalte tipuri de mixturi asfaltice.

Sectorul experimental a fost menținut continuu sub observație, urmărindu-se modul de comportare în timp.

După 6 ani de la execuție se constată că se prezintă foarte bine, fără degradări sau tasări față de sectoarele adiacente.

Tabel 4.13

Materiale, %	Beton asfaltic cu granulit	
	strat de uzură	strat de legătură
Granulit 7...16 mm	-	62,0
Granulit 0... 7 mm	45,0	-
Nisip natural	17,6	30,8
Nisip de concasaj	17,2	-
Filer (Murfatlar)	12,0	2,0
Bitum D 80/120	8,2	5,2
TOTAL	100,0	100,0

Carotele prelevate de pe acest sector, cu carotiera la un an, doi și cinci de la darea în circulație atestă de asemenea o comportare bună.

Rezultatele obținute se pot urmări în tabelul 4.14.

Tabel 4.14

Caracteristici	Beton asfaltic cu granulit strat de uzură-carotă		
	la un an	la 2 ani	la 5 ani
Bitum, în %	8,2	8,2	8,2
Densitate aparentă, g/cm <sup>3</sup>	1850,0	1900,0	1900,0
Absorbție de apă, % vol.	6,5	5,0	4,5
Rugozitate geometrică, HS, în mm	0,4...0,3	0,3...0,26	0,3...0,26

În fig.4.11 se poate urmări aspectul sectorului după 2 ani de la darea în exploatare, iar în fotografiile 4.12, 4.13 o secțiune prin stratul de uzură realizat cu granulit și prin stratul de legătură.

#### 4.7.1. Unele aspecte privind rugozitatea sectorului experimental

Pentru a urmări rugozitatea sectorului experimental, s-au efectuat măsurători ale rugozității prin metoda înălțimii de nisip (metodă acceptată și adoptată la al XV-lea Congres mondial de drumuri, Mexic 1975), metodă introdusă și la noi în țară.

Relația utilizată fiind:

$$H_s = \frac{V}{S} \quad /mm/ \quad (4.10)$$

$H_s$  este înălțimea de nisip în mm

$V$  - volumul de nisip folosit la determinare, în mm<sup>3</sup>

$S$  - suprafața pe care se face măsurarea, în mm<sup>2</sup>.

Determinarea rugozității s-a efectuat la 1 an, la 2 ani și la 5 ani de la execuție, comparativ cu sectorul adiacent pe care s-a așternut un strat de uzură din beton asfaltic cu agregat mărunț bogat în criblură. Rezultatele obținute pot fi urmărite în tabelul 4.15.

Se constată că valorile rugozității geometrice sînt comparabile cu cele măsurate pe sectorul adiacent, iar după 5 ani de la execuție nu se mai constată scăderea rugozității geometrice, valorile obținute sînt aproape aceleași cu cele obținute la 2 ani de la darea în exploatare.



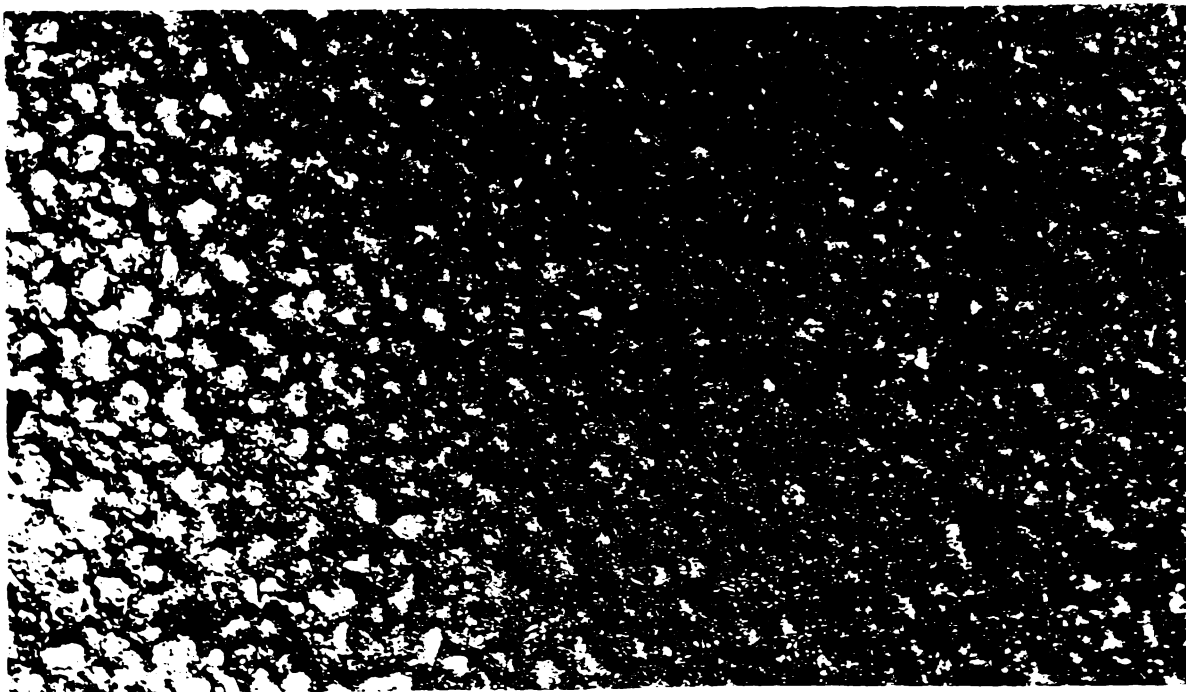


Fig.4.11. Aspectul sectorului după 2 ani de la darea în exploatare

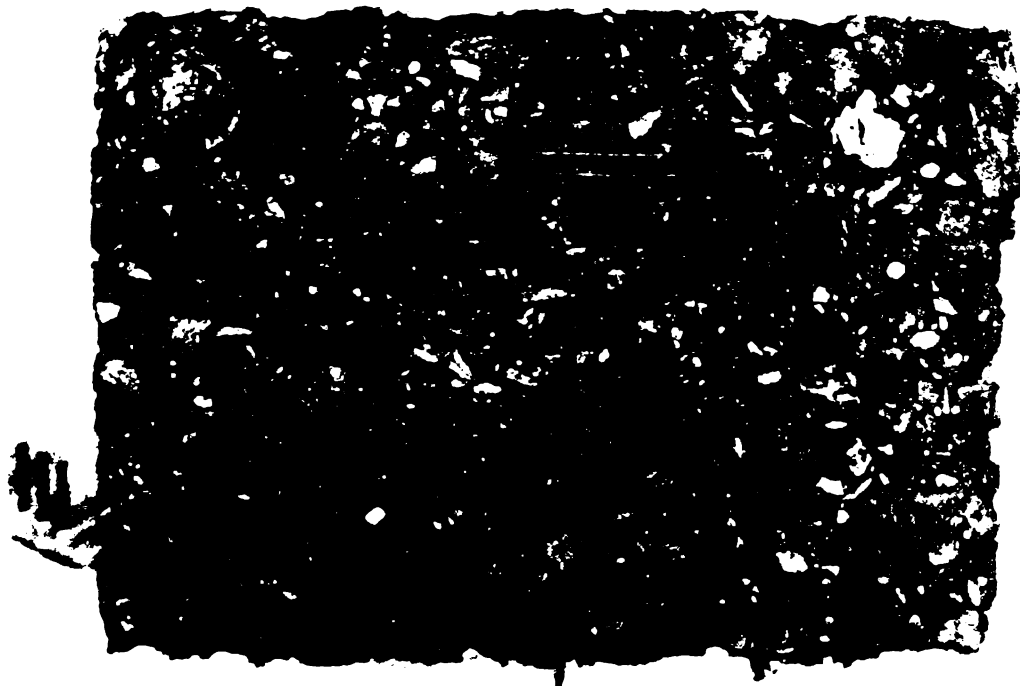


Fig.4.12. Secțiune prin stratul de uzură realizat cu granulit

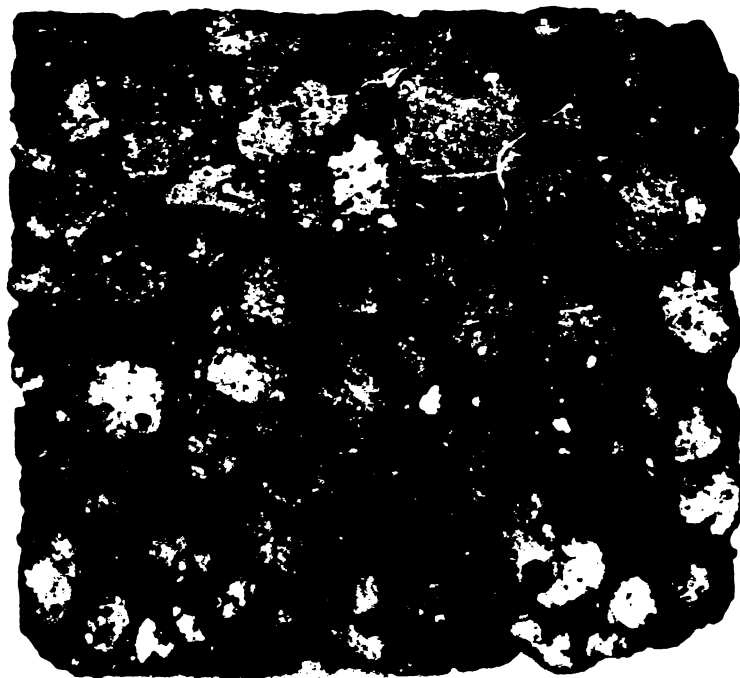


Fig.4.13. Secțiune prin stratul de legătură realizat cu granulit

Intensitatea traficului, pe sectorul experimental, conform măsurărilor efectuate în 1975, arată că din totalul de 3201 vehicule fizice, 480 reprezintă vehicule grele (în care au fost incluse autocamioanele cu peste 5 t.f. încărcătură), deci o pondere de 15 % din totalul traficului, iar în anul 1980 se constată o creștere de la 3201 vehicule fizice la 4237, concomitent cu o creștere a traficului greu de la 480 la 677. Datele privind intensitatea traficului pe sectorul experimental pot fi urmărite în tabelul 4.16.

Tabel 4.15

Poziția kilometrică	Rugozitatea geometrică în mm strat de uzură cu...			
	criblură		granulit	
	2,5 m stînga	1 m de la axă	1 m de la axă	2,5 m dreapta
După 1 an de la darea în circulație				
510 + 830	0,40	0,30	0,31	0,30
510 + 850	0,30	0,30	0,30	0,31
510 + 860	0,38	0,40	0,32	0,31
510 + 870	0,40	0,44	0,40	0,38
După 2 ani de la darea în circulație				
510 + 830	0,30	0,28	0,27	0,25
510 + 850	0,28	0,26	0,23	0,27
510 + 860	0,32	0,36	0,24	0,26
510 + 870	0,34	0,44	0,30	0,31
După 5 ani de la darea în circulație				
510 + 830	0,28	0,28	0,28	0,25
510 + 850	0,27	0,26	0,26	0,26
510 + 860	0,30	0,24	0,24	0,26
510 + 870	0,32	0,40	0,28	0,32

Tabel 4.16

Intensitatea traficului

Sectorul analizat	MZA în vehicule fizice anul 1975		
	Total	greu	%
DN 6 Lugoj- Timișoara km 503-522	3201	480	15
	4237	677	16

4.8. Mixturi asfaltice cu granulit pentru realizarea îmbrăcămintilor bituminoase pe poduri

În continuarea studiilor de laborator, prin similitudine cu celelalte tipuri de mixturi asfaltice s-a încercat obținerea unei mixturi asfaltice tip asfalt turnat, avînd drept constituenți: granulit 0...7 mm, nisip natural, filer și bitum D 40/50.

S-a lucrat cu următorul dozaj :

granulit 0...7 mm .....	45,0 %
nisip natural.....	22,0 %
filer (Murfatlar).....	23,3 %
bitum D 50.....	<u>9,7 %</u>
	100,0 %

Caracteristicile fizico-mecanice ale asfaltului turnat cu granulit comparativ cu aceleași tip de mixtură asfaltică realizată cu criblură sînt indicate în tabelul 4.17.

Tabel 4.17

Caracteristici	Asfalt turnat cu criblură granulit	
densitatea aparentă, kg/m <sup>3</sup>	2400	2000
absorbție de apă, % vol.	0...1	0,5
rezistența la compresiune, pe cub daN/cm <sup>2</sup> , la:		
22°C	35,0	38,0
50°C	17,0	16,0
stabilitate Marshall la 60°C, daN	550,0	700,0
indice de curgere (fluaaj), mm	1,5...4,5	4,7
umflare după 28 zile păstrare în apă, % vol.	1,0	0,8

Se constată că performanțele asfaltului turnat cu granulit sînt apropiate de cele ale asfaltului turnat cu criblura, performanțe obținute cu reducerea densității aparente cu 17,0 %, avantaj deosebit pentru a micșora încărcarea dată de îmbrăcămintele pe un pod. Acest tip de mixtură asfaltică a fost studiat numai în laborator, iar pentru experimentare s-a considerat necesar să se lucreze cu un beton asfaltic etanș cu granulit.

Pornind de la datele și experimentările efectuate în laborator s-a considerat că este util să se execute o îmbrăcăminte pe pod din beton asfaltic cu granulat ca înlocuitor al asfaltului turnat, întrucât acesta era greu de realizat datorită procentului ridicat de filer care-l făcea greu lucrabil.

Materiale utilizate: bitum D 80/100, granulat 0...7 mm, nisip de concasaj și filer de Căvăran.

Compoziția granulometrică a agregatelor este prezentată în tabelul 4.18.

Tabel 4.18

Agregatul	Rest pe ciur și sita de...mm, %							
	8	3	1	0,6	0,2	0,09	0,03	trece prin sita de 0,03 mm
granulit 0-7	39,7	37,0	20,0	2,0	1,0	0,1	0,1	0,1
nisip de concasaj	-	0,8	37,0	15,4	23,2	10,8	1,6	11,2
filer de Căvăran	-	1,3	0,7	6,4	6,1	18,6	18,0	48,9

Densitatea granulatului în grămadă în stare afînată = 920 kg/m<sup>3</sup>

Densitatea granulatului în grămadă în stare îndesată = 1010 kg/m<sup>3</sup>

Densitatea aparentă a granulatului = 1960 kg/m<sup>3</sup>

Volum de goluri : - în stare afînată = 53,0 %

- în stare îndesată = 48,5 %

Experimentarea s-a făcut la formația de mixturi bituminoase Lugoj în iunie 1979. Dozajul adoptat a fost următorul:

granulit 0 - 7 = 50,0 %

nisip de concasaj = 26,0 %

filer (Căvăran) = 14,6 %

bitum D 80/100 = 9,4 %

100,0 %

Mixtura asfaltică realizată cu granulat în condiții normale de lucru, într-o instalație ANG, la Lugoj, respectând următoarele temperaturi : 170°C la ieșirea din uscător și 140-155°C la ieșirea din malaxor s-a așternut pe DN 68 A km 19+500-19+530, ca îmbrăcăminte pe pod.

Situația constatată pe pod: îmbrăcămintea bituminoasă pe pod a fost executată în 1967, în 1979 era foarte degradată.

Nu există hidroizolație pe pod. Grosimea stratului îmbrăcămin-  
tei de pe pod era de 2,5 cm, cu numeroase fisuri și crăpături.  
Crăpăturile au avut 15-25 mm lățime și sînt mai accentuate pe  
culeea Lugoj. Pe pod nu sînt barbacane pentru scurgerea apelor,  
scurgerea se poate face numai lateral pe treptele de coborîre  
și pe sfertul de con.

Procesul tehnologic. S-a decapat îmbrăcămintea ve -  
che, s-a curățat și s-au plombat gropile cu mixtură cu granolit.  
Amorsarea întregii suorafețe s-a realizat cu emulsie bituminoasă  
cationică (rupere rapidă). Așternerea mixturii s-a făcut la  
temperatura de 130-140°C, cu răspînditorul mecanic tip RMA. Com-  
pactarea s-a realizat cu un compactor cu rulouri netede de 100  
kN, prin 13-14 treceri. După compactare s-a dirijat circulația  
pe partea opusă și între timp s-a realizat și jumătatea cealaltă  
a căii de pe pod.

După compactare s-a răspîndit nisip de concasaj bitu-  
mat cu 2 % bitum pe toată suprafața, apoi s-a compactat ușor prin  
3-4 treceri.

Sectorul experimental astfel realizat are o lungime  
de 30 m și 8 m lățime. Podul propriu-zis are 20 m lungime.

Pentru verificarea compoziției mixturii asfaltice  
realizate cu granolit s-au ridicat două probe de la așternere,  
care au fost analizate în laborator, caracteristicile fiind  
prezentate în tabelul 4.19.

Sectorul experimental a fost menținut în continuare  
sub observație, constatîndu-se o comportare corespunzătoare în  
timp.

Tabel 4.19

Compoziția mixturii, în %	Proba 1	Proba 2
Bitum, în %	9,25	9,35
Curba granulometrică a agregatului mineral, trece prin ciur sau sită de ...în %		
- sita de 0,08 mm	10,5	11,0
- sita de 0,09 mm	12,4	13,8
- sita de 0,2 mm	19,8	19,3
- sita de 0,6 mm	33,6	30,9
- ciur de 3 mm	60,3	56,2
- ciur de 8 mm	89,8	75,0

Compoziția mixturii, %	Proba 1	Proba 2
- ciur de 16 mm	100,0	98,4
- ciur de 25 mm		100,0
<b>Caracteristici fizico-mecanice</b>		
<b>Densitatea aparentă, în kg/m<sup>3</sup>:</b>		
- pe epruvete cubice	1800	1910
- pe epruvete Marshall	1830	1960
<b>Absorbția de apă, % vol.:</b>		
- pe epruvetă cubică	7,3	5,9
- pe epruvetă Marshall	7,0	4,2
<b>Rezistența la compresiune, daN/cm<sup>2</sup> :</b>		
- la 22°C	46,0	45,6
- la 50°C	17,0	17,0
Stabilitatea Marshall, la 60°C, daN	1440,0	1400,0
Indice de curgere (fluaj) la 60°C, în mm	2,0	2,1
Raport stabilitate/fluaj	720,0	668,0
Umflarea după 28 zile, % vol.	0,2	0,2
<b>Reducerea rezistenței la compresiune după 28 zile imersare în apă, %</b>		
	14,0	14,1

#### 4.9. Observații privind mixturile asfaltice realizate cu granulit

Cercetările întreprinse în laborator asupra diferitelor tipuri de betoane asfaltice obținute prin folosirea granulitului ca înlocuitor al criblurilor, precum și experimentările efectuate pe teren au condus la o serie de observații și concluzii privind comportarea acestora atât din punct de vedere al încercărilor de laborator, cât și al efectului traficului.

##### Referitor la necesarul de bitum

Datorită faptului că granulitul este un agregat cu porozitate mare și cu o suprafață specifică diferită de a criblurilor, s-a constatat că este necesar un consum sporit de bitum, comparativ cu cel necesar pentru anrobarea criblurilor, de aceea în laborator s-au studiat și experimentat diferite modalități de reducere a necesarului de bitum. S-a observat că se poate micșora cantitatea de liant pentru anrobarea granulitului prin tratarea lui cu lapte de var sau filer, în propor-



ție de 2,0 % din masa lui. În acest caz anrobarea are loc în condiții mai bune, concomitent cu o creștere a adhezivității la interfața bitum-granulit.

Raportul filer/bitum

Pentru betoanele asfaltice realizate cu granulit și folosite în stratul de uzură s-a căutat să se realizeze o filerizare cât mai mare și anume să se lucreze cu un raport filer/bitum de 1,6 pînă la 1,7, fapt ce a condus și la obținerea unei stabilități ridicate a acestora și anume în general peste 1000 daN.

Din examinarea rezultatelor obținute pe toate tipurile de mixturi asfaltice realizate cu granulit s-a constatat că atât rezistențele la compresiune cât și stabilitatea Marshall atestă valori mai ridicate pentru epruvetele cu granulit, decît pentru cele considerate etalon al căror schelet mineral era alcătuit din criblură. Pentru elucidarea fenomenului s-a considerat necesar să se studieze comparativ bitumul inițial, bitumul extras dintr-un beton asfaltic executat cu granulit și bitumul dintr-un beton asfaltic cu criblură.

Rezultatele sînt prezentate în tabelul 4.20.

Tabel 4.20

Caracteristici	Bitum de la rafinăria Suplac		
	inițial	Extras din mixtura cu :	granulit criblură
Penetrația la 25°C, în 1/10 mm	101,3	87,0	95,0
Punct de înmuiere, I.B. în °C	46,0	48,0	47,0
Ductilitatea la 25°C, în cm	>100,0	> 100,0	>100,0
Punct de rupere Fraass, în °C	-21,0	-17,0	-18,0
Indice de penetrație	- 0,47	- 0,37	- 0,32
Vîscozitatea la 60°C în CP	2,5.10 <sup>5</sup>	4,5.10 <sup>5</sup>	3,3.10 <sup>5</sup>

Din datele examinate se confirmă faptul că duritatea bitumului în mixturile asfaltice cu granulit crește, penetrația de la 101,3 1/10 mm scade la 87,0, în timp de în mixtura asfaltică realizată cu criblură penetrația scade mai puțin și anume la 95,0 1/10, mm. Creșterea durității se observă și

prin creșterea punctului de înmuiere de la  $46,0^{\circ}\text{C}$  la  $48,0^{\circ}\text{C}$ , aceeași constatare fiind valabilă și pentru vâscozitate.

În consecință din rezultatele de laborator examinate se constată o creștere mai pronunțată a durității liantului care explică în parte și rezistențele sporite ale mixturilor asfaltice realizate cu granulat și confirmă stabilitatea lor sporită la acțiunea traficului greu.

Reprezentând grafic evoluția liantului se obțin curbele prezentate în fig. 4.14 care reprezintă evoluția penetrației în funcție de timp pentru cele două tipuri de mixturi asfaltice.

De asemenea se poate urmări și evoluția fragilității prin punctul de rupere Fraass în același interval, în fig.4.15.

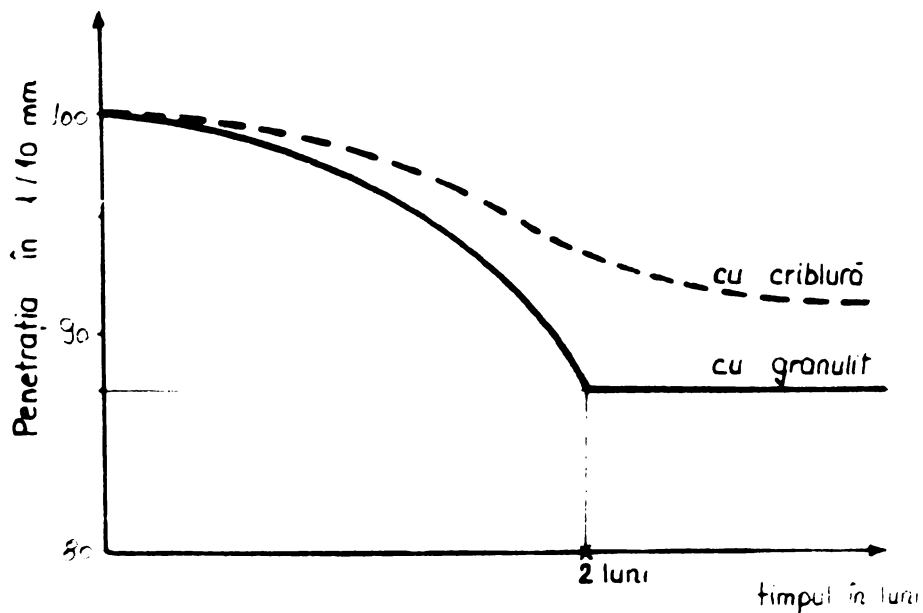


Fig. 4.14. Evoluția penetrației

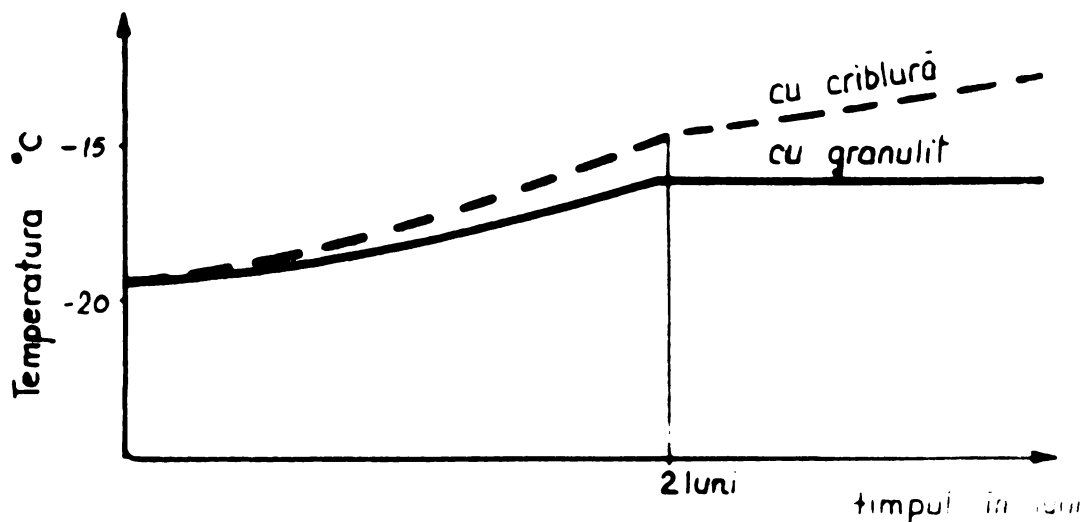


Fig. 4.15. Evoluția punctului de rupere Fraas

4.9.1. Acțiunea apei asupra mixturilor asfaltice realizate cu granolit

Pentru a urmări comportarea mixturilor asfaltice realizate cu granolit s-au făcut studii privind acțiunea apei asupra epruvetelor cilindrice avînd diametrul egal cu înălțimea, respectiv 71,4 mm, urmărind zilnic cantitatea de apă absorbită.

Rezultatele sînt prezentate în tabelul 4.21.

Tabel 4.21

Epruve- te cu granu- lit	Timpul în zile										
	1	2	3	4	7	10	11	14	20	23	30
	absorbția de apă, % vol.										
Beton asfal- tic uzură (9,3)	3,0	3,2	4,0	4,0	4,4	5,1	5,1	5,1	5,2	5,2	5,2
Beton asfal- tic uzură (8,2)	4,6	5,3	5,3	5,3	5,3	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Anroba- te	6,5	7,0	8,0	8,0	8,3	9,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Beton asfal- tic strat de le- gătură	12,0	12,3	13,0	13,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,1

După cum se constată din tabelul 4.21 și din graficul din fig.4.16, comportarea betoanelor asfaltice și a anrobate-  
lor sub acțiunea apei se manifestă prin absorbții mai mari în  
primele zile de păstrare în apă, apoi printr-o perioadă de  
staționare între 10 și 30 zile, cînd absorbția se menține aproa-  
pe constantă.

Se remarcă de asemenea faptul că zece zile de păstra-  
re în apă echivalează cu valoarea absorbției de apă, obținută  
prin determinarea acesteia în condiții standard, respectiv men-  
ținerea probelor 3 ore la un vid de 16 - 20 mm lg și 2 ore la  
presiunea atmosferică.

Pe toată durata păstrării în apă nu s-au observat de-  
gradări ale epruvetelor imersate în apă și nici fenomene de  
desanrobare

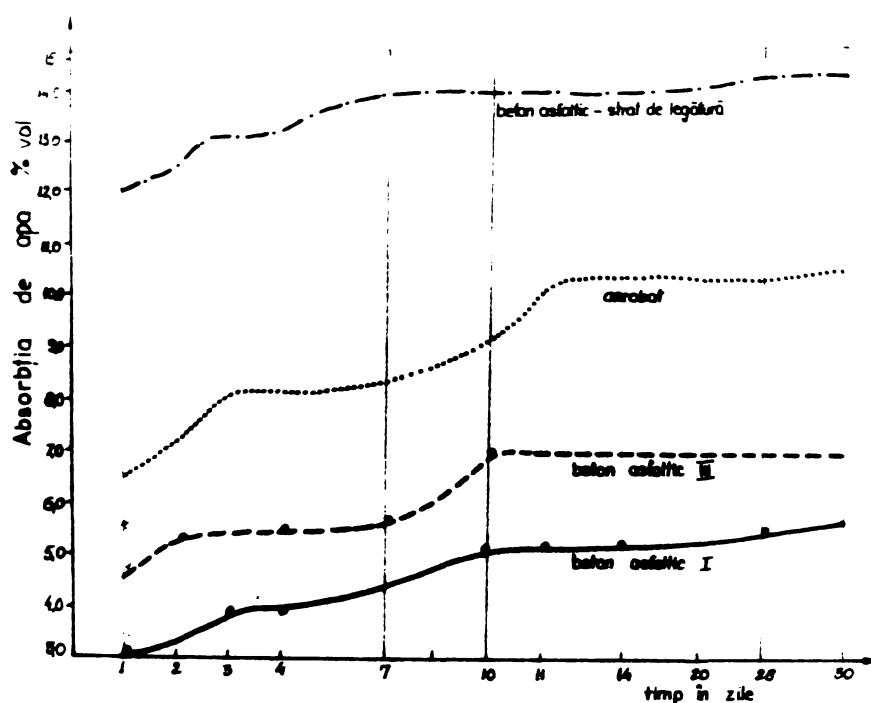


Fig. 4.16. Absorbția de apă . funcție de timp

Comportarea la acțiunea de lungă durată a apei, asupra anrobateelor bituminoase și a betoanelor asfaltice realizate cu granulit este pusă în evidență prin determinarea umflării epruvetelor la 28 zile de păstrare în apă. Din tabelele 4.5, 4.11 și 4.19 se constată că valorile obținute sînt sub 1,0 % pentru anrobate și anume între 0,6 - 0,7 %, iar în cazul betoanelor asfaltice cu granulit pentru strat de uzură, între 0,1 și 0,2 %, ceea ce atestă o comportare corespunzătoare.

O altă încercare, ce pune în evidență acest fenomen este reducerea rezistenței la compresiune după 28 zile păstrare în apă. Din tabelele 4.11 și 4.19 se constată o comportare corespunzătoare, reducerea fiind de 14-17 %, față de 20,0 % admis de standardul pentru mixturi asfaltice realizate cu cribluri.

4.9.2. Fenomenul de autoreparare, în cazul mixturilor asfaltice realizate cu granulit.

Pentru a obține cît mai multe date în legătură cu comportarea mixturilor asfaltice cu granulit, s-a considerat interesant și util să se studieze fenomenul de autoreparare al acestora.

În studiile întreprinse s-a plecat de la articolul lui J.Saunier din 1968 /227/.

Specialiștii care lucrează în domeniul mixturilor asfaltice au observat dispariția fisurilor, "în situ", vara pe timp călduros.

Evident că, această autoreparare este temporară și fisurile reapar o dată cu scăderea temperaturii, fenomen absolut logic, căci fisurile odată apărute, nu există nici un argument pentru ca prin autoreparare să se obțină mixturi asfaltice mai rezistente decât cele inițial puse în operă. Dinpotrivă fenomenul poate să devină interesant dacă autorepararea se produce înainte de apariția fisurilor la suprafața îmbrăcămintei bituminoase.

Pentru studierea fenomenului s-au efectuat în laboratorul Direcției drumuri și poduri Timișoara, încercări pe mixturile asfaltice care au fost supuse la compresiune.

Experimentarea s-a efectuat pe epruvete cubice cu latura de 70,7 mm, care după ce au fost încercate la compresiune simplă la temperatura de 22°C, au fost lăsate în repaus un anumit interval de timp și apoi din nou încercate la compresiune în condiții identice. Autorepararea a fost evaluată prin raportul:

$$A = \frac{R'_c}{R_c} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.11)$$

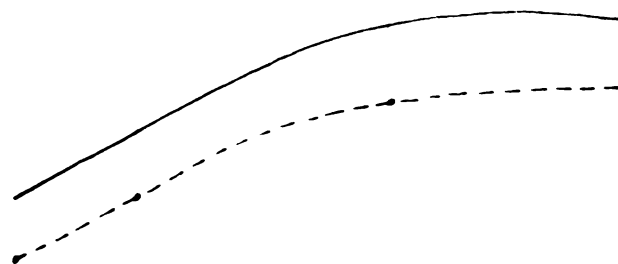
A - este autorepararea exprimată în %

$R'_c$  - rezistența la compresiune după autoreparare, daN/cm<sup>2</sup>

$R_c$  - rezistența la compresiune inițială, daN/cm<sup>2</sup>.

Rezultatele sînt prezentate în fig.4.17.

$\frac{R'_c}{R_c} \%$



— beton asfaltic cu granulat cu 5% beton  
--- beton asfaltic cu granulat cu 5% beton

S-a lucrat cu două tipuri de mixturi asfaltice cu granulat, cu același schelet mineral, dar cu 8,3 % și 8,0 % bitum D 80/120. Din datele experimentale se constată că după 48 ore de menținere în repaos a epruvetelor încercate inițial pînă la rupere la compresiune, se ajunge la un factor de autoreparare de aproximativ 80,0 %, în cazul unei mixturi asfaltice cu granulat pentru strat de uzură, avînd un conținut de 8,3 % bitum și la 65 %, în cazul aceleiași mixturi, dar cu un conținut mai mic de liant și anume 8,0 %. Din aceste încercări se constată rolul pozitiv al creșterii procentului de bitum în fenomenul de autoreparare pînă la limita optimă, un conținut mai mare de liant conduce însă la scăderea stabilității.

O altă încercare efectuată pe epruvete cubice, tot după determinarea rezistenței la compresiune și-a propus să urmărească modul în care scade rezistența la compresiune prin încercări succesive ale aceleiași epruvete.

Rezultatele obținute sînt prezentate în fig.4.18.

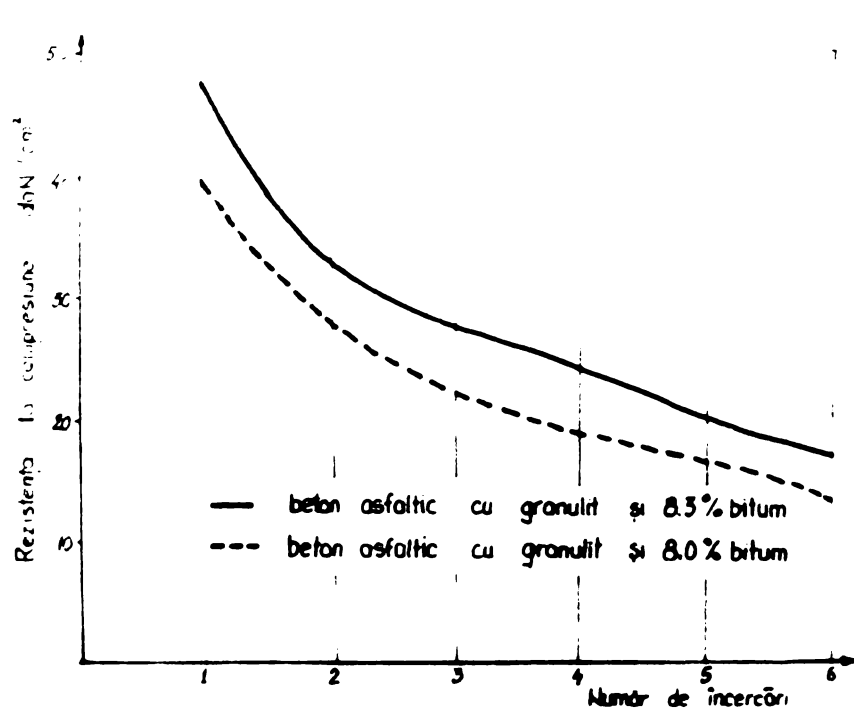


Fig. 4.18 Rezistența la compresiune funcție de repetarea încercărilor

Din examinarea rezultatelor prezentate în fig.4.18 se observă că cele două curbe sînt aproximativ paralele, epruvetele care au avut rezistențele inițiale la compresiune mai mari, după șase încercări repetate mențin aproape constantă această diferență în valoare absolută, fiind mai mare pentru epruvetele cu conținutul de bitum mai ridicat și anume 8,3 %. Evident nu



se poate depăși conținutul de bitum pentru a evita riscul de vâlurire sub efectul traficului, în cazul unui exces de liant.

În consecință, urmare studiilor de laborator s-a evidențiat clar că fenomenul de autoreparare este caracteristic și mixturilor asfaltice realizate cu granulit și poate fi pus în evidență și prin încercarea la compresiune. După 48 ore se ating valori între 65 % și 80 % pentru betoanele asfaltice realizate cu granulit pentru stratul de uzură.

4.9.3. Densitatea aparentă a mixturilor asfaltice realizate cu granulit, este cu 15-45 % mai mică decât în cazul aceluiași tipuri de mixturi executate cu agregate tradiționale.

În fig.4.19 sînt prezentate comparativ densitățile aparente respective pentru beton asfaltic cu cribluri B.a.16.40 și beton asfaltic cu granulit B.a.16.40 g, pentru beton asfaltic deschis folosit în strat de legătură realizat cu criblură și cu granulit, precum și pentru anrobate bituminoase cu pietriș și granulit.

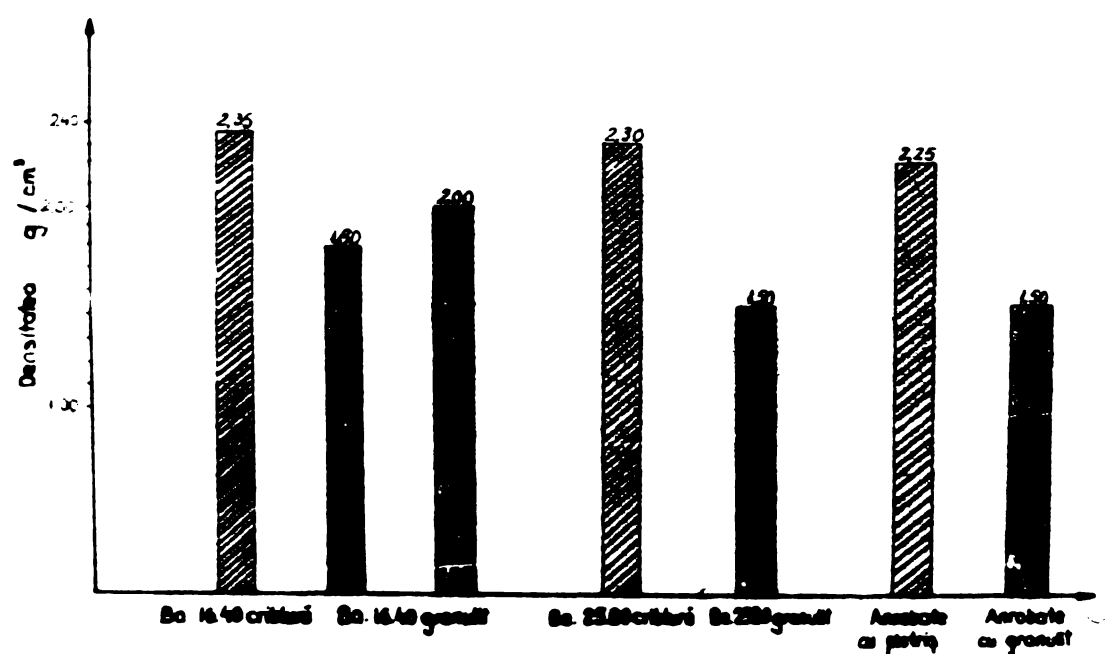


Fig 4 19 Densitatea aparentă a mixturilor asfaltice cu granulit

Avantajul mixturilor asfaltice realizate cu granulit constă în special în faptul că rezultă o scădere sensibilă a încărcărilor mai ales pe poduri, lucrări de artă etc. și datorită acestei densități mai mici se obțin economii la realiza-

rea aceleași grosimi a îmbrăcăminților pe  $m^2$  și km, care se materializează în final în economii de bitum.

#### 4.10. Studiul comportării la oboseală a mixturilor asfaltice realizate cu granulit

Oboseala mixturilor asfaltice este studiată în ultimii ani în foarte multe laboratoare de către cercetătorii care lucrează în acest domeniu folosind diverse moduri de solicitare și o mare diversitate de epruvete /21/ /60/ /75/ /76/ /78/ /99/ /113/ /140/ /141/. Totuși nu s-au putut încă reconstitui total în laborator condițiile în care sînt exploatate în mod real straturile rutiere bituminoase /107/ /160/ /164/ /165/ /193/ /195/ /202/ /215/ /224/ /226/.

În laborator, împrăștierea mare a rezultatelor în ceea ce privește numărul de cicluri la oboseală se datorește în mare măsură caracterului aleatoriu al acestui fenomen, cît și naturii eterogene a materialelor, care intră în componența mixturilor asfaltice, fapt ce impune un mare număr de încercări și verificări de lungă durată /21/ /78/ /99/ /113/ /140/ /202/ /226/ /238/.

Este evident că pe drum, îmbrăcămințile bituminoase alcătuite din mixturi asfaltice sînt supuse unor eforturi și deformații complexe și aleatorii și că este imposibil să se reconstituie în laborator, condițiile reale de pe teren. Totuși, dacă se admite ipoteza ruperii la oboseală, prin alungiri orizontale excesive, repetate, la baza straturilor din mixturi asfaltice, încercările uniaxiale vor permite folosirea rezultatelor la oboseală din laborator, pentru previziunea duratelor de exploatare a diferitelor straturi din sistemul rutier /264/ /266/ /274/ /275/ /276/.

În general, aproape toate încercările de laborator, pornesc de la aceste ipoteze simplificatoare, permițînd clasificarea acestora, în funcție de regimul de solicitare al epruvetei astfel:

- încercări la încovoiere alternantă, axială sau rotativă;
- încercări la tracțiune-compresiune.

Sistemul de încercare al epruvetei, care poate fi

realizat prin:

- solicitări în serie;
- solicitarea unei singure epruvete;
- solicitări în bloc;
- solicitări întâmplătoare.

În ceea ce privește regimul de aplicare al efortului, acesta poate fi:

- sinusoidal, cu timpi egali sau diferiți de încărcare;
- sinusoidal, cu timpi egali sau diferiți de încărcare și relaxare;
- pulsator, la care durata de aplicare a efortului este mult mai mică decât durata de relaxare.

După ce s-a ales tipul de solicitare, tipul de epruvetă și aparatura de încercare, mai este necesar să se stabilească dacă se va lucra la efort constant sau la deformare constantă /21/ /60/ /75/ /76/ /78/ /99/ /113/ /224/ /226/.

Inercarea la încovoiere sinusoidală la efort constant.

În acest tip de încercare, epruveta este supusă pe toată durata încercării la un efort unitar constant, după cum se poate urmări în fig.4.20, iar deformarea specifică are o creștere redusă față de valoarea ei inițială pînă în momentul fisurării epruvetei cînd, prezintă o creștere exponențială pînă la rupere după cum se poate urmări în fig.4.21.

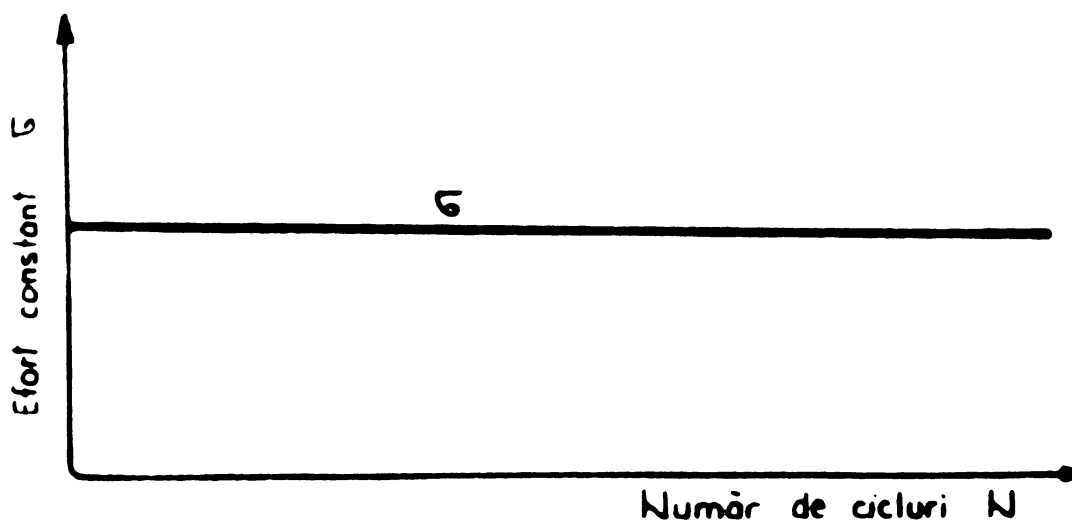


Fig. 4.20 încercarea la oboseală la efort constant

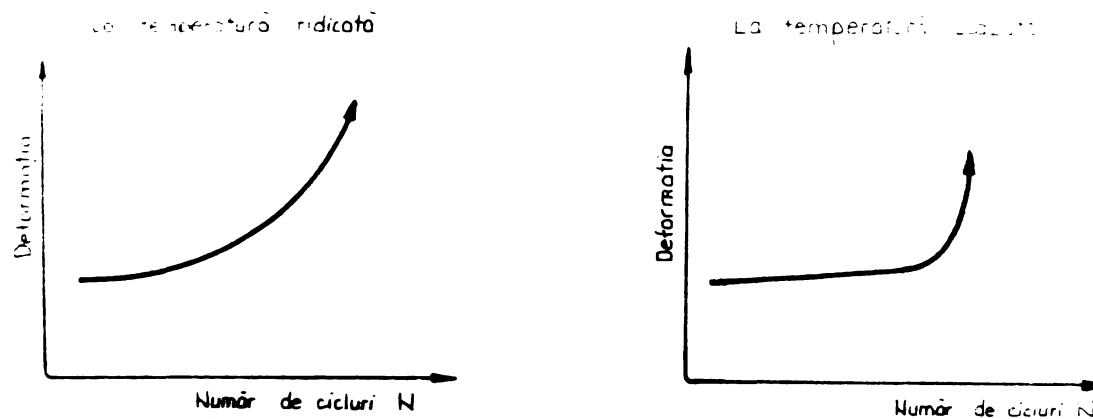


Fig 4.21 - Evoluția deformației la oboseală la efort constant

În condițiile date de solicitare (frecvență și temperatură) durata de exploatare a epruvetei, reprezentată prin numărul de solicitări care provoacă ruperea, se poate exprima prin relația:

$$N = k_1 \left( \frac{1}{\sigma} \right)^m \quad (4.12)$$

în care:

- N este numărul de cicluri pînă la rupere;
- $k_1$  și  $m$  - constante care depind de caracteristicile mixturii asfaltice și de condițiile de încercare (temperatură, frecvență);
- $\sigma$  - efortul unitar impus.

În coordonate logaritmice relația (4.12) este reprezentată sub forma unor drepte, a căror pantă variază în funcție de rigiditatea mixturii asfaltice, conform fig.4.22.

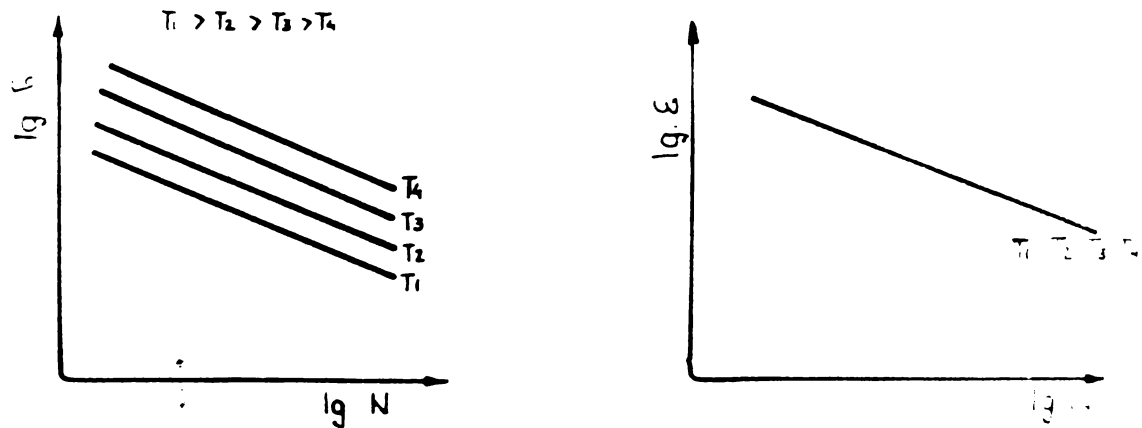


Fig 4.22. - Reprezentarea fenomenului de oboseală la efort constant

Incercări la oboseală prin solicitare la deformare constantă.

In acest tip de încercare, epruveta este supusă unei deformații specifice, de amplitudine constantă.

Relația dintre durata de exploatare a epruvetei exprimată prin numărul de cicluri  $N$  și deformația  $\epsilon$ , este dată prin relația:

$$N = k_2 \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^n \quad (4.13)$$

în care:  $N$  este numărul de solicitări pînă la rupere;

$k_2$  și  $n$  sînt constante ce depind de asemenea, de caracteristicile mixturii asfaltice și de condițiile de încercare.

In coordonate logaritmice, relația (4.13) este reprezentată de asemenea prin drepte a căror pantă depinde de rigiditatea mixturii asfaltice, conform fig.4.23.

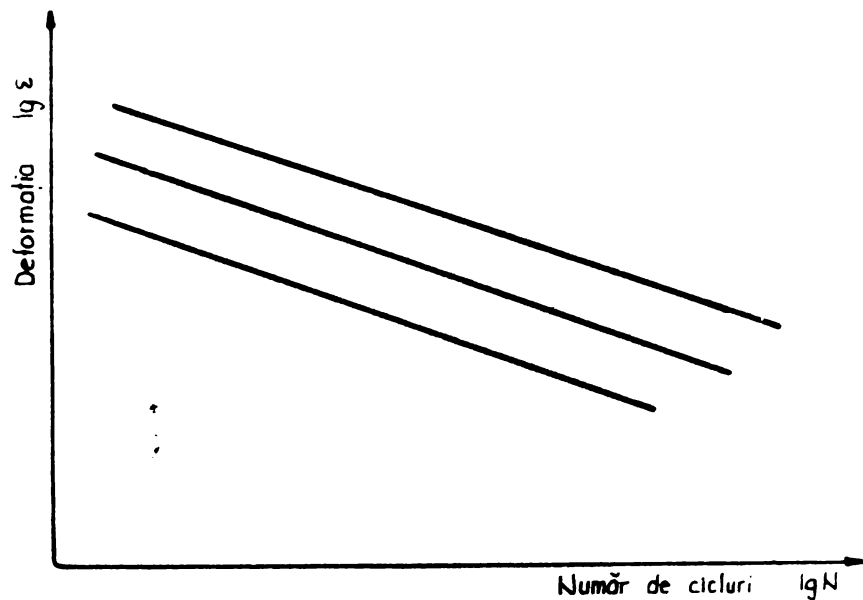


Fig 4.23. - Reprezentarea fenomenului de oboseală la deformație constantă

În ceea ce privește rezistența la oboseală [13] [21] [72] [245] exprimată prin numărul de cicluri  $N$ , cercetătorii apreciază că în general prin încercarea la deformație constantă se obține o durată de exploatare mai mare decât în cazul solicitării la efort constant, după cum se poate urmări și în fig.4.24.

Mecanismul de degradare prin oboseală prin cele două moduri diferite de solicitare arată:

- procent accelerat de degradare la efort constant;
- procent moderat de degradare la deformație constantă.

Etapele caracteristice ale fenomenului de oboseală sînt următoarele:

- amorsarea procesului de fisurare pînă ce fisura caracterizată prin lungimea  $l$ , începe să se propage;
- propagarea fisurii, caracterizată printr-o viteză de propagare  $\frac{dl}{dN} = \sigma^4$ ; (4.14)
- degradarea sau ruperea bruscă în momentul în care fisura ajunge la lungimea critică  $l_{cr}$ .



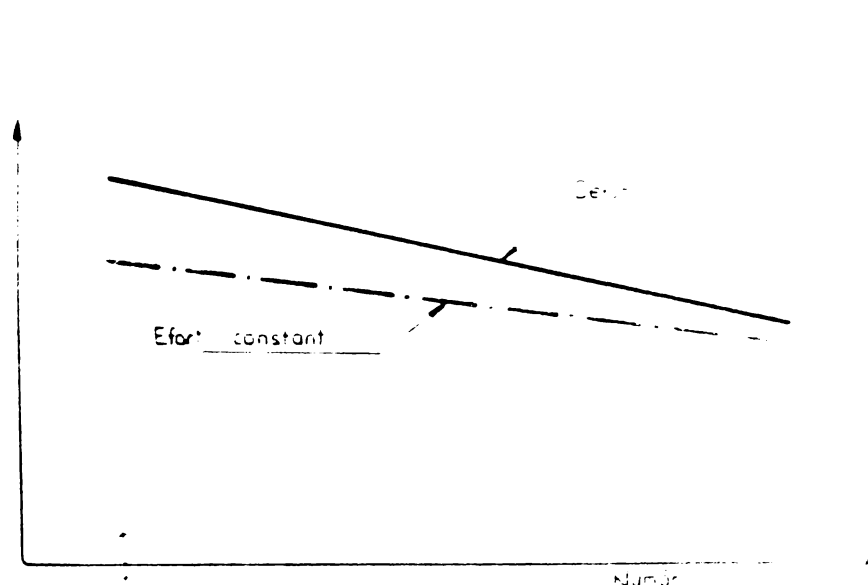


Fig. 4-24 - Comparatie între rezistența la oboseală determinată la deformare constantă și la efort constant.

În cele două moduri de solicitare, viteza de propagare a fisurilor are valori diferite. În cazul încercării la efort constant, viteza de propagare a fisurilor este mare și chiar tinde să crească pe parcursul acestei etape de degradare, ca urmare concentrării eforturilor în secțiunea fisurată.

În cazul încercării la deformare constantă, viteza de propagare a fisurii scade, ca urmare a reducerii efortului unitar, ceea ce conduce în final la o prelungire a duratei de exploatare.

Se consideră astfel, că în încercările prin solicitare cu efort constant se obține o estimare a duratei minime de exploatare a mixturii asfaltice, în timp ce încercarea prin solicitare cu deformare constantă, permite o apreciere a duratei maxime de exploatare.

Este necesară precizarea că nu se poate exprima clar care din tipurile de încercare simulează mai bine decât celălalt mecanismul de degradare prin oboseală al straturilor bituminoase.

#### 4.10.1. Încercarea la oboseală cu aparatul tip Guericke.

Comportarea la încovoiere repetată, de lungă durată este o proprietate semnificativă pentru îmbrăcămintele rutiere bituminoase, în special în domeniul temperaturilor scăzute.

Intrucât în timpul anului, în perioada de îngheț-dez-ghet din primăvară, apar deformații maxime în sistemul rutier sub acțiunea traficului, s-a recomandat pentru încercarea respectivă, o temperatură de lucru de  $+5^{\circ}\text{C}$ .

Prin această încercare la oboseală se poate obține o apreciere a solicitărilor asemănătoare cu cea care intervine în cursul exploatării îmbrăcămintei bituminoase. Se pot studia astfel diferiți parametri mai importanți, care influențează proprietățile mixturilor asfaltice./92/ /93/ /100/ /101/.

În țara noastră există în dotarea Institutului de Cercetări și Proiectări Tehnologice în Transporturi, secția Drumuri, un aparat pentru încercarea la oboseală prin încovoiere tip Guericke produs în R.D.G., care permite studierea comportării la oboseală a mixturilor asfaltice, prin încovoiere alternantă axială, în regim sinusoidal de aplicare a sarcinii, aparatul lucrează la deformație impusă.

Aparatul este prezentat în fig.4.25.

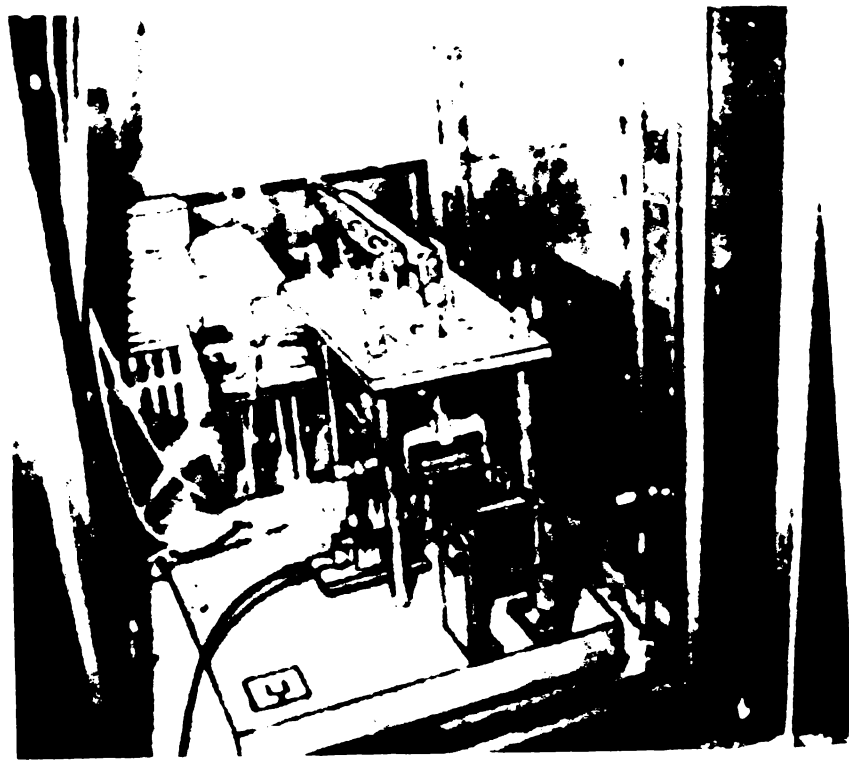


Fig.4.25. Aparat pentru determinarea rezistenței la oboseală tip Guericke

Aparatul este constituit din partea mecanică, traducători de deplasare și timbre tensometrice, compensator și aparat de comutare (pentru înregistrarea măsurărilor).

Pentru încercare se lucrează cu epruvete prismatice cu dimensiunile 30 x 40 x 320 mm sau 40 x 40 x 320 mm.

Corpurile de probă se realizează din mixtura asfaltică încălzită la 150°C, în tipare și se compactează la o presiune de 300 daN/cm<sup>2</sup>, și se decofrează cu grijă la temperatura de 50 ± 60°C. Pe corpul de probă se așază clame din oțel în formă de U, la distanțele indicate în fig.4.26.

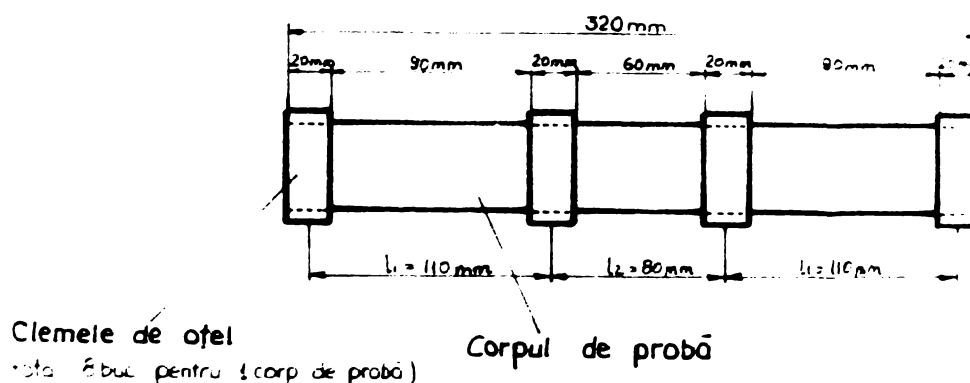


Fig. 4.26. Epruvetă pentru încercare la oboseală, montarea elementelor

Aparatul de solicitare la încovoiere repetată de lungă durată, lucrează la deformație constantă. Proba rezemată elastic în patru puncte este solicitată la deformație constantă. Aplicarea forței se face în două puncte, astfel încât să rezulte o valoare constantă a momentului de încovoiere între cele două puncte de aplicare. Pe traversele de încărcare sînt aplicate timbrele tensometrice pentru măsurarea forței de reacțiune a probei. Sub probă se instalează un traductor de deplasare cu semiconductori pentru măsurarea încovoierii probei. Aparatul este prevăzut cu un micropalpator care este antrenat în ritmul frecvenței încovoierii.

Aparatura electronică auxiliară aparatului Gericke este prezentată în fig. 4.27.

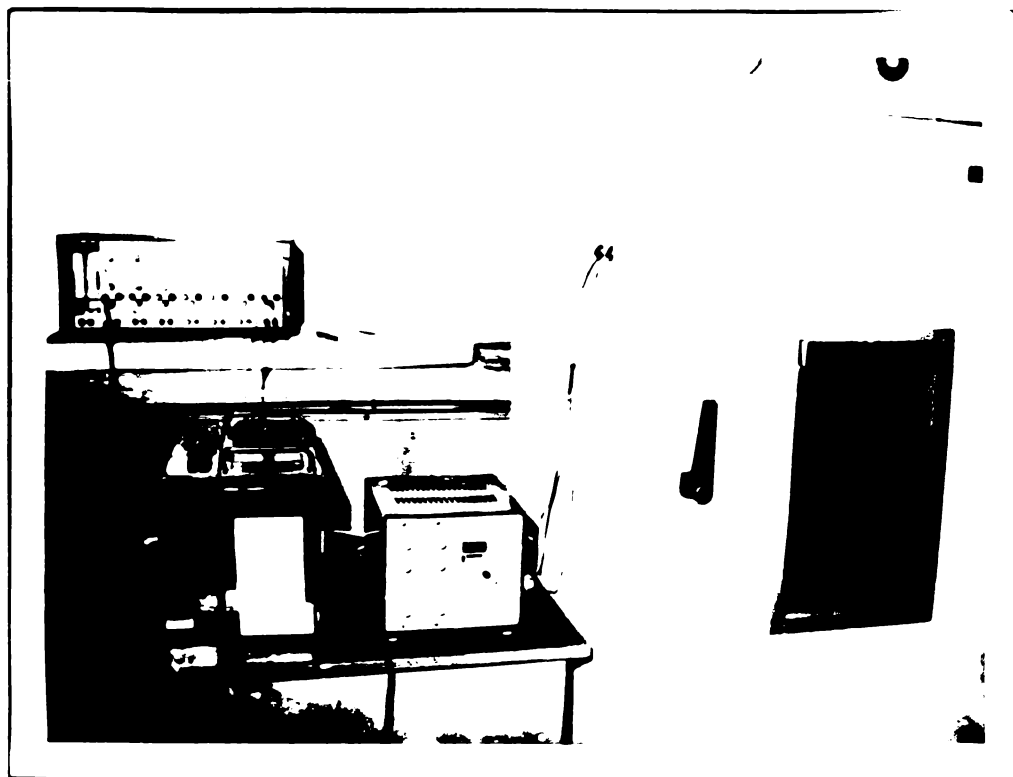


Fig. 4.27. Aparatura electronică auxiliară aparatului Gericke.

Lipirea clamelor se face cu bitul fierbinte. După răcirea clamelor puternic încălzite, se poate introduce corpul de probă în compartimentul camerei climatice, unde se găsește aparatul și după răcirea lui la temperatura de  $+5^{\circ}\text{C}$  se introduce în poziția de lucru. Se reglează deformarea impusă. În timpul manipulării se produc variații de temperatură, de aceea după închiderea ușii camerei climatice se așteaptă 90 minute, după care se începe încercarea.

Se recomandă ca temperatura camerei de climatizare să fie atent supravegheată în primele ore după începerea încercării la încovoiere repetată, de lungă durată.

Săgeata și forța de reacțiune a corpului de probă sînt înregistrate sincron pe banda de înregistrare a aparatului de înregistrare. Banda de înregistrare nu trebuie să circule fără întreruperi, ci este suficient ca să circule pe intervale de timp determinate, pentru aceasta se folosește un aparataj de comutare. Se pune în funcție aparatul de numărare a ciclurilor.

Începutul și sfîrșitul încercării la încovoiere repetată de lungă durată se înregistrează pe bandă. Se notează valoarea forței de reacțiune întrucît corpul de probă se conside-

ră distrus dacă forța inițială măsurată scade la 25 % din valoarea inițială. În acest moment se efectuează o înregistrare a numărului de cicluri și se notează în fișa încercării. Se deconectează toate aparatele, se scoate corpul de probă și se examinează locul unde s-a produs fisurarea /92/ /93/ /100//101/.

Pentru studiul fenomenului de oboseală la deformare constantă s-au folosit 7 tipuri de mixturi asfaltice din care patru au fost realizate cu granulit și trei cu criblură. Dozajele folosite pentru mixturile asfaltice respective au fost cât mai aproape de cele utilizate pentru experimentare și sînt prezentate în tabelul 4.22.

Compoziția amestecului este încrețite la oboselă

CARACTERISTICI	Mărimi esențiale cu granuliți						
	1	2	3	4	5	6	7
Bitum D EC/100	8,2	9,3	9,7	5,2	5,7	7,0	3,9
Granuliți C...7 mm	45,0	50,0	45,0	-	-	-	-
Granuliți 7...16 mm	-	-	-	62,0	-	-	-
Nisip natural	17,6	-	22,6	29,8	17,0	16,0	27,1
Nisip de concasă	17,2	26,2	-	-	16,3	15,0	-
filier de calcar	<u>12,0</u>	<u>14,5</u>	<u>22,7</u>	<u>3,0</u>	8,0	12,0	1,0
	100,0	100,0	100,0	100,0			
criblură 3...8 mm					31,0	30,0	-
criblură 8...16 mm					<u>22,0</u>	<u>20,0</u>	<u>68,0</u>
					100,0	100,0	100,0

Rezultate obținute prin încercarea la oboselă la deformare constantă

Deformație	Mărimi esențiale						
	1	2	3	4	5	6	7
$\epsilon = 3 \cdot 10^{-4}$	2,6 · 10 <sup>5</sup>	3,15 · 10 <sup>5</sup>	3,2 · 10 <sup>5</sup>	1,65 · 10 <sup>5</sup>	1,60 · 10 <sup>5</sup>	2,2 · 10 <sup>5</sup>	5,0 · 10 <sup>4</sup>
	2,62 · 10 <sup>5</sup>	2,62 · 10 <sup>5</sup>	4,12 · 10 <sup>5</sup>	1,62 · 10 <sup>5</sup>	1,60 · 10 <sup>5</sup>	2,1 · 10 <sup>5</sup>	5,5 · 10 <sup>4</sup>
	2,7 · 10 <sup>5</sup>	2,85 · 10 <sup>5</sup>	4,2 · 10 <sup>5</sup>	1,63 · 10 <sup>5</sup>	1,55 · 10 <sup>5</sup>	2,4 · 10 <sup>5</sup>	5,2 · 10 <sup>4</sup>
	2,8 · 10 <sup>5</sup>	2,87 · 10 <sup>5</sup>	4,1 · 10 <sup>5</sup>			2,8 · 10 <sup>5</sup>	
$\epsilon = 5,0 \cdot 10^{-4}$	2,3 · 10 <sup>4</sup>	3,0 · 10 <sup>4</sup>	3,6 · 10 <sup>4</sup>	2,8 · 10 <sup>4</sup>	3,0 · 10 <sup>4</sup>	3,2 · 10 <sup>4</sup>	7,0 · 10 <sup>3</sup>
	2,5 · 10 <sup>4</sup>	3,0 · 10 <sup>4</sup>	6,6 · 10 <sup>4</sup>	3,2 · 10 <sup>4</sup>	3,2 · 10 <sup>4</sup>	3,4 · 10 <sup>4</sup>	8,0 · 10 <sup>3</sup>
	2,3 · 10 <sup>4</sup>	2,5 · 10 <sup>4</sup>	6,0 · 10 <sup>4</sup>	3,6 · 10 <sup>4</sup>	3,0 · 10 <sup>4</sup>	3,2 · 10 <sup>4</sup>	8,0 · 10 <sup>3</sup>
			4,0 · 10 <sup>4</sup>				
$\epsilon = 10,0 \cdot 10^{-4}$	1,1 · 10 <sup>4</sup>	1,1 · 10 <sup>4</sup>	7,0 · 10 <sup>3</sup>	1,0 · 10 <sup>4</sup>	1,0 · 10 <sup>4</sup>	1,5 · 10 <sup>4</sup>	1,0 · 10 <sup>3</sup>
	1,15 · 10 <sup>4</sup>	1,0 · 10 <sup>4</sup>	3,3 · 10 <sup>3</sup>	1,0 · 10 <sup>4</sup>	1,0 · 10 <sup>4</sup>	1,0 · 10 <sup>4</sup>	1,0 · 10 <sup>3</sup>
	1,9 · 10 <sup>4</sup>	1,0 · 10 <sup>4</sup>	1,0 · 10 <sup>4</sup>	1,0 · 10 <sup>4</sup>	1,0 · 10 <sup>4</sup>	1,0 · 10 <sup>4</sup>	1,0 · 10 <sup>3</sup>



## Compoziția amestecurilor asfaltice încercate la oboseală

CARACTERISTICI	Mesturi asfaltice cu granulat						
	1	2	3	4	5	6	7
Bitum D 80/100	8,2	9,3	9,7	5,2	5,7	7,0	3,9
granulat 0...7 mm	45,0	50,0	45,0	-	-	-	-
granulat 7...16 mm	-	-	-	62,0	-	-	-
nisip natural	17,6	-	22,6	29,8	17,0	16,0	27,1
nisip de concasaj	17,2	26,2	-	-	16,3	15,0	-
filer de calcar	<u>12,0</u>	<u>14,5</u>	<u>22,7</u>	<u>3,0</u>	8,0	12,0	1,0
criblură 3...8 mm	100,0	100,0	100,0	100,0	31,0	30,0	-
criblură 8...16 mm					<u>22,0</u>	<u>20,0</u>	<u>68,0</u>
					100,0	100,0	100,0

Deformație

Rezultate obținute prin încercarea la oboseală la deformare constantă

— număr de cicluri

$\epsilon = 3 \cdot 10^{-4}$	2,6 · 10 <sup>5</sup>	2,15 · 10 <sup>5</sup>	3,2 · 10 <sup>5</sup>	1,65 · 10 <sup>5</sup>	1,66 · 10 <sup>5</sup>	3,3 · 10 <sup>5</sup>	5,0 · 10 <sup>4</sup>
	2,68 · 10 <sup>5</sup>	2,62 · 10 <sup>5</sup>	4,13 · 10 <sup>5</sup>	1,62 · 10 <sup>5</sup>	1,60 · 10 <sup>5</sup>	3,1 · 10 <sup>5</sup>	5,5 · 10 <sup>4</sup>
	2,7 · 10 <sup>5</sup>	2,85 · 10 <sup>5</sup>	4,2 · 10 <sup>5</sup>	1,63 · 10 <sup>5</sup>	1,58 · 10 <sup>5</sup>	3,4 · 10 <sup>5</sup>	5,2 · 10 <sup>4</sup>
	2,8 · 10 <sup>5</sup>	2,87 · 10 <sup>5</sup>	4,1 · 10 <sup>5</sup>			2,8 · 10 <sup>5</sup>	
$\epsilon = 5,0 \cdot 10^{-4}$	2,3 · 10 <sup>4</sup>	3,0 · 10 <sup>4</sup>	3,6 · 10 <sup>4</sup>	3,8 · 10 <sup>4</sup>	3,0 · 10 <sup>4</sup>	3,2 · 10 <sup>4</sup>	7,0 · 10 <sup>3</sup>
	2,5 · 10 <sup>4</sup>	3,0 · 10 <sup>4</sup>	6,6 · 10 <sup>4</sup>	3,3 · 10 <sup>4</sup>	3,2 · 10 <sup>4</sup>	3,4 · 10 <sup>4</sup>	8,0 · 10 <sup>3</sup>
	2,3 · 10 <sup>4</sup>	2,5 · 10 <sup>4</sup>	6,0 · 10 <sup>4</sup>	3,6 · 10 <sup>4</sup>	3,0 · 10 <sup>4</sup>	3,2 · 10 <sup>4</sup>	8,0 · 10 <sup>3</sup>
			4,0 · 10 <sup>4</sup>				
$\epsilon = 0,4 \cdot 10^{-4}$	2,1 · 10 <sup>4</sup>	2,1 · 10 <sup>4</sup>	7,2 · 10 <sup>3</sup>	7,2 · 10 <sup>3</sup>	1,0 · 10 <sup>4</sup>	1,7 · 10 <sup>4</sup>	5,0 · 10 <sup>3</sup>
	2,15 · 10 <sup>4</sup>	2,0 · 10 <sup>4</sup>	8,0 · 10 <sup>3</sup>	8,0 · 10 <sup>3</sup>	1,2 · 10 <sup>4</sup>	1,8 · 10 <sup>4</sup>	5,0 · 10 <sup>3</sup>
	1,9 · 10 <sup>4</sup>	2,0 · 10 <sup>4</sup>	1,0 · 10 <sup>4</sup>	1,0 · 10 <sup>4</sup>	1,2 · 10 <sup>4</sup>	3,0 · 10 <sup>4</sup>	8,0 · 10 <sup>3</sup>

Rezultatele obținute prin încercările la oboseală asupra probelor încercate cu aparatul Guericke au fost conduse pe baza legii :

$$N = k \left( \frac{1}{\varepsilon} \right)^n = k \varepsilon^{-n} \quad (4.15)$$

în care: N este numărul de cicluri pînă la fisurare;

k și n - constante care depind de tipul mînturii asfaltice utilizate la experimentare;

$\varepsilon$ -deformația relativă.

În coordonate logaritmice ecuația de regresie comportării la oboseală este cea a unei drepte:

$$\lg N = \lg k + n \lg \frac{1}{\varepsilon} \quad (4.16)$$

Rezultatele încercărilor la oboseală au permis stabilirea legăturilor stohastice între numărul de cicluri și deformația specifică. Principalele caracteristici statistice pentru cele 4 tipuri de mixturi asfaltice realizate cu granulit comparativ cu betonul asfaltic etalon, proba 6 încercate la oboseală la temperatura de 5°C sînt redată în tabelul 4.23.

Tabel 4.23

Caracteristici statistice ale corelațiilor stabilite pentru încercarea la oboseală

CARACTERISTICI	Mixturi asfaltice cu granulit				n.o.16.60 etalon cu criblură 6
	1	2	3	4	
Conținut de liant, %	8,2	9,3	9,7	5,2	7,0
Valoarea medie $\lg \varepsilon$	-3,343	-3,343	-3,388	-3,323	-3,243
Valoarea medie $\lg N$	4,794	4,825	5,139	4,572	4,800
Date statistice					
abaterea medie pătratică					
$\sigma^2 \lg \varepsilon$	0,02210	0,02210	0,01836	0,02026	0,02210
$\sigma^2 \lg N$	0,27381	0,26972	0,21009	0,22010	0,33372
Coefficient de corelație, r	0,99490	0,99303	0,98203	0,94031	0,99599
Rapoarte de corelație					
$n_{y/x}$	0,97	0,93	0,71	0,99	0,98
$n_{x/y}$	0,98	0,99	1,00	1,00	0,99

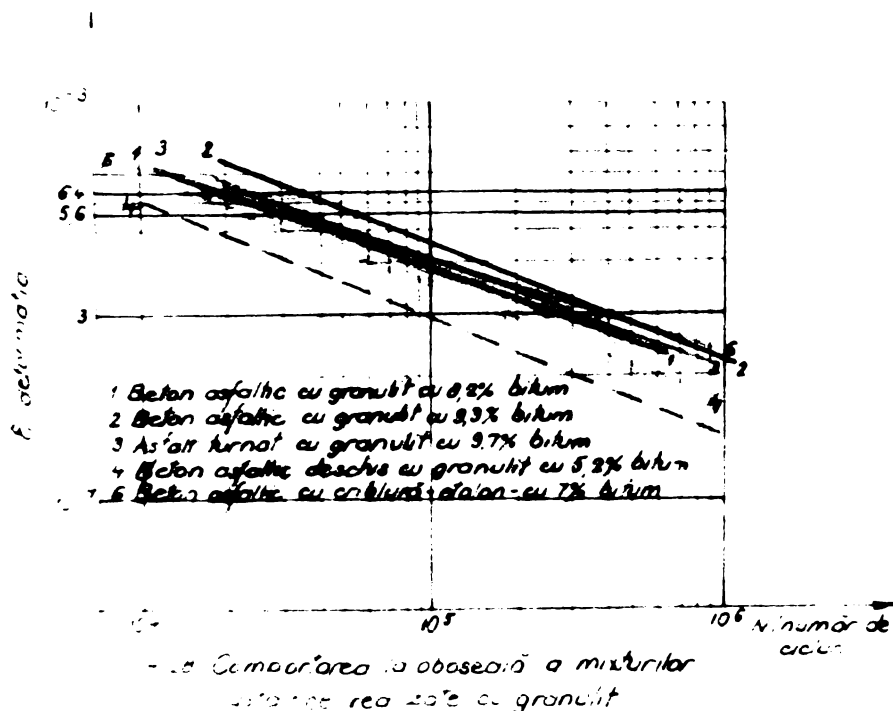
CARACTERISTICI	Mixturi asfaltice cu granulit				S.a.10. 50 eta- lon cu cribluri 5
	1	2	3	4	
Coefficient de determinație, d	0,94	0,84	0,57	0,71	0,94
k	$1,23 \cdot 10^{-5}$	$1,70 \cdot 10^{-5}$	$7,76 \cdot 10^{-5}$	$1,82 \cdot 10^{-5}$	$7,4 \cdot 10^{-7}$
n	3,50	3,47	3,32	3,40	3,87

Rapoartele de corelație peste 0,90 arată existența unor legături de corelație puternice între cele două mărimi, iar cele peste 0,75 sînt considerate foarte bune.

Valoarea indicatorilor  $n_{y/x}$  și  $n_{x/y}$  apropiate de valoarea coeficientului de corelație r, confirmă că regresiile sînt liniare, cu excepția probei 3 cu 9,7 % bitum (asfalt turnat cu granulit).

Valorile determinației arată că 71 %...94 % din variația constatată a rezistenței la oboseală poate fi explicată prin modificarea deformației specifice a epruvetei în cazurile 1,2,4 și 6 respectiv 57,0 % în cazul 3, asfalt turnat cu granulit.

Reprezentarea grafică a fenomenului de oboseală se poate urmări în fig.4.28.



Din examinarea rezultatelor obținute se pot formula următoarele concluzii:

- comportarea la oboseală a probelor 1,2 și 3 este bună și poate fi comparată cu a betonului asfaltic cu agregat mărant bogat în criblură, care a fost realizat cu criblură și 7,0 % bitum, și a fost considerat ca probă etalon;

- astfel proba 1 realizată cu granolit și 8,2 % bitum, din punct de vedere al fenomenului de oboseală se poate compara cu betonul asfaltic pentru strat de uzură obținut cu criblură, fapt confirmat și de comportarea sectorului experimental executat pe DN 6 Lugoj-Timișoara km 510+820 - 510+880 în anul 1976; sector care se comportă foarte bine în exploatare după 6 ani de la execuție;

- la deformații maxime  $6,4 \cdot 10^{-4}$  comportarea cea mai bună o au probele 2 și 3 caracterizate prin 9,3 și 9,7 % bitum;

- mixtura asfaltică tip beton asfaltic deschis cu granolit cu un conținut de 5,2 % bitum reprezentată prin dreapta 4 prezintă o altă comportare la oboseală, dreapta sa situându-se la valori mai scăzute ale numărului de cicluri, la care poate să reziste pînă la fisurare la temperatura de  $5^{\circ}\text{C}$ .

Valorile  $k$  și  $n$  sînt constante ale regresiilor, care depind de compoziția mixturilor asfaltice. Se constată atît din grafic cît și din valoarea lui  $n$ , că sporirea conținutului de liant îmbunătățește comportarea la oboseală, prin faptul că la deformații mai mari, numărul de cicluri pînă la rupere este mai mare.

Concluziile anterioare sînt valabile și în cazul analizei comparative a probelor 1,2 și 3, cu proba etalon 6; totodată se poate afirma cu o primă aproximație, neîncadrea probei 4 în aceste observații, întrucît aceasta este un alt tip de mixtură asfaltică și anume un beton asfaltic deschis realizat cu granolit, caracterizat printr-un alt schelet mineral și altă compoziție decît a celorlalte probe. Evident că la această probă ruperea la oboseală se produce relativ mai repede, pentru orice valoare a deformației, de exemplu la  $\epsilon = 3 \cdot 10^{-4}$ , se obțin  $7,9 \cdot 10^4$  cicluri, în timp ce la celelalte probe numărul de cicluri este de aproximativ  $10^5 \dots 3 \cdot 10^5$ .

Urmare studiilor întreprinse cu privire la fenomenul de oboseală se constată că și din acest punct de vedere, mixturile asfaltice realizate cu granolit pot fi comparate cu cele realizate cu criblură.

#### 4.10.2. Modulul de rigiditate al mixturilor asfaltice realizate cu granolit

Mixturile asfaltice avînd în componența lor bitum, sînt materiale foarte complexe, liantul bituminos fiind cel care conferă acestora o comportare vîscoelastică. Atît proprietățile elastice cît și cele vîscoase depind concomitent de temperatură, și de viteza de aplicare a forțelor exterioare.

Modulul complex al mixturilor asfaltice poate fi determinat pornind de la o încercare dinamică, din raportul dintre efortul aplicat și deformația relativă. /8/ /120/ /124/ /140/.

Notînd efortul aplicat într-o încercare la încovoiere dinamică prin:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \sin \omega t \quad (4.17)$$

rezultă o deformație care este defazată față de efort cu un unghi de defazare  $\varphi$  datorită caracterului vîscoelastic al mixturii asfaltice.

Deformația relativă se exprimă prin relația :

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \sin(\omega t - \varphi) \quad (4.18)$$

Unghiul de defazare  $\varphi$  este un indicator al preponderenței caracterului vîscos sau elastic al mixturii asfaltice în anumite condiții date.

Modulul complex poate fi definit ca raportul între efort și deformație conform relației:

$$E^* = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} e^{i\varphi} = S_m e^{i\varphi} \quad (4.19)$$

$S_m$  este definit în mod frecvent ca modul de rigiditate și este studiat pentru a defini proprietățile reologice ale mixturilor asfaltice.

Caracterizarea comportării reologice a mixturilor asfaltice curent adoptată de literatura de specialitate, ce atestă o justificare fundamentată științific este reflectată în folosirea modulului de rigiditate, care reprezintă o caracteristică importantă în aprecierea mixturilor asfaltice. /8/ /120/ /124/ /140/ /245/ /246/ /256/. Pentru studierea acestei comportări în condiții variabile de solicitare, definite prin temperatură,

durată de acționare a efortului le-am stabilit prin calcul pornind de la modulul de rigiditate al bitumului și nomogramele folosite în mod uzual în acest scop, de asemenea prin calcul după metoda Heukelom și Klomp cu relația:

$$S_m = S_b \left( 1 + \frac{2,5}{n} \cdot \frac{C_v}{1-C_v} \right)^n \text{ N/m}^2 \quad (4.20)$$

în care:  $S_m$  este modulul de rigiditate al mixturii asfaltice;  
 $S_b$  - modulul de rigiditate al bitumului, obținut din diagrama van der Poel ;

$$n = 0,83 \lg \frac{4 \cdot 10^{10}}{S_b} \quad (4.21)$$

$C_v$  reprezintă concentrația în volum a agregatului mineral și se calculează cu relația:

$$C_v = \frac{V_a}{V_a + V_b} \quad (4.22)$$

$V_a$  reprezintă volumul agregatului;  
 $V_b$  volumul liantului.

Exprimate în acest mod, curbele de variație a moduliilor sînt specifice fiecărei mixturi asfaltice și reprezentative pentru comportarea lor. Pentru urmărirea comportării reologice a mixturilor asfaltice am determinat valorile moduliilor de rigiditate în condiții de temperatură cuprinse în intervalul  $-10^{\circ}\text{C}$  la  $+50^{\circ}\text{C}$  pentru timpi de încărcare de la  $10^{-3}$  s pînă la 10 s.

În funcție de modulul de rigiditate al bitumului s-au calculat moduli de rigiditate ai mixturilor asfaltice respective obținîndu-se valorile din tabelul 4.24.



Modulii de rigiditate pentru mixturile asfaltice realizate cu granulit, comparativ cu mixturile asfaltice realizate cu criblură.

Temperatura în °C	S <sub>m</sub> bitum N/m <sup>2</sup>	S <sub>m</sub> mixtură, N/m <sup>2</sup>		timp de încălzire = 10 <sup>-3</sup> s	cu granulit	cu criblură
		9,7	8,2			
0	5 · 10 <sup>8</sup>	2,0 · 10 <sup>10</sup>	1,4 · 10 <sup>10</sup>	1,87 · 10 <sup>10</sup>	1,08 · 10 <sup>10</sup>	1,04 · 10 <sup>10</sup>
+5	3,5 · 10 <sup>8</sup>	1,67 · 10 <sup>10</sup>	1,2 · 10 <sup>10</sup>	1,1 · 10 <sup>10</sup>	1,0 · 10 <sup>10</sup>	8,75 · 10 <sup>9</sup>
+10	2,0 · 10 <sup>8</sup>	1,38 · 10 <sup>10</sup>	9,45 · 10 <sup>9</sup>	1,02 · 10 <sup>10</sup>	7,9 · 10 <sup>9</sup>	7,2 · 10 <sup>9</sup>
+22	5,0 · 10 <sup>7</sup>	6,75 · 10 <sup>9</sup>	4,8 · 10 <sup>9</sup>	6,0 · 10 <sup>9</sup>	4,34 · 10 <sup>9</sup>	3,8 · 10 <sup>9</sup>
+50	2,0 · 10 <sup>6</sup>	8,0 · 10 <sup>8</sup>	6,5 · 10 <sup>8</sup>	6,5 · 10 <sup>8</sup>	5,00 · 10 <sup>8</sup>	4,25 · 10 <sup>8</sup>
timp de încălzire = 10 <sup>-2</sup> s						
-10	4,0 · 10 <sup>8</sup>	1,9 · 10 <sup>10</sup>	1,5 · 10 <sup>10</sup>	1,9 · 10 <sup>10</sup>	1,3 · 10 <sup>10</sup>	1,02 · 10 <sup>10</sup>
0	2,5 · 10 <sup>8</sup>	1,5 · 10 <sup>10</sup>	1,01 · 10 <sup>10</sup>	1,06 · 10 <sup>10</sup>	8,75 · 10 <sup>9</sup>	8,0 · 10 <sup>9</sup>
+5	1,5 · 10 <sup>8</sup>	1,05 · 10 <sup>10</sup>	8,0 · 10 <sup>9</sup>	1,0 · 10 <sup>10</sup>	6,25 · 10 <sup>9</sup>	5,8 · 10 <sup>9</sup>
+10	8,5 · 10 <sup>7</sup>	9,2 · 10 <sup>9</sup>	6,25 · 10 <sup>9</sup>	7,7 · 10 <sup>9</sup>	5,85 · 10 <sup>9</sup>	4,8 · 10 <sup>9</sup>
+22	1,5 · 10 <sup>7</sup>	3,75 · 10 <sup>9</sup>	2,1 · 10 <sup>9</sup>	2,7 · 10 <sup>9</sup>	2,0 · 10 <sup>9</sup>	1,1 · 10 <sup>9</sup>
+50	4,0 · 10 <sup>5</sup>	4,25 · 10 <sup>8</sup>	3,1 · 10 <sup>8</sup>	3,0 · 10 <sup>8</sup>	2,0 · 10 <sup>8</sup>	1,55 · 10 <sup>8</sup>
timp de încălzire 10 <sup>-1</sup> s						
-10	3,5 · 10 <sup>8</sup>	1,6 · 10 <sup>10</sup>	1,03 · 10 <sup>10</sup>	1,4 · 10 <sup>10</sup>	9,0 · 10 <sup>9</sup>	7,0 · 10 <sup>9</sup>
0	1 · 10 <sup>8</sup>	1,0 · 10 <sup>10</sup>	7,0 · 10 <sup>9</sup>	7,5 · 10 <sup>9</sup>	6,0 · 10 <sup>9</sup>	5,0 · 10 <sup>9</sup>
+5	5,0 · 10 <sup>7</sup>	6,75 · 10 <sup>9</sup>	4,8 · 10 <sup>9</sup>	5,0 · 10 <sup>9</sup>	3,75 · 10 <sup>9</sup>	3,4 · 10 <sup>9</sup>
+10	3,0 · 10 <sup>7</sup>	5,0 · 10 <sup>9</sup>	3,3 · 10 <sup>9</sup>	3,75 · 10 <sup>9</sup>	2,5 · 10 <sup>9</sup>	2,4 · 10 <sup>9</sup>
+22	3,5 · 10 <sup>6</sup>	1,3 · 10 <sup>9</sup>	6,5 · 10 <sup>8</sup>	6,25 · 10 <sup>8</sup>	6,0 · 10 <sup>8</sup>	5,0 · 10 <sup>8</sup>

Temperatura în °C	S <sub>bitum</sub> K/m <sup>2</sup>	S <sub>m</sub> mixtură, K/m <sup>2</sup>		cu granulit		cu criblură	
		9,7	9,3	8,2	7,0	5,7	3,9
- 10	9,0 .10 <sup>7</sup>	1.10 <sup>10</sup>	9,0 .10 <sup>9</sup>	8,0 .10 <sup>9</sup>	8,0 .10 <sup>9</sup>	5,0 .10 <sup>9</sup>	4,0 .10 <sup>9</sup>
0	3,5 .10 <sup>7</sup>	5,55.10 <sup>9</sup>	4,65.10 <sup>9</sup>	3,75.10 <sup>9</sup>	4,3 .10 <sup>9</sup>	3,1 .10 <sup>9</sup>	2,6 .10 <sup>9</sup>
+ 5	1,5 .10 <sup>7</sup>	3,75.10 <sup>9</sup>	2,85.10 <sup>9</sup>	2,1 .10 <sup>9</sup>	2,1 .10 <sup>9</sup>	1,1 .10 <sup>9</sup>	1,0 .10 <sup>9</sup>
+ 10	5 .10 <sup>6</sup>	1,7 .10 <sup>9</sup>	1,2 .10 <sup>9</sup>	1,02.10 <sup>9</sup>	1,04.10 <sup>9</sup>	8,5 .10 <sup>8</sup>	7,75.10 <sup>8</sup>
+ 22	5 .10 <sup>5</sup>	4,25.10 <sup>8</sup>	3.5 .10 <sup>8</sup>	2,75.10 <sup>8</sup>	3,25.10 <sup>8</sup>	2,0 .10 <sup>8</sup>	1,8 .10 <sup>8</sup>
		timp de încărcare 1 s					
- 10	5,0 .10 <sup>7</sup>	7,3 .10 <sup>9</sup>	4,0 .10 <sup>9</sup>	3,7 .10 <sup>9</sup>	4,0 .10 <sup>9</sup>	3,0 .10 <sup>9</sup>	2,5 .10 <sup>9</sup>
0	1,0 .10 <sup>7</sup>	3,0 .10 <sup>9</sup>	2,27.10 <sup>9</sup>	1,45.10 <sup>9</sup>	1,2 .10 <sup>9</sup>	1,0 .10 <sup>9</sup>	5,0 .10 <sup>8</sup>
+ 5	3,0 .10 <sup>6</sup>	1,03.10 <sup>9</sup>	9,5 .10 <sup>8</sup>	7,5 .10 <sup>8</sup>	7,5 .10 <sup>8</sup>	5,0 .10 <sup>8</sup>	4,5 .10 <sup>8</sup>
+ 10	1,0 .10 <sup>6</sup>	6,25.10 <sup>8</sup>	5,0 .10 <sup>8</sup>	4,25.10 <sup>8</sup>	4,0 .10 <sup>8</sup>	3,25.10 <sup>8</sup>	3,0 .10 <sup>8</sup>
+ 22	1,0 .10 <sup>5</sup>	1,7 .10 <sup>8</sup>	1,0 .10 <sup>8</sup>	7,5 .10 <sup>7</sup>	-	-	-
		timp de încărcare 10 s					

### Influența temperaturii asupra valorii modulului de rigiditate

Modulul de rigiditate este sensibil influențat de temperatura la care se efectuează determinarea.

Dacă se reprezintă grafic această dependență se constată că valoarea modulului de rigiditate, scade sensibil cu temperatura, valorile cele mai ridicate se obțin la temperaturile cele mai scăzute, astfel la 0°C pentru mixturile asfaltice studiate, la timpul de încărcare de 1 s. se obțin valori ale modulilor în jur de  $10^{10}$  N/m<sup>2</sup> pentru ca la 22°C, valoarea modulilor să scadă simțitor pînă la  $10^8$ .

În graficul din fig.4.29 se poate urmări variația modulului de rigiditate cu temperatura pentru timpul de încărcare de 1 s, făcîndu-se o comparație între asfalt turnat cu granulat, beton asfaltic cu granulat cu 9,3 și 8,2 % bitum, beton asfaltic cu criblură B.a.16.60 cu 7,0 % bitum, cu beton asfaltic cu conținut redus de bitum tip B.a.16.60 cu 5,7 % bitum și un beton asfaltic pentru stratul de legătură tip B.a.25.80 cu 3,9 % bitum.

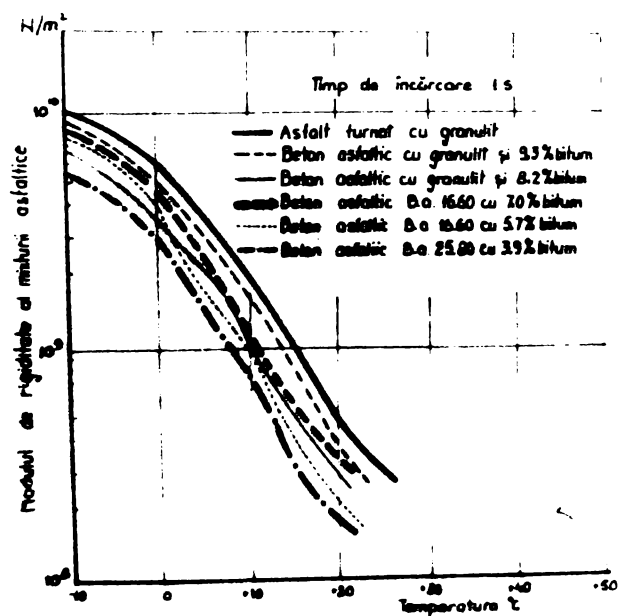
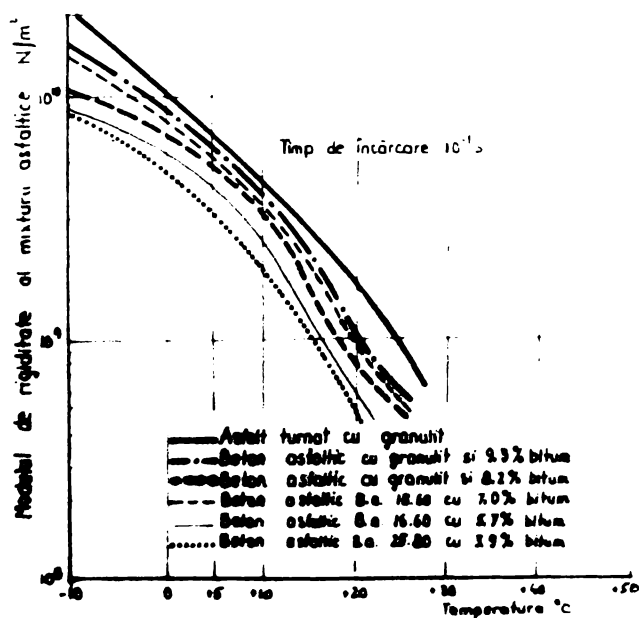
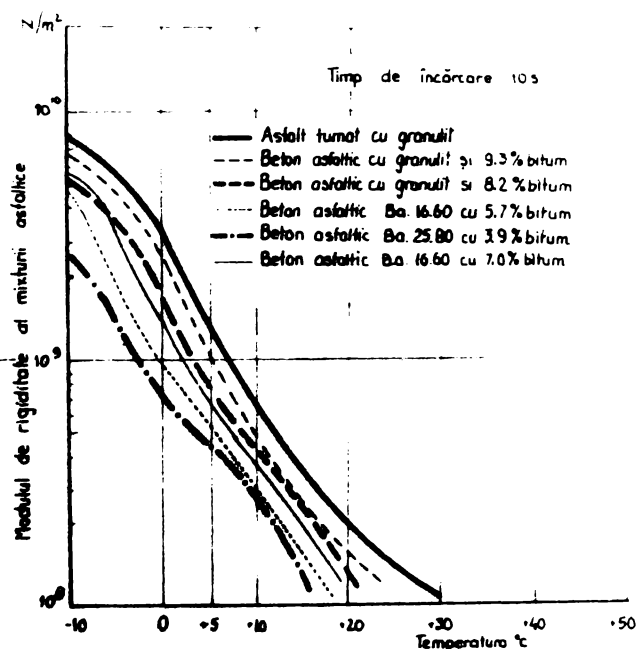


Fig.4.29 Variația modulului de rigiditate cu temperatura

Aceleași variații ale modulului de rigiditate cu temperatura, dar la încărcare de 10 s, la  $10^{-1}$  s, la  $10^{-2}$  s și la  $10^{-3}$  s se poate urmări în graficele din fig.4.30, 4.31, 4.32, și 4.33.

Se constată scăderea considerabilă a valorii modulului de rigiditate cu creșterea timpului de încărcare și a temperaturii.



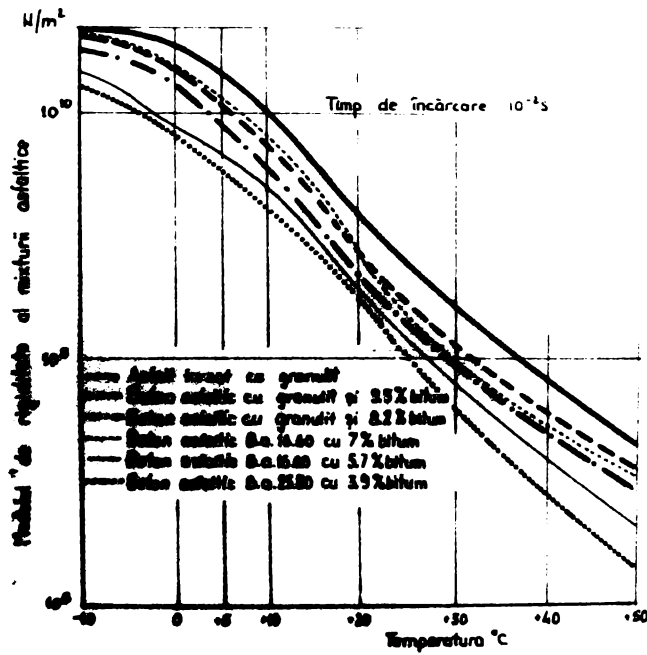


Fig. 32. Variația modului de rigiditate cu temperatura

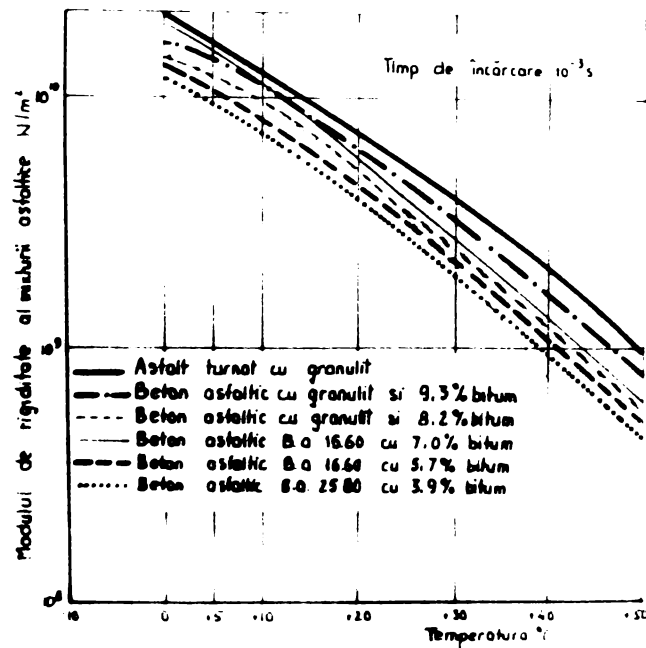


Fig. 33. Variația modului de rigiditate cu temperatura

Concluziile care se desprind din acest studiu pun în evidență valorile apropiate ale modulilor de rigiditate pentru betoanele asfaltice realizate cu granulat față de betonul asfaltic în alcătuirea căruia s-a folosit criblură și pe care în studiul întreprins l-am considerat etalon. Proba cu 8,2 % bitum și granulat este cea mai apropiată de proba etalon.

Variația modulului de rigiditate în funcție de frecvență

Studiind acest aspect se constată că există o variație similară a modulilor în funcție de timpul de încărcare, ca în cazul creșterii temperaturii, în sensul că, odată cu creșterea timpului de încărcare se obține o diminuare sensibilă a valorii modulilor de rigiditate. Graficul din fig.4.34, 4.35, 4.36 prezintă rezultatele obținute pentru mixturile asfaltice cu granulat în acest sens.

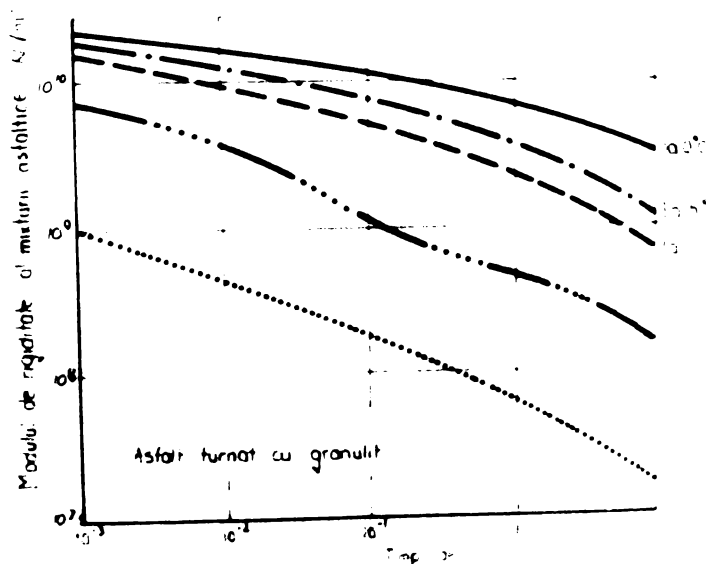


Fig + 34 Variația modulului de rigiditate în funcție de timpul de încărcare



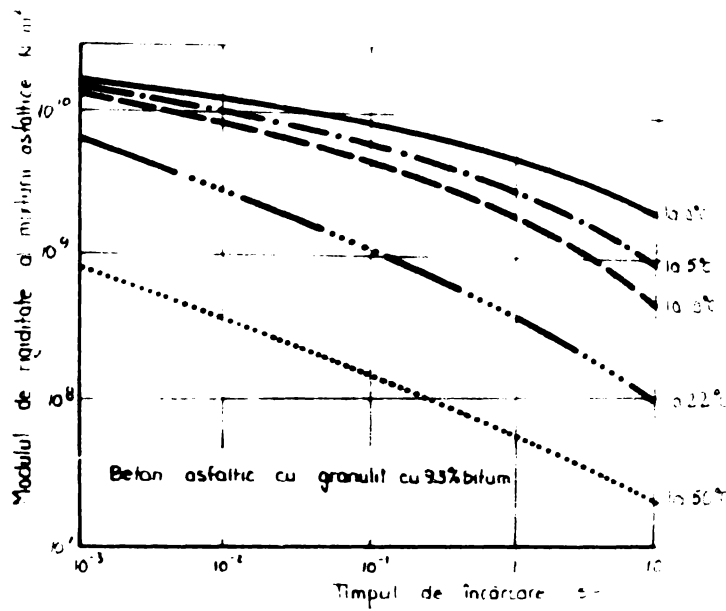


Fig 4 35 Variația modulului de rigiditate în funcție de timpul de încărcare

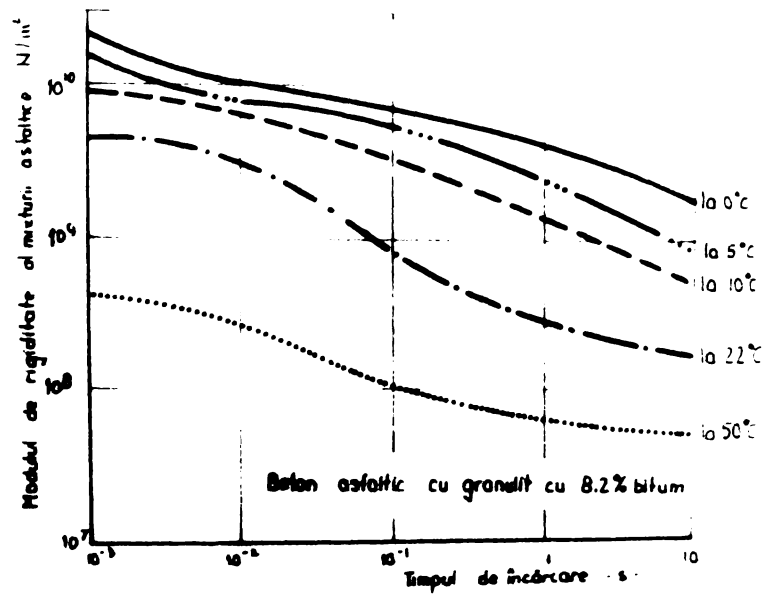


Fig 4 36 Variația modulului de rigiditate în funcție de timpul de încărcare

Influența volumului de goluri, este de asemenea importantă, modulul de rigiditate scade cu creșterea volumului de goluri, în aceleași condiții de temperatură și timp de încălzire, modulul de rigiditate al mixturilor asfaltice cu un volum de goluri de 7,4 % atestă cele mai mici valori. În consecință este necesar să se folosească betoane asfaltice cu un volum redus de goluri, reducere care se recomandă a fi realizată mai ales prin compactare energetică și mai puțin prin adaos suplimentar de liant, pentru a evita apariția fâgașelor și a vâlvurilor.

În fig.4.37 este prezentată variația modulului de rigiditate în funcție de volumul de goluri, corelat și cu modulul de rigiditate al bitumului.

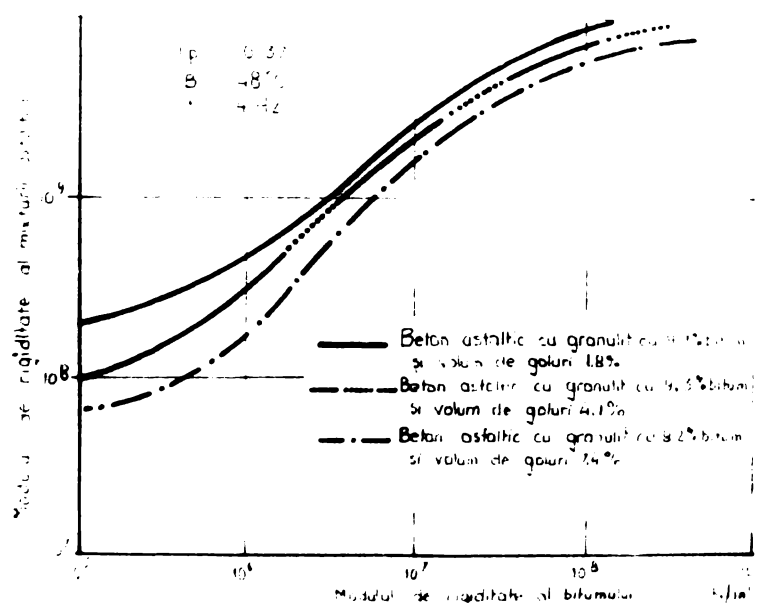


Fig. 4.37 Influența volumului de goluri asupra modulului de rigiditate

### Concluzii cu privire la valorile modulilor de rigiditate

Din analiza rezultatelor obținute prin studierea modulilor de rigiditate ai mixturilor asfaltice realizate cu granulat comparativ cu proba etalon se evidențiază următoarele concluzii:

• valorile modulilor de rigiditate pentru mixturile asfaltice realizate cu granulat se pot compara cu cele ale probei etalon, prezentând rezultate superioare acestora din punct de vedere al rigidității la temperaturi ridicate cât și la tempe-

raturi scăzute;

. din studiile întreprinse în acest scop, rezultă că la temperaturi scăzute, (în lucrare s-a lucrat la  $-10^{\circ}\text{C}$ ), se obțin valorile cele mai mari ale modulilor; în domeniul temperaturilor scăzute se reliefează comportarea elastică, pentru că pe măsura creșterii temperaturii, influența componentei elastice se diminuează și se manifestă în mod sensibil comportarea vâscoasă;

. influența duratei de încărcare, exprimată în secunde se observă de asemenea foarte puternic, la timpi mari de încărcare, valorile modulilor de rigiditate scad, iar la timpi mici de încărcare modulii de rigiditate cresc după cum se poate urmări foarte ușor din graficele prezentate; în domeniul solicitărilor de scurtă durată se relevă rigidități mari și deci o comportare predominant elastică, în timp ce o dată cu creșterea duratei de solicitare se manifestă mai puternic componenta vâscoasă;

. agregatul mineral influențează net valoarea modulului de rigiditate la temperaturi ridicate cu valori mai mari pentru mixturile asfaltice realizate cu granulit decât pentru cele realizate cu criblură;

. influența volumului de goluri este pusă de asemenea în evidență prin faptul că modulul de rigiditate al mixturilor asfaltice depinde de volumul de goluri în mod substanțial, în sensul că la un volum minim de goluri se obține un modul de rigiditate mai mare, ceea ce este reliefat în graficele prezentate anterior;

. în consecință apreciez că mixturile asfaltice realizate cu granulit au o comportare bună reologică, verificată prin încercările obișnuite cât și prin valorile modulilor de rigiditate.

#### 4.10.3. Considerații privind eficiența economică a mixturilor asfaltice realizate cu granulit

Avantajul major studiat și evidențiat în teză pe care-l prezintă mixturile asfaltice realizate cu granulit este legat direct de reducerea densității aparente a acestora cu valori notabile și anume de la 15...45 %, în funcție de tipul mixturii asfaltice, densitatea scăzând proporțional cu procentul de granulit folosit în mixtura asfaltică și cu densitatea în grămadă a acestuia.

Calculul de eficiență economică s-a făcut ținând seama de costul tonei de mixtură asfaltică, în funcție numai de costul materialelor, celelalte cheltuieli: manoperă, utilaje etc. fiind identice. Economii sînt legate direct de consumul mai mic pe km exprimat în tone pe kilometru de drum realizat, datorită densității aparente mai mici a tuturor mixturilor asfaltice realizate cu granulat.

Un alt aspect urmărit a fost cel legat de economia de bitum pe km și care se realizează de asemenea prin folosirea granulatului.

În continuare sînt prezentate rezultatele obținute în acest scop.

Costul tonei de beton asfaltic pentru strat de usură realizat cu granulat la un conținut de 8,2 % bitum este de 197,76 lei conform calculelor . Comparația s-a făcut față de betonul asfaltic cu agregat mărunt bogat în criblură, cu un conținut de 7,0 % bitum, care se folosește în mod frecvent la noi, și al cărui cost pe tonă cu aceleași elemente de calcul este de 170 lei/t.

Cantitatea de mixtură asfaltică pentru stratul de usură, la o grosime a acestuia de 4,0 cm, avînd densitatea de 1,90 t/m<sup>3</sup>, în cazul betonului asfaltic cu granulat, comparativ cu cantitatea necesară de beton asfaltic cu agregat mărunt bogat în criblură, la aceeași grosime și avînd densitatea de 2,35 t/m<sup>3</sup>, pentru 1 km îmbrăcăminte bituminoasă avînd lățimea de 7,0 m, este următoarea:

$$\bullet \text{ beton asfaltic cu granulat } 7000 \text{ m}^2 \cdot 0,04 \text{ m} \cdot 1,90 = \\ = 532 \text{ t/km};$$

$$\bullet \text{ beton asfaltic cu agregat mărunt bogat în criblură, } \\ 7000 \text{ m}^2 \cdot 0,04 \text{ m} \cdot 2,35 = 658 \text{ t/km.}$$

$$C_1 \text{ costul pe km al mixturii asfaltice cu granulat, avînd } \\ 198 \text{ lei/t} \cdot 532 = 105.336 \text{ lei/km.}$$

$$C_2 \text{ costul pe km al mixturii asfaltice cu criblură, avînd } \\ 170 \text{ lei/t} \cdot 658 = 111.860 \text{ lei/km.}$$

Eficiența economică pe km, pentru stratul de usură este:

$$E_u = C_2 - C_1 = 6.524 \text{ lei/km.}$$

În mod similar se calculează eficiența economică și pentru stratul de legătură.

Costul tonei de beton asfaltic deschis pentru stratul de legătură, realizat cu granulat, fără manoperă și utilaje este de 162,47 lei.

Costul tonei de beton asfaltic deschis pentru stratul

(de legătură realizat cu criblură este 134,60 lei. Eficiența economică pentru stratul de legătură în grosime de 5,0 cm, luând în considerare că densitatea aparentă în cazul folosirii granului este  $1,5 \text{ t/m}^3$ , iar în cazul criblurilor  $2,3 \text{ t/m}^3$ ;

. beton asfaltic deschis cu granolit, necesar 525 t/km;

. beton asfaltic deschis cu criblură, necesar 805 t/km.

$C_1$  costul pe km, în cazul realizării stratului de legătură cu granolit este 85.412 lei/km;

$C_2$  costul pe km, în cazul realizării stratului de legătură cu criblură este 108.353 lei/km.

Eficiența economică pentru stratul de legătură:

$$E_{leg} = C_2 - C_1 = 108.353 - 85.412 = 22.941 \text{ lei/km.}$$

Eficiența totală pe ambele straturi  $E_u + E_{leg} = 29.465 \text{ lei/km.}$

#### Economia de bitum

Pornind de la premisele arătate anterior s-a calculat economia de bitum pentru cele două straturi realizate în aceste condiții.

Stratul de uzură, realizat cu granolit, consumă 532 t mixtură asfaltică, avînd 8,2 % bitum = 42,5 t bitum/km.

Stratul de uzură realizat cu criblură, consumă 658 t mixtură, asfaltică, avînd 7,0 % bitum = 46,0 t bitum.

Economie de bitum reprezintă 3,5 t/km.

Pentru stratul de legătură, realizat cu granolit, consumă  $525 \text{ t} \times 5,2 \% \text{ bitum} = 27,4 \text{ t bitum/km.}$

În stratul de legătură, realizat cu criblură consumul de bitum este  $805 \times 4,5 \% \text{ bitum} = 36,2 \text{ t bitum/km.}$

Economia de bitum pentru stratul de legătură este 9,8 t bitum/km.

În tabelul 4.25 se prezintă sintetic eficiența economică și economia de bitum realizate.

Tabel 4.25

Eficiența economică și economia de bitum realizată comparativ cu mixturile asfaltice cu criblură

Elemente de calcul	Strat de uzură		Strat de legătură	
	cu granolit	cu criblură	cu granolit	cu criblură
grosimea stratului, cm	4,0	4,0	5,0	5,0
densitatea aparentă $\text{t/m}^3$	1,90	2,35	1,50	2,30

Elemente de calcul	Strat de uzură		Strat de legătură	
	cu granulit	cu criblură	cu granulit	cu criblură
necesar t/km	532	658	525	805
costul, în lei/km	105336	111860	85412	108353
eficiența economică pe km	6524	-	22941	-
bitum, în %	8,2	7,0	5,2	4,5
consum de bitum în t/km	42,5	46,0	27,4	36,2
economia de bitum în t/km	3,5	-	8,8	-

Eficiența economică pe km = 29.465 lei/km

Economia totală de bitum pe km = 12,3 t bitum/km

Efectuând aceleași calcule pentru o îmbrăcăminte bituminosă în două straturi, în grosime de 3,0 cm stratul de uzură și 4,0 cm strat de legătură se obține o eficiență totală de 23.325 lei pe km și o economie de 8,8 t bitum/km.

În concluzie, folosirea mixturilor asfaltice cu granulit conduce la eficiență economică și la economii de bitum, deci și din acest punct de vedere apreciez că îmbrăcămintele bituminos realizate astfel, au caracteristici fizico-mecanice bune, eficiență economică și asigură concomitent și o economie de bitum.

#### 4.10.4. Concluzii și contribuții originale aduse la studierea și realizarea mixturilor asfaltice cu granulit

Din studiile și experimentările efectuate de autoare și din urmărirea comportării mixturilor asfaltice realizate cu granulit se pot desprinde următoarele concluzii mai importante:

- granulitul ca agregat artificial ușor poate fi folosit cu rezultate bune pentru înlocuirea criblurilor din scheletul mineral al mixturilor asfaltice considerate tradiționale;

- mixturile asfaltice realizate cu granulit se caracterizează prin densități aparente mai mici decât aceleași tipuri realizate cu cribluri, fapt ce conduce la reducerea consumului de mixtură asfaltică pe  $m^2$  și km și implicit la economii de bitum ;

- încercările fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice



cu granulit pun în evidență calități deosebite ale acestora din punct de vedere al stabilității și al rezistențelor;

- încercările la oboseală realizate cu aparatul Guericke atestă că durata de exploatare a acestora este comparabilă cu a mixturilor asfaltice realizate cu cribluri și în consecință creează premise favorabile folosirii acestora, în zonele lipsite de cribluri și unde există posibilități de aprovizionare cu acest agregat;

- modulii de rigiditate studiați pentru acest tip de mixturi asfaltice arată o comportare reologică bună atât la temperaturi scăzute când se manifestă preponderent comportarea elastică ce se caracterizează prin valori ridicate ale modurilor de rigiditate, cât și la temperaturi ridicate când se manifestă preponderența calităților vâscoase și deci valori mai scăzute a acestor moduli;

- datorită densității aparente mai mici cu 15...45 % a mixturilor asfaltice cu granulit, ele pot fi utilizate mai ales acolo unde această proprietate devine importantă, cu înbrăcăminte pe poduri, unde reduc sensibil încărcările;

Autoarea a adus contribuții importante la studierea acestora, deoarece mixturile asfaltice cu granulit reprezintă o noutate în sectorul rutier din țara noastră, în consecință au fost necesare cercetări în diverse domenii pentru caracterizarea proprietăților acestora, a definirii caracteristicilor fizico-mecanice mai importante, a urmării comportării în timp, sub influența temperaturii, a încărcărilor etc., ceea ce a impus un volum foarte mare de încercări și experimentări.

În acest context am studiat și stabilit următoarele:

- comportarea granulitului la uzură, determinând valorile acesteia cu aparatul Los Angeles;
- comportarea la îngheț-dezghet;
- studierea adhezivității bitum-granulit și posibilitățile de mărire ale acesteia;
- acțiunea apei asupra mixturilor asfaltice realizate cu granulit;
- autorepararea mixturilor asfaltice cu granulit;
- variația rezistenței la compresiune cu temperatura și studierea rezistenței prin metoda braziliană;
- urmărirea rugozității sectorului realizat cu granulit.

Din documentarea bibliografică efectuată s-a constatat că pînă în anul 1976, an în care au început experimentările, granulitul nu a fost utilizat în acest scop la noi în țară, ceea ce a permis autoarei tezei, ca înaintînd documentația necesară la Oficiul de Standarde, Invenții și Mărci (O.S.I.M.) să obțină pentru această lucrare brevetul de invenție 68656/1977.

În ceea ce privește eficiența economică, din calculele comparative efectuate se constată că rezultă eficiență economică de 22.000-24.000 lei/km în funcție de grosimea straturilor executate și de asemenea ceea ce este esențial, sînt economiile de bitum care se înscriu între 8,8 t/km și 12,3 t/km, deosebit de importante în contextul economisirii la maxim a liantului bituminos în actuala etapă caracterizată prin penuria de produse petroliere și derivați ai acestora.

## CAPITOLUL 5

### STUDII SI CONTRIBUTII ADUSE LA REALIZAREA MIXTURILOR ASFALTICE CU UN CONȚINUT REDUS DE BITUM SI PETER

#### 5.1. Situația existentă în tehnica rutieră

Actuala criză mondială caracterizată prin penuria de țiței și derivați ai acestuia a pus cu mare acuitate problema folosirii cât mai rașionale a bitumului și a tuturor surselor de combustibil.

Încă la al XV-lea Congres mondial de drumuri din 1975 de la Mexico și mai ales al XVI-lea Congres de la Viena - septembrie 1979 marchează aspecte deosebite în privința reducerii consumului de bitum, tendințe privind refoșosirea îmbrăcămînșilor bituminoase vechi, precum și readucerea în actualitate a folosirii nisipurilor și șisturilor bituminoase existente ca zăcăminte naturale în diferite țări./18/ /20/ /24/.

Pe această linie se situează și cercetările realizate în țara noastră la Facultatea de drumuri și poduri din București /80/, la Institutul de cercetări și proiectări tehnologice în transporturi /290/, la laboratorul de drumuri al catedrei de drumuri și fundații și la laboratorul Direcșiei de drumuri și poduri Timișoara, unde am efectuat o serie de studii în laborator corelate cu experimentări pe teren în vederea atingerii scopului propus, respectiv a obșinerii unor mixturi asfaltice cu un conșinut redus de bitum /45/.

#### 5.2. Studii și cercetări de laborator pentru realizarea betoanelor asfaltice pentru stratul de uzură și de legătură

Cercetările și studiile întreprinse au vizat în special cele două tipuri de mixturi asfaltice utilizate frecvent la realizarea straturilor îmbrăcămînșilor bituminoase și anume: betonul asfaltic cu agregat mărunt bogat în criblură (B.a.16.60) și betonul asfaltic deschis pentru strat de legătură (B.a.25.80).

În acest scop am efectuat o serie mare de încercări de laborator pentru a stabili care sînt limitele inferioare posibile ale dozajului de bitum, cu condiția realizării și a celorlalte caracteristici fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice,

respectiv absorbție de apă și deci impermeabilitate la acțiunea apei.

În încercările de laborator am lucrat cu agregatele minerale cunoscute și existente la formațiile de mixturi asfaltice și anume: criblura 16...25 mm, 8...16 mm, 3...8 mm, nisip de concasaj și nisip natural, filer de cretă măcinată de Murfatlar și bitum D 80/100 de la Rafinăria Suplacu de Barcău.

Caracteristicile bitumului utilizat au fost următoarele:

- penetrație la 25°C	81,1/10 mm.
- punct de înmuiere I și B	44°C
- punct de rupere Fraass	-17°C
- ductilitate la 25°C	peste 100 cm
- adezivitate, metoda dinamică la rece pe criblură de Brănișca	85 %
- indice de penetrație, I.P.	-2

Agregatele minerale au avut compoziția granulometrică prezentată în tabelul 5.1.

Tabel 5.1

Agregatul	Procente rămase pe ciur, sita de...						Trece prin sita de 0,075 mm
	16	8	3,15	0,63	0,2	0,075	
Criblura 16...25 mm	88,5	11,0	0,5	-	-	-	-
Criblura 8...16 mm	-	79,5	20,0	0,5	-	-	-
Criblura 3... 8 mm	-	2,2	78,2	18,5	0,3	0,2	0,6
Nisip de concasaj	-	-	8,4	59,0	15,2	8,2	9,2
Nisip natural	-	-	-	19,4	60,8	19,4	0,4
Filer (cretă)	-	-	-	-	-	-	-
Murfatlar	-	-	-	2,0	6,0	7,0	85,0

Pentru obținerea unor formulări cât mai adecvate scopului enunțat anterior, am elaborat o serie de dozaaje, cu un conținut variabil de bitum, s-au preparat mixturile asfaltice respective, care au fost supuse apoi încercărilor, în vederea determinării parametrilor fizico-mecanici mai importanți.

Betoanele asfaltice pentru stratul de uzură au fost realizate pornind de la un conținut de 5,5 % bitum până la 6,2 %, cu valori intermediare de 5,7 % și 6,0 %, comparativ cu o probă din același tip de mixtură B.a.16.60, care avea 7,0%

Dozajele aplicate și caracteristicile fizico-mecanice obținute sînt prezentate în tabelul 5.2.

Tabel 5.2

Dozaje și caracteristici	Betoane asfaltice tip B.a.16.60				
Bitum 80/100, în % (raportat la masa mixturii)	5,5	5,8	6,0	6,2	7,0
Agregat mineral, în %					
criblură 8...16 mm	22,0	22,0	20,5	28,0	20,0
criblură 3... 8 mm	34,0	30,0	30,0	23,0	30,9
nisip (natural+concasaj)	37,0	40,0	41,0	40,0	38,0
filer (cretă) Murfatlar	7,0	8,0	8,5	9,0	12,0
Raport filer/bitum	1,27	1,40	1,41	1,45	1,70
Densitate aparentă, g/cm <sup>3</sup> pe cub	2,25	2,25	2,28	2,30	2,32
Absorbția de apă, %vol pe cub	8,4	7,8	7,4	6,9	4,2
Volu de goluri, % pe cub	7,0	7,0	5,5	4,0	2,2
Rezistența la compresiune, daN/cm <sup>2</sup> :					
- la 22°C	30,0	31,0	34,0	40,0	35,0
- la 50°C	9,0	9,0	10,0	13,0	11,0
Coeficient de termostabilitate	3,3	3,3	3,4	3,1	3,2
Stabilitatea Marshall, la 60°C daN	670	700	760	900	800
Indice de curgere (fluaaj) în mm	2,9	2,7	2,8	3,0	3,0
Stabilitate /fluaaj	230	260	270	300	270

Din examinarea datelor din tabelul 5.2 rezultă că performanțele betoanelor asfaltice cu un conținut redus de bitum sînt foarte bune în ceea ce privește rezistența la compresiune și stabilitatea Marshall, evident însă că absorbția de apă prezintă valori mai ridicate decît cele admise în prezent de standardul și instrucțiunile tehnice în vigoare.

Totuși, întrucît o absorbție de apă de 7,0 % volum este admisă în cazul betoanelor asfaltice rugoase, am considerat că valorile obținute pot fi admise și la experimentare pe drum, urmînd ca pe baza observațiilor ce se vor face pe parcursul anilor să se poată trage concluzii practice.

Tabel 5.3

Caracteristici comparative ale betoanelor esfaltice cu agregat mărunț pentru ștrai de ucură

C A R A C T E R I S T I C I	România					Italia
	STAS 174-73	Experimen- tal DDP Timișoara	Fransa	SUA	SUA	
Bitum, în %, raportat la mixtură	6,5-7,5	5,5-6,2	5,6-6,3	4,5-6,0	5,6-7,0	5,4-5,7
Curba granulometrică, în %, trece prin:						
sita de 0,08 mm	-	5-8	5-7	3-7	4-8	5-7
sita de 0,09 mm	8-14	6-10	-	-	-	-
sita de 0,2 mm	12-30	8-15	7-17	4-12	7-18	6-14
sita de 0,63 mm	22-47	20-35	17-28	15-27	-	18-30
ciur de 3 mm	40-60	40-65	35-55	22-27	40-60	35-50
ciur de 8 mm	63-85	60-85	60-77	40-50	85-100	60-80
ciur de 16 mm	90-100	80-100	80-93	60-70	100	100
ciur de 20 mm			90-100	63-80		
ciur de 25 mm				85-100		
Densitate aparentă, g/cm <sup>3</sup>	2,35	2,25-2,30	2,20-2,27	-	-	2,20-2,30
Stabilitate Marshall la 60°C, dați	400-750	670-900	230	300	300	600
Indice de coargere (fluaj) mm	1,5-4,5	2,7-3,0	2-5	2-5	2-5	2-5



Din cercetările realizate se constată că, proporțional cu reducerea procentului de bitum este necesar să se reducă și partea fină a agregatului mineral, cu condiția menținerii raportului filer bitum peste 1, condiție realizată la toate tipurile de betoane asfaltice utilizate în stratul de uzură.

Consultând literatura de specialitate străină /66/ /74/ /76/ /196/ se pot compara dozajele, curbele granulometrice și caracteristicile fizico-mecanice recomandate în Franța, SUA și Italia cu cele din standardul 174-73 și cu rezultatele obținute /45/ și propuse de autoare /45/ în vederea obținerii unor betoane asfaltice pentru stratul de uzură cu dozaje mai scăzute de bitum și filer decât cele din STAS, ceea ce conduce în final la obținerea de economii de bitum și filer.

În tabelul 5.3 sînt prezentate comparativ datele menționate mai sus.

Zona granulometrică propusă pentru betonul asfaltic cu agregat mărunt bogat în criblură este arătată în fig.5.1 și se constată că se caracterizează printr-un conținut mai redus de filer și o creștere concomitentă a procentului de criblură.

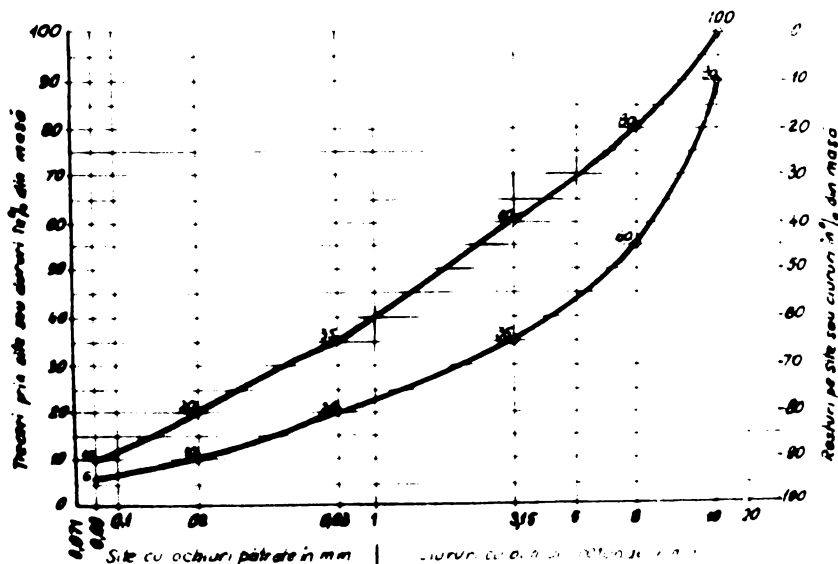


Fig 5.1 Zona granulometrică propusă pentru betonul asfaltic cu agregat mărunt bogat în criblură.

Comparativ compoziția betoanelor asfaltice cu agregat mărunt bogate în criblură realizate conform standardului și a

celor propuse sînt prezentate în fig.5.2.

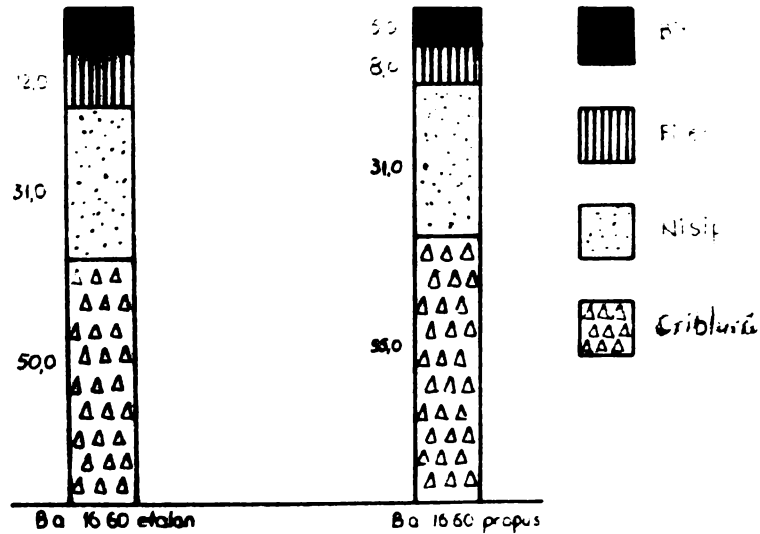


Fig.5.2. Compoziția betonului asfaltic cu agregat mărunt bogat în criblură și a celui cu conținut redus de bitum.

Betoane asfaltice deschise pentru strat de legătură  
(B.a.25.80)

În privința betoanelor asfaltice deschise pentru stratul de legătură (B.a.25.80), standardul 174-73, prevede condiții deosebit de severe în ceea ce privește conținutul de bitum și zona granulometrică. Din experimentările efectuate în laborator și pe teren, am constatat că se pot realiza betoane asfaltice de acest tip cu un conținut de bitum sub limitele STAS (4,0...5,0 %), cu condiția ca stratul de legătură să nu fie lăsat sub circulație și să fie acoperit în 2...3 zile cu un strat de uzură. Dozajele și caracteristicile fizico-mecanice obținute sînt prezentate în tabelul 5.4.

Tabel 5.4

Betoane asfaltice deschise pentru strat de legătură cu conținut redus de bitum

Dozaje și caracteristici	Betoane asfaltice deschise tip B.a.25.80			
Bitum în % raportat la mixtură	3,6	3,8	3,9	4,5
Agregat mineral, în % :				
criblură 3...25 mm	67,0	65,0	65,0	68,0
nisip natural	32,0	34,0	34,0	31,0

filer de calcar	1,0	1,0	1,0	1,0
Densitate aparentă g/cm <sup>3</sup>	2,20	2,25	2,20	2,31
Absorbția de apă, % vol	9,0	8,5	8,2	7,8
Stabilitatea Marshall, la 60°C, daN	400	420	400	430
Indice de curgere (fluaj), mm	3,0	3,2	3,0	3,1

Din examinarea datelor de laborator, reiese că prevederile din STAS 174-73 cu privire la curba granulometrică a agregatului mineral total, este prea severă, întrucât impune ca partea fină ce trece prin sita de 0,2 mm să aibă valori între 5...20 %, în timp ce prescripțiile franceze și americane prevăd pentru aceeași sită 3...8 %, ceea ce se poate obține mult mai ușor și deci nu necesită un aport suplimentar de filer, la noi în țară, pentru a realiza curba granulometrică din STAS, este necesar să se introducă pînă la 5,0 % filer, fapt ce ridică prețul tonei de mixtură asfaltică, prin creșterea suprafeței specifice a agregatului mineral total, ceea ce impune și creșterea procentului de bitum necesar pentru anrobarea completă a granulelor. În susținerea argumentației, se prezintă în tabelul 5.5. pentru comparație dozajele, curbele granulometrice și caracteristicile fizico-mecanice din STAS 174-73, cele obținute experimental de autoare și cele recomandate în Franța și SUA.

Tabel 5.5

Comparație între betoanele asfaltice deschise pentru strat de legătură

CARACTERISTICI	R.S. România			Franța	SUA
	STAS 174-73	Experi- mental Timișoara			
Bitum în %, raportat la mixtură	4,0-5,0	3,6-3,9	3,4-3,7	3,8-4,5	
Curba granulometrică, în %, trece prin:					
sita de 0,08 mm	-	1- 4	1- 5	1- 4	
sita de 0,09 mm	1- 6	-	-	-	
sita de 0,2 mm	5- 20	4- 8	3- 8	3- 7	
sita de 0,63 mm	12- 30	9- 20	8- 10	7- 16	
ciur de 3 mm	20- 35	20- 40	25- 40	18- 25	
ciur de 8 mm	35- 55	40- 60	40- 63	30- 55	

CARACTERISTICI	R.S-România		Franța	SUA
	STAS 174-73	Experi- mental Timișoara		
ciur de 16 mm	50- 80	57- 85	58- 85	45- 70
ciur de 25 mm	90-100	80-100	70-100	55 -83
ciur de 31,5 mm	-	100	87-100	62- 88
ciur de 40 mm	-	-	-	67- 95
ciur de 80 mm	-	-	-	90-100
Densitate aparentă, g/cm <sup>3</sup>	2,30	2,20-2,28	-	-
Absorbție de apă, % vol	max.8,0	max. 9,0	-	-
Stabilitate Marshall, 60°C, daN	300-600	300-600	-	min.230
Indice de curgere (fluaaj) mm	1,5-4,5	1,5-4,5	-	2,0-4,5

### 5.2.1. Sectoare experimentale

Sectoarele experimentale au fost realizate pe DN 69 Timișoara-Arad la km 3+400 - 3+800 și pe DN 7 Deva-Arad km 416+200 - 417+900, mixturile asfaltice fiind preparate în instalația tip LPX de la Săcălaz și în instalațiile tip AMG de la Mintia.

Sectoarele executate în anii 1977 și 1978 au fost ținute permanent sub observație, examinând periodic starea suprafeței de rulare printr-un control vizual și aprecieri comparative, precum și pe carote prelevate de pe sectoarele respective la 20 zile, 90 zile și 1 an de la darea în circulație, pentru a urmări evoluția absorbției de apă și a densității în timp. În tabelul 5.6 sînt prezentate sectoarele realizate cu beton asfaltic tip B.a.16.60. ca strat de uzură, comparativ cu un sector etalon, considerat cel pe care s-a așternut B.a.16.60 cu un conținut de 7,0 % bitum.

Tabel 5.6

### Sectoare experimentale

Dozaje și caracte- ristici	Betoane asfaltice tip B.a.16.60				
	5,5	5,7	6,0	6,2	7,0
Sector experimen- tal	DN 7 Deva-Arad km 416+ 230	km 417+ 880	DN 69 Timișoara Arad 3+400- 3+800	DN 7 Deva-Arad 417+120	414+690

Instalația de mixtură asfaltică	ANG Mintia		LPX Săcălaz	ANG Mintia	
Absorbție de apă, % vol:					
- la 20 zile	8,0	7,4	7,0	6,5	4,5
- la 90 zile	6,5	4,5	4,0	3,8	3,7
- la 1 an	6,3	4,4	4,0	3,7	3,7

După cum se poate urmări din tabelul 5.6 și din fig. 5.3 se vede că absorbția de apă scade cu 20...40 % din valoarea inițială după 90 zile, de la darea în circulație, astfel că și acest parametru se înscrie în limitele impuse de STAS 174-73, ceea ce atestă o compactare ulterioară sub circulație. În ceea ce privește sectorul experimental pe care s-a așternut același tip de mixtură asfaltică (B.a.16.60) dar cu un conținut de numai 5,5 % bitum, absorbția de apă care avea valoarea inițială de 8,0 % a scăzut după 90 zile la 6,5 %.

Observații privind comportarea sectoarelor experimentale

Urmărind comportarea în exploatare a sectoarelor experimentale se impune precizarea că nu au apărut degradări, chiar după trecerea a trei ierni destul de grele, deși sectoarele respective au fost tratate în iernile 1978 și 1979 cu fondanți chimici (clorură de sodiu) pentru combaterea poleiului.

Traficul, conform recensământului din 1975 și 1980 prezintă intensități mai mari pe DN 69 decât pe DN 7 conform datelor din tabelul 5.7.

Tabel 5.7

Traficul recenzat pe sectoarele experimentale

Sectorul examinat			MZA în vehicule fizice					
DN	Km	Localități	Anul 1975			Anul 1980		
			Total	Greu	Trafic greu, %	Total	Greu	Trafic greu, %
7	412-439	Săcămaș-Zam	853	153	18	1112	223	20
69	3- 8	ieșire Timișoara	3386	474	14	4790	720	15

În anul 1981 s-a executat un nou sector experimental pe DN 66 Petroșani-Hațeg, realizându-se în acest scop un mare număr de probe în vederea stabilirii dozajelor adecvate pentru experimentare.

Agregatele minerale folosite au avut compoziția granulometrică prezentată în tabelul 5.8.

Tabel 5.8

Compoziția granulometrică a agregatelor minerale

AGREGATUL	Procente rămase pe ciur, ...sita de Trece							prin sita de 0,08 mm (%)
	16	8	3,15	0,63	0,2	0,09	0,08	
Criblura 8...16 mm	2,9	80,0	15,0	1,6	0,5	-	-	-
Criblura 3... 8 mm	-	5,0	60,0	32,0	1,8	0,4	0,2	0,6
Nisip de concasaj	-	-	16,4	56,8	17,6	4,4	0,1	4,7
Nisip natural	-	-	2,2	72,2	22,4	1,4	0,1	1,7
Filer(Murfatlar)	-	-	0,5	2,0	4,5	6,5	0,5	86,0

Pentru fabricarea betonului asfaltic cu agregat mărunț bogat în criblură s-a folosit un procent mai ridicat de criblură 8...16 mm, scopul experimentării fiind acela de a realiza o economie de criblură 3...8 mm, care este deficitară în etapa actuală.

Dozajul adoptat și realizat a fost cel prezentat în continuare:

- criblură 8... 16 mm ..... 39,0 %
- criblură 3... 8 mm ..... 23,0 %
- nisip de concasaj ..... 12,0 %
- nisip natural ..... 12,0 %
- filer ..... 8,0 %
- bitum D 81/84 ..... 6,0 %

Se observă că s-a lucrat cu 6,0 % bitum cu penetrația 81/84 și 39,0 % criblură 8...16 mm. Cu acest dozaj s-a trecut la realizarea unui sector experimental pe DN 66 Petroșani - Hațeg la km 167+500 - 168+000.

În fig.5.4 și 5.5 sînt prezentate aspecte din timpul execuției, cînd s-a urmărit realizarea în condiții cât mai corecte a așternerii și a compactării.



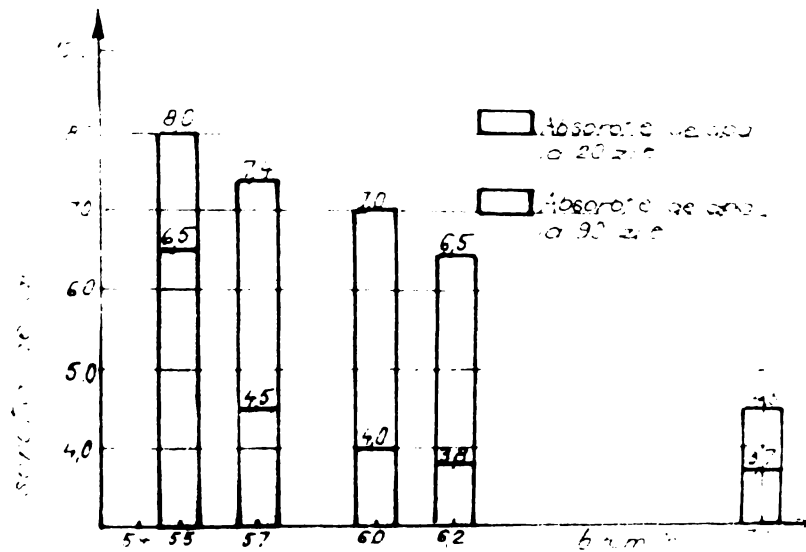


Fig.5.3. Variația absorbției de apă la 20°C și la 90°C în funcție de numărul b.

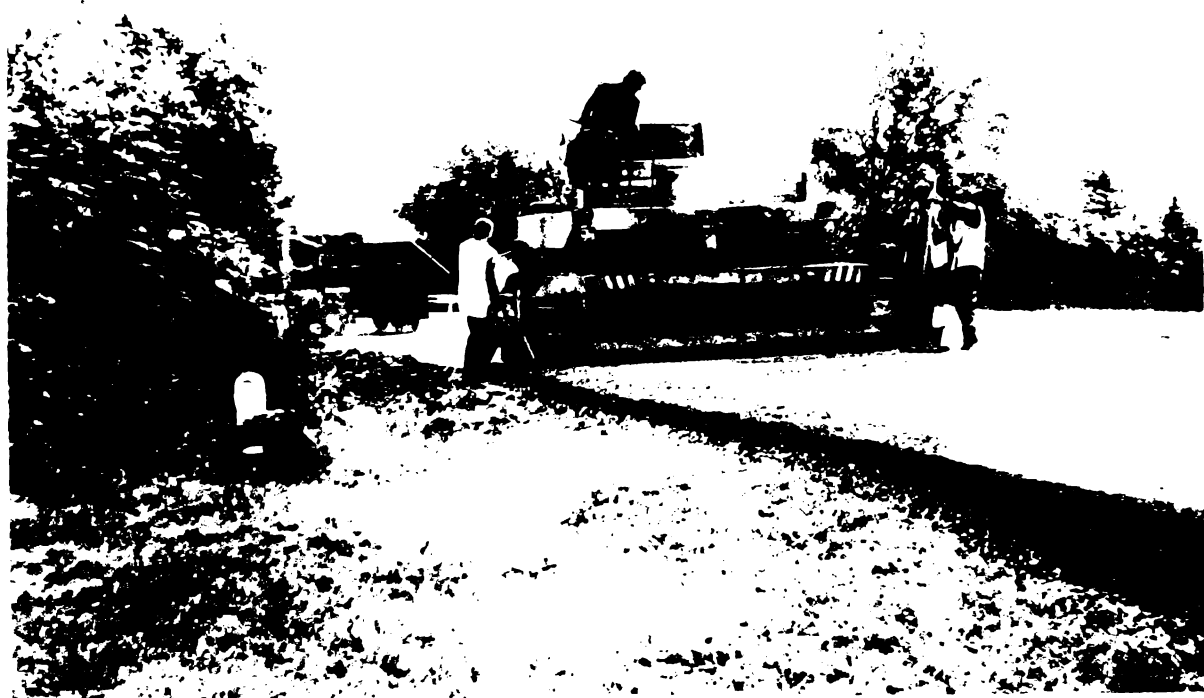


Fig.5.4. Aspect din timpul execuției sectorului experimental pe DN 66 km 167+500-168+000

Caracteristicile fizico-mecanice obținute pe carotele prelevate de pe sectorul experimental prezintă valori corespunzătoare și anume cele reflectate în tabelul 5.9.

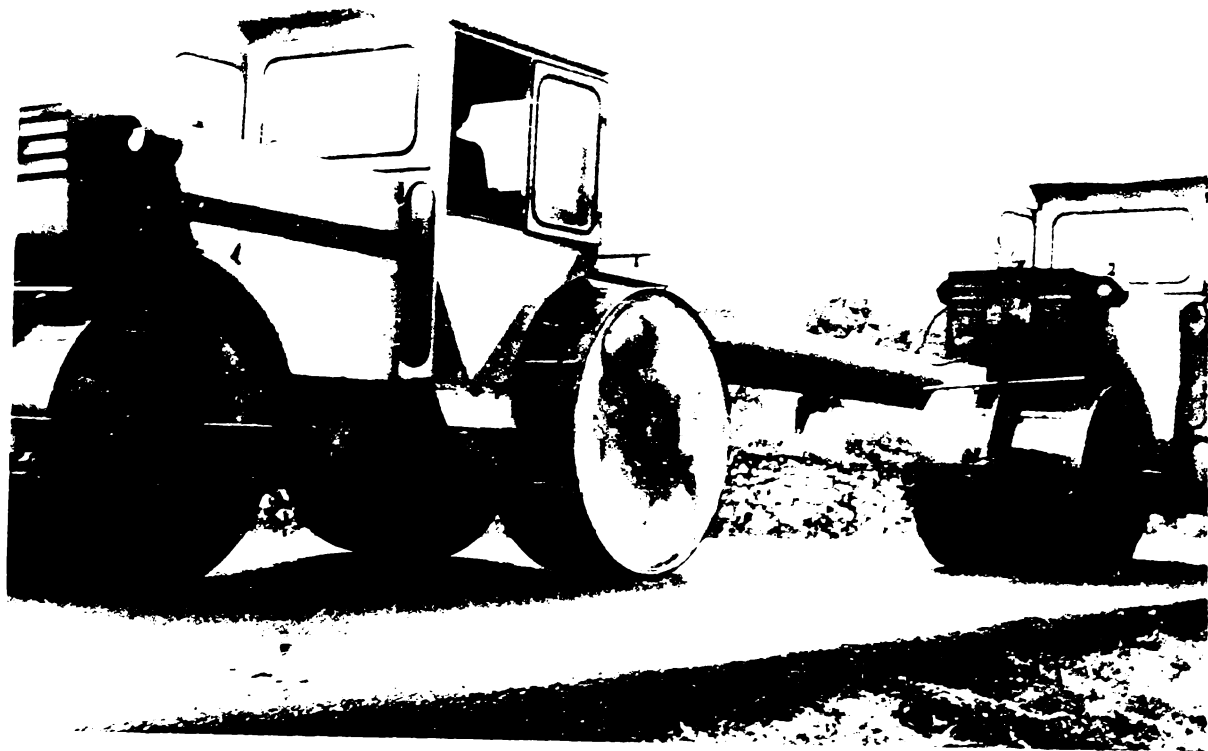


Fig.5.5. Compactarea sectorului experimental



Fig.5.5.a Compactarea sectorului experimental

Tabel 5.9

## Caracteristici fizico-mecanice obținute pe carote

Caracteristici fizico-mecanice	Carota 1	Carota 2
Bitum, în %	5,9	6,0
Curba granulometrică, în %		
- trece prin sita de 0,08 mm	8,8	9,0
- trece prin sita de 0,09 mm	9,6	9,9
- trece prin sita de 0,2 mm	13,4	14,0
- trece prin sita de 0,63 mm	25,7	26,7
- trece prin ciur de 3 mm	54,2	56,2
- trece prin ciur de 8 mm	76,8	78,8
- trece prin ciur de 15 mm	94,3	98,3
- trece prin ciur de 20 mm	100,0	100,0
Densitatea aparentă, g/cm <sup>3</sup>	2,35	2,35
Absorbția de apă, %vol.	3,0	3,0
Rezistența la compresiune, daN/cm <sup>2</sup> :		
- la 22°C	35,8	36,0
- la 50°C	15,5	15,6
Umflarea după 28 zile păstrare în apă, % vol	0,5	0,5
Reducerea rezistenței la compresiune după 28 zile. păstrare în apă, %	6,0	6,0
Stabilitate Marshall la 60°C, daN	1000	1000
Indice de curgere, fluaj, în mm	3,0	3,1

Din rezultatele prezentate în tabelul 5.9 se constată că stratul de uzură executat dintr-o mixtură asfaltică tip beton asfaltic cu agregat mărunț bogat în criblură, realizat cu un conținut de bitum de 6,0 %, executat în condiții experimentale corecte, atestă caracteristici fizico-mecanice foarte bune, comparabile cu cele recomandate în standardele în vigoare. Este necesar însă să precizez că execuția trebuie realizată în condiții optime, să se asigure o așternere mecanizată și o compactare foarte energetică a stratului, astfel încât să se obțină un grad ridicat de compactare și anume 97...98 %.

Cu privire la rugozitatea geometrică obținută pe sectorul experimental și determinată la o lună de la darea în circulație, se constată că valorile sînt cuprinse între 0,44 și 0,54 mm și sînt prezentate grafic în fig.5.6, ceea ce atestă că

rugozitatea obținută este bună.

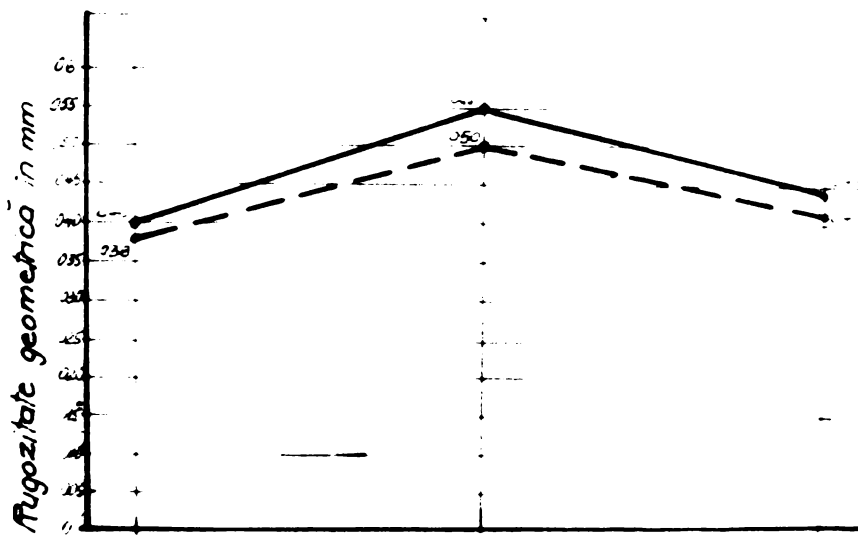


Fig 5.6 Variația rugozității geometrice de 3 x 66  
km. 167+500 - 168+000

### 5.2.2. Modulul de rigiditate al mixturilor asfaltice cu conținut redus de bitum și filer

Studierea în laborator a caracteristicilor fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice astfel realizate au impus și examinarea lor din punct de vedere al valorilor modulilor de rigiditate caracteristică reologică foarte importantă pentru aprecierea comportării lor în exploatare.

Modulii de rigiditate ai mixturilor asfaltice au fost calculați în funcție de modulul de rigiditate al bitumului pe care-l conțin, de timpul de încărcare, de temperatură și de volumul de goluri, rezultatele fiind prezentate în tabelul 5.10.

Tabel 5.10

Modulii de rigiditate pentru mixturile asfaltice rockinate cu conținut redus de bitum și filer

timp de încărcare  $10^{-3}$ s

Tempera- tura în °C	Modulul de rigiditate al bitumului N/m <sup>2</sup>	Modulul de rigiditate al mixturii as- faltice N/m <sup>2</sup>		
		7,0 % bitum	5,7 % bitum	3,9 % bitum
0	$5,0 \cdot 10^8$	$1,87 \cdot 10^{10}$	$1,08 \cdot 10^{10}$	$1,04 \cdot 10^{10}$
+ 5	$3,5 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^{10}$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$0,75 \cdot 10^9$
+ 10	$2,0 \cdot 10^8$	$1,02 \cdot 10^{10}$	$7,9 \cdot 10^9$	$7,2 \cdot 10^9$
+ 22	$5,0 \cdot 10^7$	$6,0 \cdot 10^9$	$4,34 \cdot 10^9$	$3,8 \cdot 10^9$
+ 50	$2,0 \cdot 10^6$	$6,5 \cdot 10^8$	$5,0 \cdot 10^8$	$4,25 \cdot 10^8$

timp de încărcare  $10^{-2}$ s

- 10	$4,0 \cdot 10^8$	$1,9 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^{10}$	$1,02 \cdot 10^{10}$
0	$2,5 \cdot 10^8$	$1,06 \cdot 10^{10}$	$8,75 \cdot 10^9$	$8, \cdot 10^9$
+ 5	$1,5 \cdot 10^8$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$6,25 \cdot 10^9$	$5,8 \cdot 10^9$
+ 10	$8,5 \cdot 10^7$	$7,7 \cdot 10^9$	$5,85 \cdot 10^9$	$4,8 \cdot 10^9$
+ 22	$1,5 \cdot 10^7$	$2,7 \cdot 10^9$	$2,0 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^9$
+ 50	$4,0 \cdot 10^5$	$3,0 \cdot 10^8$	$2,0 \cdot 10^8$	$1,55 \cdot 10^8$

timp de încărcare  $10^{-1}$ s

- 10	$3,5 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^{10}$	$9,0 \cdot 10^9$	$7,0 \cdot 10^9$
0	$1,0 \cdot 10^8$	$7,5 \cdot 10^9$	$6,0 \cdot 10^9$	$5,0 \cdot 10^9$
+ 5	$5,0 \cdot 10^7$	$5,0 \cdot 10^9$	$3,75 \cdot 10^9$	$3,4 \cdot 10^9$
+ 10	$3,0 \cdot 10^7$	$3,75 \cdot 10^9$	$2,5 \cdot 10^9$	$2,4 \cdot 10^9$
+ 22	$3,5 \cdot 10^6$	$8,25 \cdot 10^9$	$6,0 \cdot 10^8$	$5,0 \cdot 10^8$

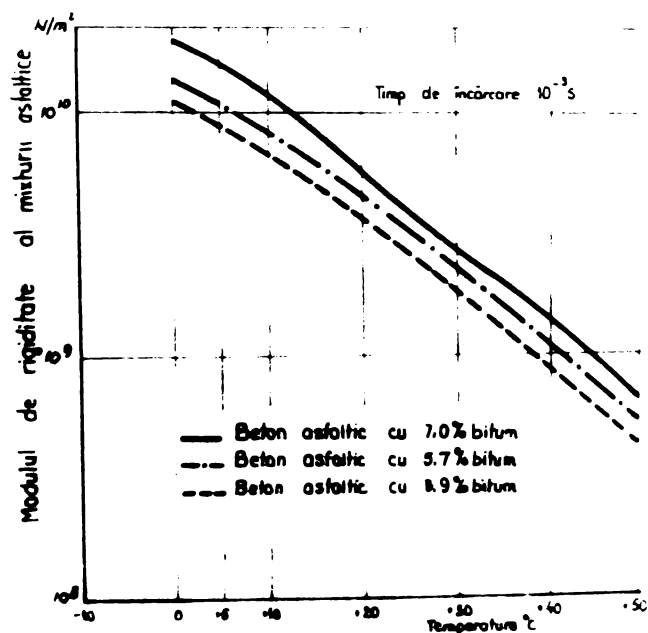
timp de încărcare 1 s

- 10	$9,0 \cdot 10^7$	$8,0 \cdot 10^9$	$5,0 \cdot 10^9$	$4,0 \cdot 10^9$
0	$3,5 \cdot 10^7$	$4,3 \cdot 10^9$	$3,1 \cdot 10^9$	$2,6 \cdot 10^9$
+ 5	$1,5 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^9$
+ 10	$5,0 \cdot 10^6$	$1,04 \cdot 10^9$	$8,5 \cdot 10^8$	$7,75 \cdot 10^8$
+ 22	$5,0 \cdot 10^5$	$3,25 \cdot 10^8$	$2,0 \cdot 10^8$	$1,8 \cdot 10^8$

tiimp de încărcare 10 s

Temperatura în °C	Modulul de rigiditate al bitumului N/m <sup>2</sup>	Modulul de rigiditate al mixturii asfaltice N/m <sup>2</sup>		
		7,0 % bitum	5,7 % bitum	3,9 % bitum
- 10	5,0.10 <sup>7</sup>	4, 0.10 <sup>9</sup>	3, 0.10 <sup>9</sup>	2, 5.10 <sup>9</sup>
0	1,0.10 <sup>7</sup>	1, 2.10 <sup>9</sup>	1, 0.10 <sup>9</sup>	5, 0.10 <sup>8</sup>
+ 5	3,0.10 <sup>6</sup>	7, 5.10 <sup>8</sup>	5, 0.10 <sup>8</sup>	4, 5.10 <sup>8</sup>
+ 10	1,0.10 <sup>6</sup>	4, 0.10 <sup>8</sup>	3,25.10 <sup>8</sup>	5, 0.10 <sup>8</sup>
+ 22	1,0.10 <sup>5</sup>			

Variația modurilor de rigiditate se poate urmări foarte bine în graficele prezentate în fig.5.7 care reprezintă variația modulului de rigiditate în funcție de temperatură la timpul de încărcare 10<sup>-3</sup> s; în fig. 5.8., 5.9., 5.10 și 5.11 sunt prezentate variațiile modurilor la 10<sup>-2</sup> s, 10<sup>-1</sup> s, 1 s și 10 s.





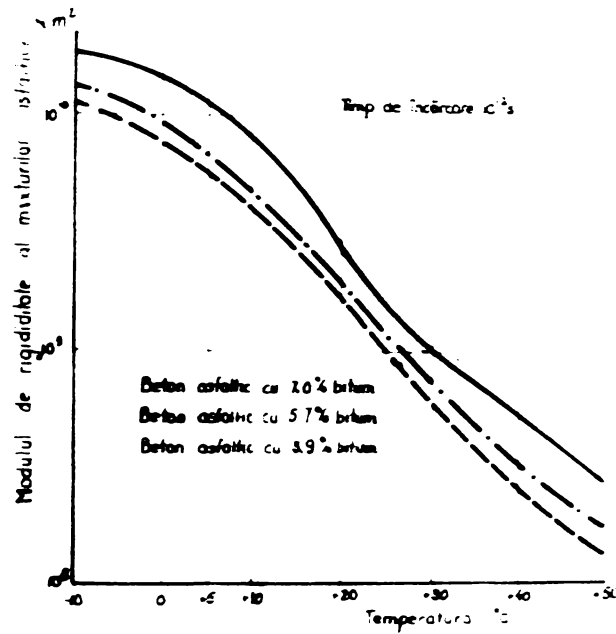


Fig. 5.8 Variația modulului de rigiditate cu temperatura

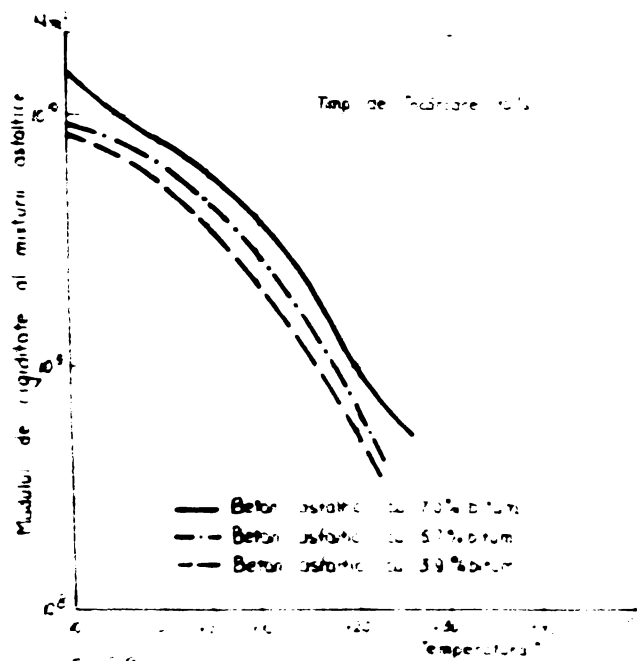


Fig. 5.9 variația modulului de rigiditate cu temperatura

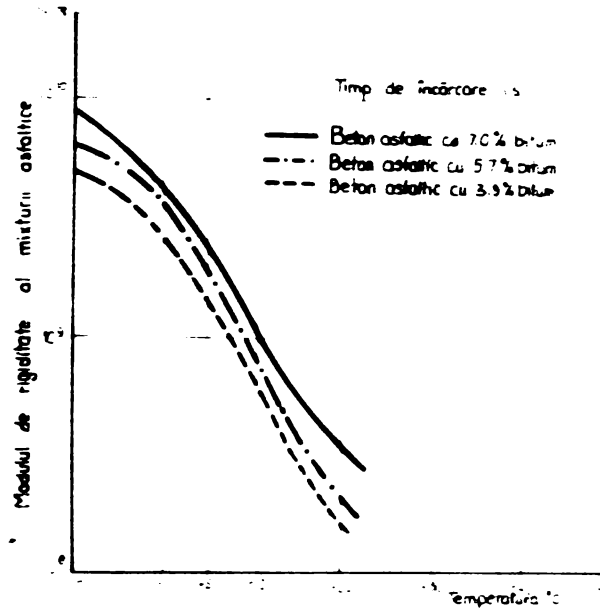


Fig 5 10 Variația modulului de rigiditate cu temperatura

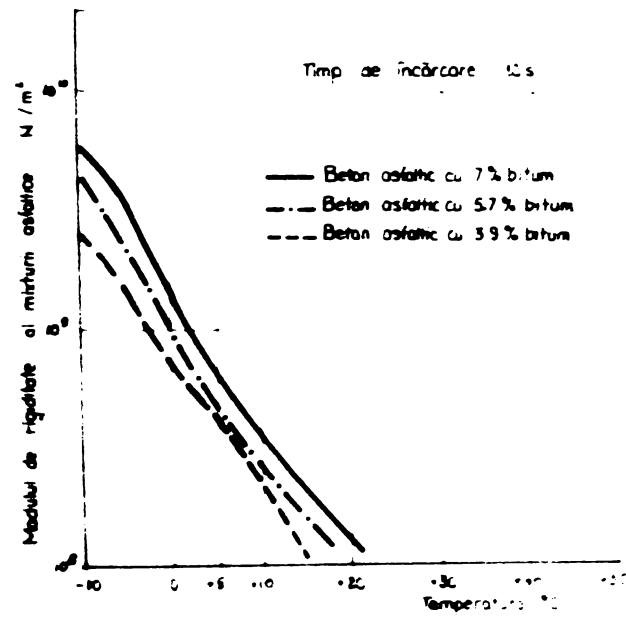


Fig 5 11 Variația modulului de rigiditate cu temperatura

Toate reprezentările atestă creșterea modulilor de rigiditate cu scăderea temperaturii și cu creșterea vitezei de încărcare, evidențind concomitent o comportare bună a betonului asfaltic realizat cu 5,7 % bitum față de proba etalon cu 7,0 % bitum, curbele modulilor și valorile lor fiind foarte apropiate.

Izotermele modulilor de rigiditate sînt indicate în fig.5.12 pentru proba etalon, cu 7,0 % bitum, pentru betonul asfaltic tip B.a.16.60 cu un conținut de 5,7 % bitum în fig. 5.13. Valori mai scăzute ale modulului de rigiditate se obțin la betonul asfaltic deschis cu criblură pentru stratul de legătură, datorită compoziției diferite a acestuia și unui procent mai redus de bitum în mixtura asfaltică, ceea ce a condus la un volum de goluri mai ridicat fig,5.14.

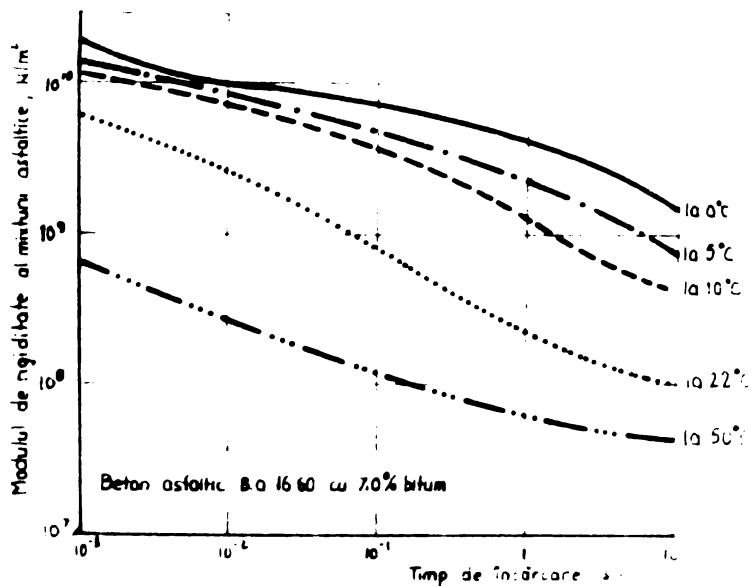


Fig 5 12 Variația modulului de rigiditate în funcție de timpul de încărcare

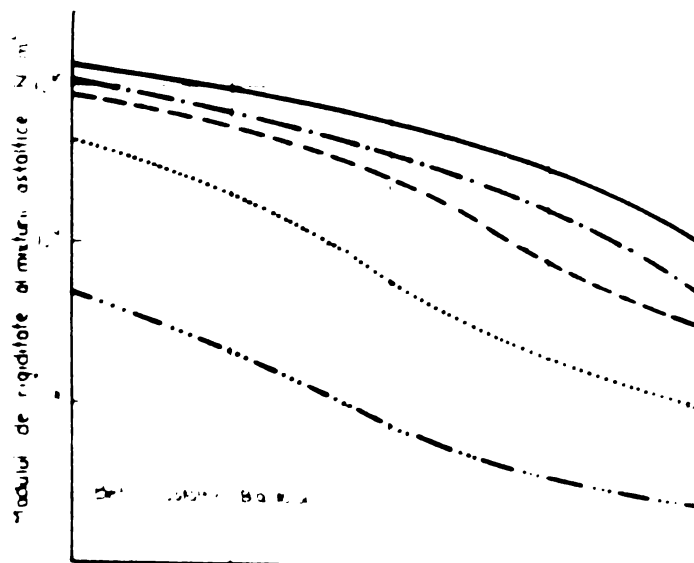


Fig 5 13 Variația modulului de rigiditate în funcție de timpul de încărcare

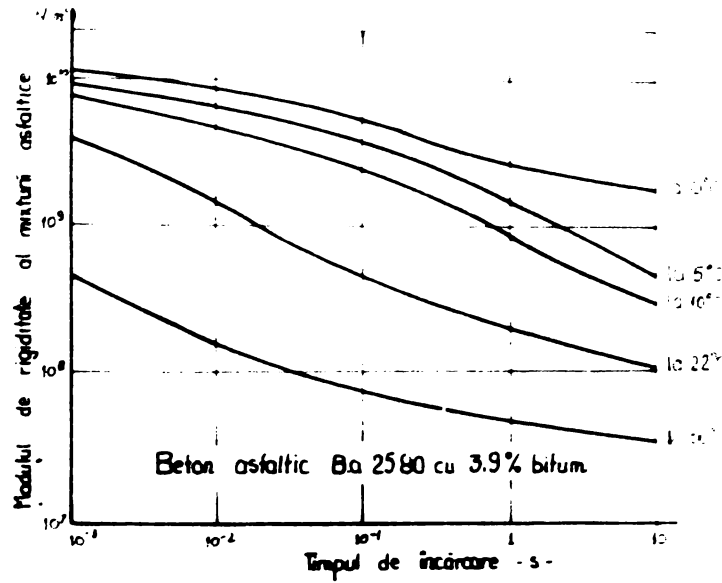


Fig.5.14 Variația modulului de rigiditate în funcție de timpul de încărcare

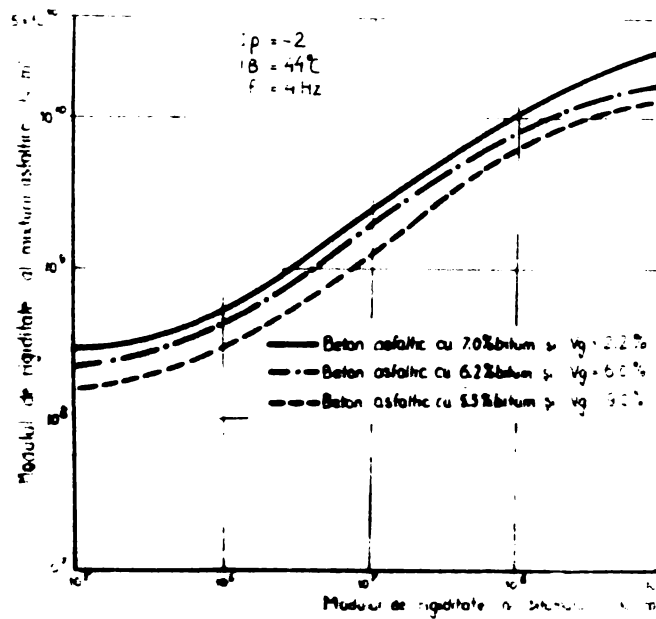


Fig 5.15 Influența volumului de goluri asupra modulului de rigiditate

Influența volumului de goluri asupra modulului de rigiditate al mixturilor asfaltice cu un conținut redus de bitum, este prezentată de asemenea în fig.5.15 avînd în abscisă modulul de rigiditate al bitumului exprimat în  $N/m^2$  iar în ordonată modulul de rigiditate al mixturii asfaltice, pentru cazul betoanelor asfaltice tip B.a.16.60. avînd 7,0 % bitum și 2,2 % volum de goluri, apoi B.a.16.60 cu 6,2 % bitum și 6,0 % volum de goluri și proba cu cel mai redus conținut de bitum 5,5 % și un volum de goluri de 9,0 %.

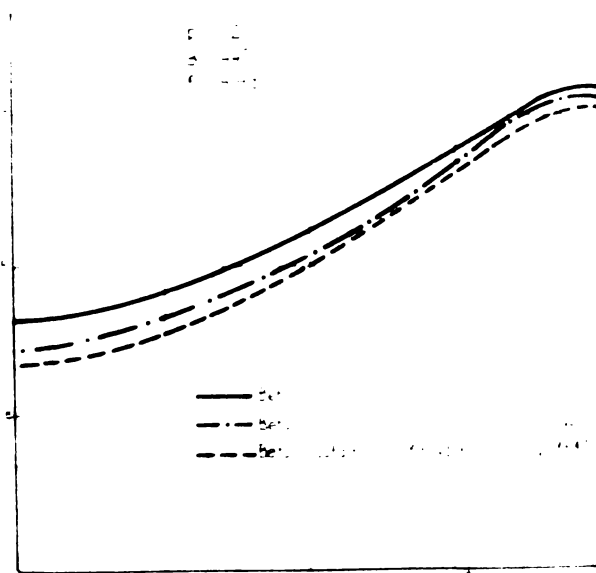


Fig.5.16 Influența volumului de goluri asupra modulului de rigiditate

Curbele obținute atestă faptul că modulii de rigiditate sînt influențați sensibil de volumul de goluri al mixturii asfaltice după compactare, pentru același tip de bitum, variațiile modulilor de rigiditate sînt paralele.

Aceleași concluzii sînt valabile și pentru **betonele** asfaltice deschise obținute cu același tip de bitum, volumul de goluri a variat între 7,3 % și 13,1 %, după cum se poate urmări în fig.5.16.

Concluziile ce se desprind din aceste studii arată că modulii de rigiditate caracterizează mai exact reologia mixturilor asfaltice realizate cu un conținut redus de bitum și Miller reliefând următoarele aspecte mai importante:

- . modulii de rigiditate ai mixturilor asfaltice cu conținut redus de bitum studiate în teză, variază în funcție de modulul de rigiditate al bitumului pe care-l conțin, parametru esențial în aprecierea calității betoanelor asfaltice studiate;

- . s-a urmărit variația valorii modulilor în funcție de temperatură, de timpul de încărcare, evidențiindu-se aspectele specifice legate de influența fiecărui parametru, subliniind faptul că modulii cu valori maxime se obțin la temperatură scăzută când comportarea mixturilor asfaltice este predominant elastică; același efect se manifestă cu scăderea timpului de încărcare, valori maxime ale modulilor de rigiditate se obțin la timpul de încărcare de  $10^{-3}$  s și valorile cele mai mici la timpul de încărcare de 10 s ;

- . un parametru important este volumul de goluri al mixturilor asfaltice; odată cu micșorarea volumului de goluri se obțin valori maxime ale modulului de rigiditate;

- . consecința ce derivă în mod firesc din valoarea acestui parametru conduce în mod obligatoriu la realizarea unei compactări cât mai eficiente, pentru a reduce volumul de goluri spre limita inferioară; din experimentările făcute rezultă că betonul asfaltic tip B.a.16.60, având 6,0...6,2 % bitum se comportă bine, pînă la un volum de goluri de 5,0...6,0 %, în timp ce pentru betoanele asfaltice deschise folosite în stratul de legătură, volumul de goluri poate să crească pînă la 8...10 %, în consecință corespunzător unui conținut de 3,9 % bitum.

### 5.2.3. Comportarea la oboseală

Am considerat necesar în continuare să efectuăm o serie de studii referitor la comportarea la oboseală a acestor mixturi asfaltice și în acest sens au fost examinate trei probe pe care le-am considerat reprezentative și anume: beton asfaltic cu agregat mărunț bogat în criblură cu 7,0 % bitum considerat etalon, un beton asfaltic de același tip dar cu 5,7 % bitum și un beton asfaltic deschis pentru stratul de legătură caracterizat printr-un procent de 3,9 % bitum.



Pentru experimentare s-a folosit aparatul Guericke /92/ /93/ /99/ /101/ din dotarea Institutului de Cercetări și Proiectare Tehnologică în transporturi, lucrându-se la deformare constantă.

Parametrii încercării la oboseală cu care s-a lucrat au fost aleși astfel :

- frecvența solicitării la încovoire de  $4,5 \text{ Hz}$ , corespunzătoare unei durate de solicitare de  $0,035 \text{ s}$ , ceea ce corespunde unei circulații a autovehiculelor de aproximativ  $60 \text{ km/h}$
- temperatura de încercare aleasă a fost de  $+ 5^\circ\text{C}$ ;
- amplitudinea deformației specifice de întindere a fibrei marginale  $\epsilon$ , cu valori de  $3,0 \cdot 10^{-4}$ ;  $5,6 \cdot 10^{-4}$  și  $6,4 \cdot 10^{-4}$ .

Încercarea la oboseală s-a efectuat pe epruvetele de formă prismatică, avînd dimensiunile  $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 320 \text{ mm}$ .

Rezistența la oboseală s-a determinat prin numărul de cicluri care au dus la distrugerea epruvetelor și s-a exprimat prin relația:

$$N_s = K \left( \frac{1}{\epsilon} \right)^n \quad (5.1)$$

Rezultatele încercării la oboseală au condus la stabilirea legăturilor stohastice între numărul de aplicații ale solicitării care a produs distrugerea prin oboseală  $N_s$  și deformația specifică de întindere  $\epsilon$ . În coordonate logaritmice, ecuația de regresie a comportării la oboseală este cea a unei drepte:

$$\lg N_s = \lg k + n \lg \frac{1}{\epsilon} \quad (5.2)$$

Principalele caracteristici statistice sînt date în tabelul 5.11.

Tabel 5.11

Caracteristici statistice ale corelațiilor stabilite pentru încercarea la oboseală

CARACTERISTICI	B.a.16.60		
	etalon	conținut	reduc
Conținut de liant, %	7,0	5,7	3,9
Valoarea medie $\lg \epsilon$	-3,343	-3,323	-3,323
Valoarea medie $\lg N$	4,808	4,589	4,123
Date statistice abaterea medie pătratică			
$\sigma^2_{\lg \epsilon}$	0,02210	0,02056	0,02056
$\sigma^2_{\lg N}$	0,33372	0,22016	0,18065

CARACTERISTICI	B.a.16.60		B.a.25.80
	etalon	conținut redus	
Coeficient de corelație, r	0,99599	0,97698	0,99461
Rapoarte de corelație			
$n_{y/x}$	0,98	0,98	0,99
$n_{x/y}$	0,99	1,00	1,00
Coeficient de de determinație, d	0,94	0,83	0,90
k	$7,4 \cdot 10^{-7}$	$9,33 \cdot 10^{-5}$	$2,14 \cdot 10^{-5}$
n	3,87	3,20	3,00

Valorile mari, de peste 0,98 ale rapoartelor de corelație demonstrează existența unor legături de corelație între cele două variabile  $\lg N$  și  $\lg \frac{1}{\epsilon}$ . Aceleași concluzii pot fi admise și în baza valorilor de peste 0,90 ale coeficienților de corelație.

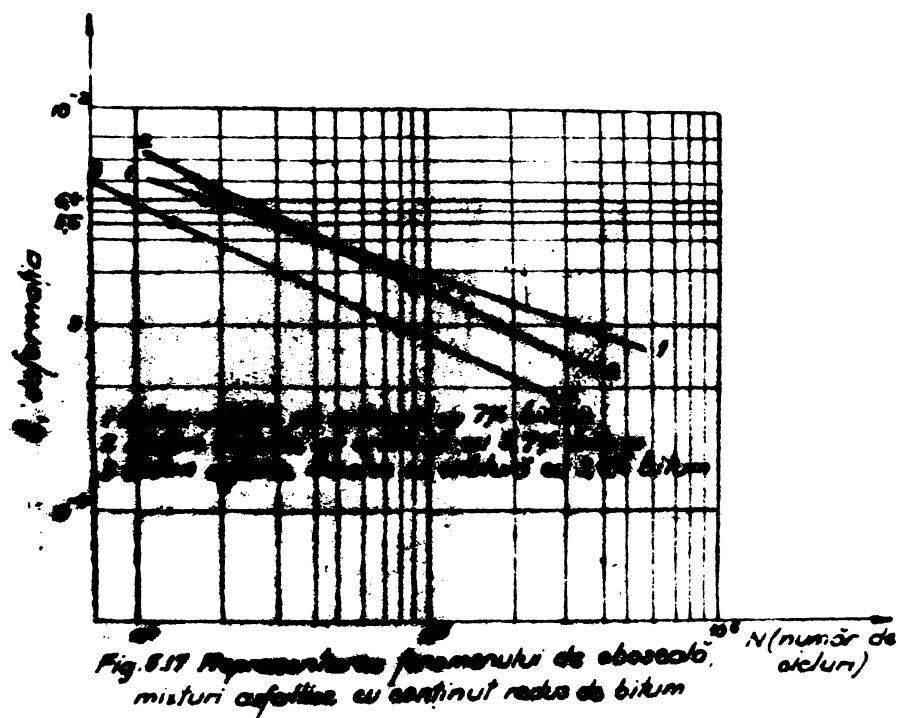
De asemenea, acceptabilitatea liniarității corelației se verifică prin analiza rapoartelor de corelație.

Valorile determinațiilor demonstrează că 87,0 %... 94,0 % din variația rezistenței la oboseală poate fi explicată prin modificarea deformației specifice. Se poate sublinia în consecință că în experimentările efectuate, în general, variația deformației a determinat în primul rând numărul de cicluri până la ruperea prin oboseală, influența altor cauze în cazul fiecărui tip de mixtură asfaltică examinată fiind relativ mult mai redusă.

Valorile k și n sînt constante ale regresiilor încercate asupra rezultatelor încercărilor la oboseală, determinate în ipoteza (bine justificată anterior) a liniarității corelației  $\lg N$  și  $\lg \frac{1}{\epsilon}$ .

Reprezentarea grafică a fenomenului de oboseală poate fi urmărită în fig.5.17.

Pentru experimentare au fost utilizate datele din capitolul 4, tabel 4,22 și am lucrat cu un beton asfaltic cu agregat mărunt bogat în criblură, cu un conținut de bitum de 7,0 % (proba etalon) comparativ cu același tip de mixtură asfaltică, dar cu 5,7 % bitum. Proba cu 3,9 % reprezintă un beton asfaltic deschis realizat cu criblură pentru strat de legătură.



Comparînd comportarea relativă a celor două tipuri de beton asfaltic cu agregat mărunt bogat în criblură, cu un conținut de liant diferit, se constată că micșorarea acestuia de la 7,0 % la 5,7 % conduce la reducerea numărului de cicluri pînă la rupere, astfel în domeniul deformației  $\epsilon = 3 \cdot 10^{-4}$  de la  $N_s = 3,19 \cdot 10^5$  la  $1,75 \cdot 10^5$  pentru proba cu 5,7 % bitum, în timp ce în domeniul  $\epsilon = 5,6 \cdot 10^{-4}$  de la  $N_s = 2,85 \cdot 10^4$  la  $N = 2,38 \cdot 10^4$ .

În cazul mixturii asfaltice de tipul B.a.25.10 (beton asfaltic pentru stratul de legătură), caracterizat prin 5,9 % bitum, în general la toate deformațiile realizate pe parcursul experimentării numărul de cicluri de solicitare pînă la rupere este de 4-5 ori mai mic. Încercarea la oboseală pune în evidență comportarea diferită la oboseală a celor două tipuri de mixturi asfaltice, corelate cu conținutul de liant. Comportarea mai bună la oboseală se obține la un conținut mai ridicat de liant, fapt ce este în concordanță și cu celelalte proprietăți fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice studiate:

Utilizarea unui conținut ridicat de criblură și nisip de concasaj necesită o compactare foarte energetică, în scopul realizării unei compactități cît mai ridicate.

Raportul filer/bitum se menține peste 1,0 în cazul betoanelor asfaltice utilizate pentru stratul de uzură, întrucât asigură o stabilitate sporită și un modul de rigiditate corespunzător, vara, la temperaturi ridicate.

### 5.3. Eficiența economică

Realizarea mixturilor asfaltice cu un conținut redus de bitum și filer a urmărit în principal economii de liant și se reflectă în eficiența economică a soluției adoptate.

Pentru stabilirea eficienței economice s-au luat în considerare următoarele date:

- la stratul de uzură, alcătuit din beton asfaltic cu agregat mărunt bogat în criblură (B.a.16.60) s-a calculat eficiența economică prin reducerea conținutului de liant de la 7,0% la 5,5%, 5,8%, 6,0% și 6,2% ;

- tot pentru stratul de uzură reducerea concomentă a cantității de filer necesară de la 11,0 % la 7,5 %; 8,0 % și 8,5 % ;

- s-a lucrat cu prețurile materialelor stabilite în ianuarie 1981.

Economii realizate la 1000 t mixtură asfaltică tip beton asfaltic cu agregat mărunt bogat în criblură pentru strat de uzură în diferite variante:

- 5,5 % bitum 21.888 lei economia de bitum 15 t
- 5,8 % bitum 18.900 lei economia de bitum 13 t
- 6,0 % bitum 14.580 lei economia de bitum 10 t
- 6,2 % bitum 11.800 lei economia de bitum 8 t
- 7,0 % bitum se consideră mixtură asfaltică etalon.

Economii de filer la 1000 t mixtură asfaltică pentru strat de uzură în următoarele variante:

- 7,5 % filer 4250 lei economia de filer 35 t
- 8,0 % filer 3650 lei economia de filer 30 t
- 8,5 % filer 3000 lei economia de filer 25 t
- 11,0 % filer la mixtura asfaltică etalon.

În consecință prin aplicarea soluției propuse rezultă eficiență economică reflectată în economii de bitum și filer, în condițiile actualei penurii de țigăi și derivați ai acestuia.

5.4. Concluzii și contribuții originale aduse la realizarea mixturilor asfaltice, cu un conținut redus de bitum și filer.

În contextul actualei crize de energie și a penuriei de țiței și derivați ai acestuia, studiile și experimentările realizate de autoare au urmărit în principal obținerea unor mixturi asfaltice cu un conținut mai redus de bitum și filer, căutînd concomitent să se obțină performanțe fizico-mecanice corespunzătoare.

Din cercetările realizate reiese posibilitatea obținerii unor betoane asfaltice cu agregat mărunt bogate în criblură, cu un conținut de bitum între 5,5...6,2%, adecvat scopului propus a fost necesar să se reducă proporțional și conținutul de filer și să se ridice concomitent procentul de criblură peste 3 mm.

Rezultatele obținute pe probele studiate în laborator atestă că se pot obține performanțele dorite la un conținut de bitum între 5,7...6,2 %; în acest scop s-au propus și alte zone granulometrice pentru agregatul mineral total și anume cele din tabelul 5.3.

Sectoarele experimentale executate au confirmat justetea concluziilor rezultate din cercetările de laborator și au impus o execuție foarte îngrijită a stratului de uzură. Se impun ca necesare o așternere și compactare cît mai energică pentru realizarea gradului optim de compactare.

Autoarea a întreprins studii privind fenomenul de oboseală a mixturilor asfaltice realizate cu un conținut redus de bitum punînd în evidență comparativ cu proba etalon, comportarea acestora la oboseală la deformație constantă, punînd în evidență o comportare bună la oboseală, a acestora.

Modulii de rigiditate ai mixturilor asfaltice cu conținut redus de bitum au fost studiați la diferite temperaturi și la diferiți timpi de încărcare, evidențiind influența volumului de goluri asupra acestora. Printr-o compactare energică se pot obține valori ale modurilor de rigiditate ai mixturilor asfaltice cu conținut redus de bitum comparabile cu ale probei etalon (proba cu 7,0 % bitum).

Din punct de vedere al execuției straturilor bituminoase realizate cu un conținut redus de bitum și filer se impune necesitatea așternerii acestora cu ajutorul utilajelor de mare productivitate, repartizatoare-finisoare, care asigură o așternere corectă, uniformă și o precompactare, iar printr-o compactare energetică folosind atelierele de compactare, să se poată realiza o densitate aparentă maximă și un volum de goluri cât mai mic (3,5 %) pentru stratul de uzură, fapt ce va determina o bună comportare în exploatare a straturilor astfel realizate.

Din punct de vedere al eficienței economice se constată că rezultă economii importante la bitum și filer, exprimate la 1000 t beton asfaltic cu agregat mărunț bogat în criblură, prin scăderea conținutului de liant de la 7,0 % la 6,0 % rezultă o economie de 10 t bitum, iar prin reducerea procentului de filer de la 11,0 % la 8,0 %, rezultă 30 t filer economie, luând în considerare prețurile materialelor rezultă economii de 18830 lei, la 1000 t mixtură asfaltică.

Rezultatele cercetărilor au fost comunicate în reviste de specialitate și au fost incluse în propunerile privind modificarea prevederilor standardului 174-73.



## CAPITOLUL 6

### REUTILIZAREA ÎMBRĂCĂMINȚILOR BITUMINOASE

#### 6.1. Generalități

Pentru întreținerea îmbrăcăminților bituminoase sau pentru ranforsarea unui complex rutier, s-au aplicat aproape în exclusivitate soluții care constau în acoperirea îmbrăcăminții existente, cu noi înveliguri sau straturi bituminoase, fără a se lua în considerare și posibilitatea de a acționa asupra îmbrăcăminților vechi existente.

În ultimul timp datorită crizei de bitum sînt în curs de introducere în tehnica rutieră unele noi tehnologii avînd drept scop principal, utilizarea cît mai eficientă a bitumului și folosirea lui numai în cazurile strict necesare.

Consultînd literatura de specialitate, se constată /20/ /24/ /57/ /80/ că se încearcă în diferite țări o serie de procedee tehnologice diverse, care urmăresc re folosirea parțială sau totală a îmbrăcăminților bituminoase existente, dintre acestea se pot menționa următoarele:

- frezarea;
- rabotarea;
- termoreprofilarea;
- termoregenerarea;
- re folosirea în instalații de producere a mixturilor asfaltice.

Frezarea la rece, se aplică în cazul cînd denivelările suprafeței de rulare sînt mici, iar sistemul rutier nu necesită ranforsare. Pentru frezare se utilizează utilaje speciale, care taie denivelările, lăsînd în urma lor o suprafață rugoasă. Această nouă suprafață, în funcție de modul cum se prezintă, poate fi dată în circulație așa cum este sau trebuie protejată cu un tratament bituminos.

Materialul rezultat prin frezare poate fi reutilizat la producerea unor mixturi asfaltice.

Rabotarea sau frezarea la cald se aplică în cazul cînd îmbrăcămintea bituminoasă veche prezintă diverse defecțiuni care trebuie eliminate ca: fisuri, peladă, gropi, etc.



Se lucrează cu utilaje speciale, ateliere de rabotare sau frezare la cald, care conțin:

- un sistem de încălzire a îmbrăcămintei cu arzătoare cu butan sau infraroșii;

- o serie de dinți scarificatori ficși sau rotativi, sau lame pentru rabotare reglabile în adâncime, plasate în V, ce distribuie mixtura asfaltică scarificată în cordon lateral;

- un ansamblu motor cu tablou de comandă, rezervor de carburanți, elevator pentru recuperarea materialului și încărcarea lui în autocamioane.

Rabotarea se poate efectua pe o grosime de 0,5...4,5 cm; temperatura de încălzire a îmbrăcămintei vechi fiind de 160...180°C. În cazul când se așterne un nou strat de îmbrăcămintă bituminoasă este bine ca această operație să se facă imediat, profitându-se de faptul că peste suprafața caldă se poate așterne o nouă mixtură asfaltică în condiții foarte bune de aderență cu vechiul strat.

Termoreprofilarea, a fost experimentată cu unele rezultate bune în mai multe țări și constă în refacerea profilului unei îmbrăcăminți bituminoase vechi (cu defecțiuni) prin încălzire, scarificare ușoară și recompactare, fără a se ridica materialul vechi din îmbrăcămintă și fără adaos de material nou.

Termoregenerarea, constă în îmbunătățirea caracteristicilor stratului de rulare prin încălzirea, scarificarea și reutilizarea îmbrăcămintei vechi parțial sau total și prin aplicarea unui strat de grosime redusă dintr-o mixtură asfaltică nouă, care se recomandă să aibă caracteristici antiderapante.

Reutilizarea îmbrăcămintelor bituminoase, prin reciclare (trecerea lor din nou în instalațiile de producere a mixturilor asfaltice) și corectarea lor prin adaos de agregate sau lianți reprezintă o metodă mai complicată și care necesită o serie de studii speciale de laborator.

În contextul acestor cercetări care au apărut în tehnică rutieră abia în anul 1978, trebuie precizat faptul că autoarea și-a pus această problemă încă în anul 1969, când au apărut o serie de văluriri pe drumurile executate cu îmbrăcăminți bituminoase, care foloseau mixturile asfaltice realizate cu nisip bituminos și care au impus necesitatea rezolvării acestor deficiente.

## 6.2. Contributii originale privind posibilitatea reutilizării îmbrăcăminților bituminoase vălurite

În cadrul Direcției drumuri și poduri Timișoara, am studiat, încă din anul 1969 /33/ posibilitățile de reutilizare a îmbrăcăminților vălurite, s-a pus la punct procesul tehnologic și s-au executat sectoare experimentale cu rezultate foarte bune. Datorită faptului că în perioada anilor 1969 - 1977, s-a dispus de bitum suficient pentru lucrările de drumuri nu s-au mai făcut cercetări în acest sens și numai actuala penurie de bitum a readus în actualitate ca temă de stringentă actualitate studierea și experimentarea din nou a reutilizării îmbrăcăminților bituminoase.

Pentru problema refolosirii straturilor din mixturi asfaltice vălurite, executate cu nisip bituminos, autoarea deține prioritate prin obținerea certificatului de raționalizare 15/1969 și publicarea rezultatelor studiilor și experimentărilor în revista Construcții în transporturi, vol.XXV/1971, cu titlul: Cauzele producerii văluririlor îmbrăcăminților asfaltice executate cu nisip bituminos și posibilitatea reutilizării mixturilor asfaltice din sectoarele vălurite.

### 6.2.1. Studii privind apariția și evoluția văluririlor

Văluririle îmbrăcăminților bituminoase se manifestă prin apariția unor denivelări în profil longitudinal, care se amplifică sub efectul traficului și care deranjează cu atât mai mult circulația, cu cât sînt mai mari și au o frecvență mai mare.

În cadrul Direcției drumuri și poduri Timișoara s-a constatat că aceste văluriri au apărut mai ales pe sectoarele pe care s-au executat îmbrăcăminți bituminoase din mixturi asfaltice cu nisip bituminos. Ele se manifestă sub forma unor ondulații cu amplitudinea între 20 și 60 mm, stratul de uzură fiind în unele cazuri refulat spre bordură. Frecvența acestor deformații variază între 1,20 m și 1,50 m. Se precizează că pe drumurile administrate în prezent de Direcția drumuri și poduri Timișoara, s-au executat, începînd cu anul 1961, aproximativ 700 km de îmbrăcăminți cu nisip bituminos.

Pe unele sectoare de drumuri cu astfel de îmbrăcămînți bituminoase, au apărut după 2...4 ani de la darea în circulație, văluriri caracteristice prezentate în figurile 1,2,3,4.

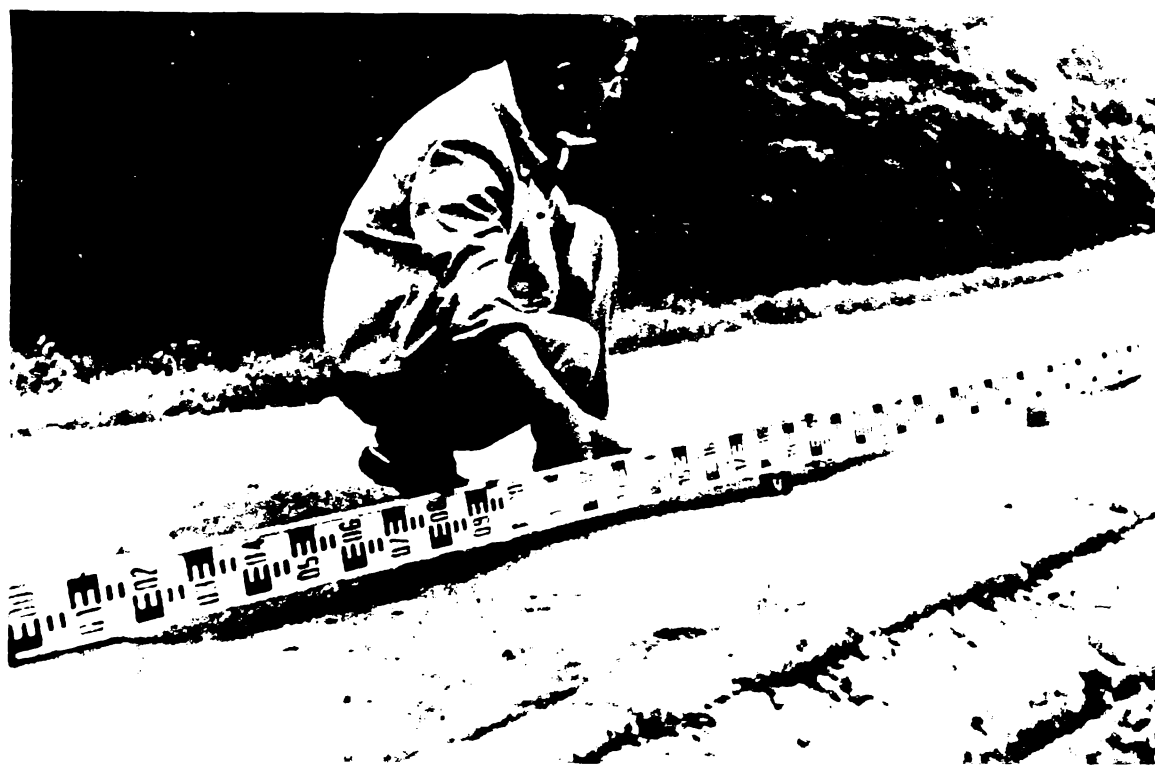


Fig.6.1. Măsurarea vălurilor

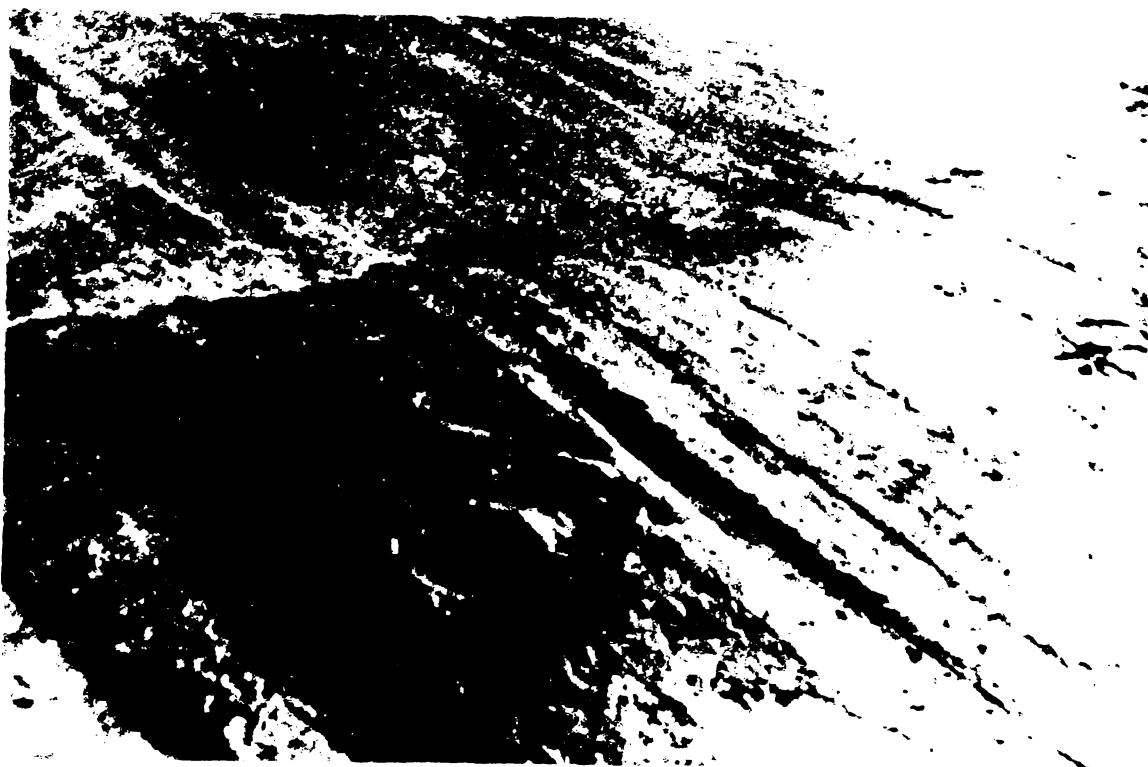


Fig.6.2. Sector de drum vălurit



Fig.6.3. Sector de drum vălurit

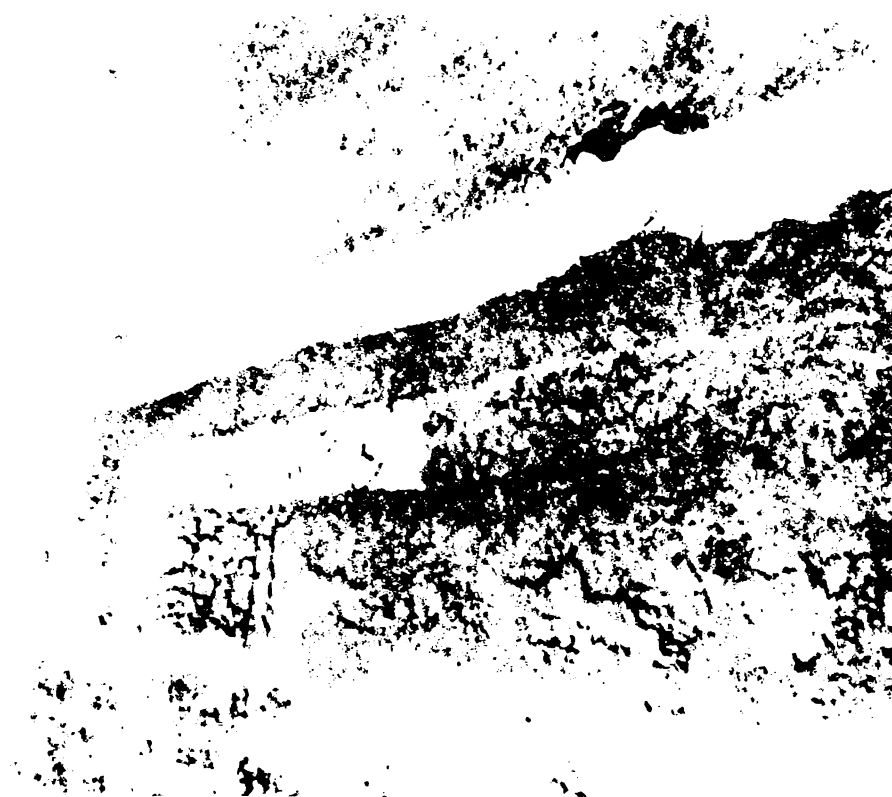


Fig.6.4. Sector de drum vălurit

Măsurînd mărimea vălurilor respective se observă că ele au valori mai mari spre bordură decît în axa drumului.

În tabelul 6.1 se prezintă cîteva valori măsurate pe drumuri.

Tabel 6.1

Văluriri ale îmbrăcăminților bituminoase						
D.N.	Km	Vălurirea în mm, măsurată în...				
		axă 0,50 m	1,50 m	2,50 m	lîngă bordură	
6	509 + 100	23	30	38	33	60
6	510 + 400	22	32	38	40	59
66	199 + 000	31	20	40	32	60
66	200 + 300	26	30	42	35	62
69	25 + 400	20	25	30	35	52

Interesant este faptul că vălurile nu apar imediat după darea în exploatare a sectoarelor executate, ci abia după 2...4 ani de la execuție, amplificîndu-se sub efectul traficului, devenind din ce în ce mai periculoase pentru circulație și necesitînd măsuri de remediere.

Pentru elucidarea cauzelor care au condus la apariția acestor degradări s-au prelevat probe din sectoarele respective și s-au efectuat studii și încercări în laboratorul de specialitate.

Din măsurătorile și studiile efectuate pe teren s-au obținut o serie de observații, privind apariția și evoluția fenomenului.

Vălurile au apărut mai ales pe tronsoanele al căror strat de uzură a fost alcătuit din mortar asfaltic sau beton asfaltic cu agregat mărunt sărac în criblură. În ambele cazuri, scheletul mineral este alcătuit mai ales din agregat fin.

În cazul mortarului asfaltic, scheletul mineral este constituit dintr-un amestec de nisip fin provenit din nisipul bituminos, cu un adaos de nisip de concasaj, nisip natural și filer de calcar (conținutul total în bitum al mortarului asfaltic poate varia între 9,0...11,0 %).

În cazul betonului asfaltic cu agregat mărunt sărac în criblură, acesta este constituit dintr-un amestec de 25-30 % criblură cu dimensiunile 3...8 mm și 8...16 mm, nisip de concasaj, nisip din nisipul bituminos și filer de calcar. În ceea ce

privește conținutul total de bitum, conform normativelor în vigoare pentru betoanele asfaltice executate cu nisip bituminos poate varia între 7,0...9,0 %.

Sondajele efectuate pe sectoarele vălurite arată că în general stratul de legătură, constituit dintr-un beton asfaltic deschis cu criblură sau pietriș, nu prezintă văluriri, datorită faptului că posedă un schelet mineral puternic, alcătuit din 60...70 % agregat mineral cu dimensiunea granulelor între 3...30 mm și un liant bituminos în proporție mult mai redusă decât în cazul mixturilor asfaltice utilizate în stratul de uzură (bitum total 4,5 - 5,5 %).

De asemenea, nu au apărut văluriri pe drumurile pe care s-au executat îmbrăcăminți din anrobate bituminoase din aceleași cauze arătate mai sus și anume scheletul mineral format din agregate cu dimensiunile 3...30 mm, în proporție de 40...60 % și liant în cantități sensibil mai mici decât în cazul mortarului și al betonului asfaltic (bitum total 5,0 - 6,0 %).

Din cele constatate în urma studiilor efectuate pe teren pe sectoarele afectate de văluriri, se poate trage concluzia că văluririle apar mai ales în stratul de uzură, desigur numai în anumite situații, care au fost studiate în vederea stabilirii cauzelor care le-au generat și a posibilităților de remediere.

Sistematizînd în baza încercărilor de laborator cauzele care au dus la apariția văluririlor, acestea pot fi grupate astfel:

- exces de liant sau,
- liant cu vîscozitate scăzută;
- liant la limita superioară a dozajului admis, avînd concomitent și vîscozitate scăzută.

Pentru a lămurii mai în detaliu cauzele acestor defecțiuni, au fost studiate în laborator o serie de probe prelevate de pe sectoarele vălurite.

Rezultatele obținute în cazul mixturilor asfaltice de tip mortar asfaltic executate cu nisip bituminos se pot urmări în tabelul 6.2.



Tabel 6.2

Mortare asfaltice realizate cu nisip bituminos  
rezultate

CARACTERISTICI	Mortar asfaltic probe....			
	1	2	3	etalon
Bitum, %	9,1	10,1	10,4	9,0
Punct de înmuiere, I.B., °C	29,0	33,0	35,0	48,0
Rezistența la compresiune, în daN/cm <sup>2</sup> , la - 22°C	18,0	17,0	20,0	25,0
- 50°C	6,0	5,0	6,5	9,0
Densitate aparentă, g/cm <sup>3</sup>	2,12	2,30	2,25	2,00
Absorbția de apă, % vol.	4,2	1,0	3,7	7,0
Curba granulometrică, în %, trece prin:				
- sita de 0,09 mm	22,5	18,5	20,0	18,0
- sita de 0,2 mm	55,7	47,5	50,0	45,0
- sita de 0,63 mm	76,3	75,5	79,5	76,0
- ciur de 1 mm	87,2	78,4	82,0	82,0
- ciur de 3 mm	95,6	93,7	97,0	95,0
- ciur de 5 mm	100,0	100,0	100,0	100,0

Din examinarea datelor de laborator din tabelul 6.2. se constată că procentul de liant total variază în limitele normativului avînd valori între 9,0 și 10,4 %, în schimb bitumul extras se caracterizează printr-un punct de înmuiere scăzut, cuprins între 29 și 35°C, ceea ce se reflectă negativ în performanțele fizico-mecanice, rezistența la compresiune la 22°C prezintă valori mici, între 17,0 și 20,0 daN/cm<sup>2</sup>, iar la 50°C între 5,0 și 6,5 daN/cm<sup>2</sup>. Densitatea aparentă este ridicată, peste 2000 kg/m<sup>3</sup>, atestînd o bună compactare a mortarului asfaltic, caracteristică ce se corelează bine cu absorbția de apă mică, între 1,0 și 4,2 %.

Referitor la compoziția granulometrică a mortarului asfaltic realizat cu nisip bituminos, se constată că se înscrie la toate probele examinate în zona granulometrică recomandată de normativ, după cum se poate urmări în fig.6.5.



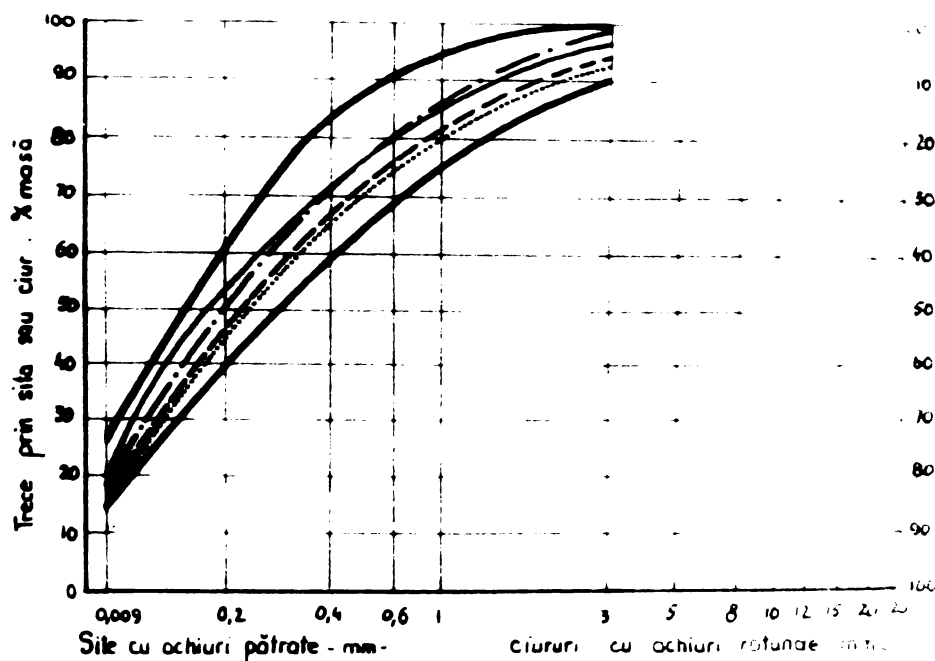


Fig 65-Zona granulometrică pentru mortar asfaltic executat cu nisip bituminos

Ceea ce este de subliniat, în cazul mînturii de tip mortar asfaltic realizat cu nisip bituminos (M.a.l.l.n.b), se referă la procentul de liant, care, chiar și la proba 1, fiind 9,1 % se înscrie în limitele admise de normativ (9,0...11,0 %), dar poate conduce la vîlurire datorită vîscozității scăzute a bitumului, punct de înmuiere  $29,0^{\circ}\text{C}$ , deci un liant foarte moale, sensibil la temperaturi ridicate, mixtură asfaltică astfel realizată este instabilă și în consecință fenomenul tipic care a apărut pe sectorul respectiv a fost vîlurirea.

Pentru probele notate 2 și 3, deși punctele de înmuiere ale bitumului extras din mixtura asfaltică sînt puțin mai mari,  $33^{\circ}\text{C}$  și  $35^{\circ}\text{C}$ , stratul de uzură realizat astfel se deformează ușor la temperaturi ridicate sub efectul traficului, mai ales datorită și unui dozaj mai ridicat de bitum și anume 10,1 % la proba 2 și 10,4 % la proba 3.

În această situație intervin doi factori, care influențează nefavorabil stabilitatea mînturii asfaltice și anume: conținut ridicat de liant concomitent cu o vîscozitate scăzută a bitumului.

Un alt aspect interesant ce caracterizează sectoarele examinate constă într-un fapt surprinzător, și anume că, la

4...5 ani de la execuția îmbrăcămintei, nu se constată aproape nici o îmbătrânire a bitumului, deci nu se poate aștepta o îmbunătățire prin creșterea durității liantului.

Urmărind evoluția liantului pe probe prelevate din sectoarele examinate la 2...6 ani, se obțin rezultatele din tabelul 6.3.

Tabel 6.3

Variația punctului de înmuiere, în timp				
Timpul, în ani	Punct de înmuiere, în °C			
	1	2	3	4
inițial	27,0	34,0	28,0	31,1
la 2 ani	28,0	34,0	29,0	32,2
la 3 ani	28,3	35,0	29,0	32,0
la 6 ani	-	36,0	29,4	32,4

În concluzie fenomenul de vîlurire al sectoarelor examinate nu se diminuează în timp ci se amplifică, fapt ce conduce la necesitatea luării unor măsuri de remediere imediată. Întrucît fenomenul de vîlurire a afectat și sectoarele pe care s-a executat un strat de uzură constituit din beton asfaltic cu agregat mărunt sărac în criblură, am efectuat prelevări de probe și studii de laborator și pentru acest tip de amestec asfaltic.

Beton asfaltic cu agregat mărunt sărac în criblură, realizat cu nisip bituminos (B.a.16.40.n.b.)

Un alt caz studiat în detaliu a fost cel al betonului asfaltic cu agregat mărunt sărac în criblură, executat cu nisip bituminos.

Rezultatele obținute pe probele prelevate din sectoarele vîlurate pot fi urmărite din tabelul 6.4.

Tabel 6.4

Beton asfaltic pentru strat de uzură realizat cu nisip bituminos(vilurit)

CARACTERISTICI	Beton asfaltic strat de uzură, proba...					
	1	2	3	4	5	6
Bitum, %	8,8	7,5	7,8	8,0	7,9	8,9
Agregate minerale, în %						
- fracțiunea 3...16 mm	27,5	29,8	29,3	28,3	29,0	23,0

CARACTERISTICI	Beton asfaltic-strat de uzură, proba...					
	1	2	3	4	5	6
-fracțiunea 0,08...3 mm	55,5	52,6	45,3	55,7	54,7	58,0
-fracțiunea sub 0,08 mm	17,0	17,6	25,4	16,0	16,3	19,0
Report filer/bitum	1,9	2,4	3,3	2,0	2,1	2,1
Punct de înmuiere, I.B. °C	32,0	36,0	27,0	28,0	28,3	31,1
Rezistența la compresiune, în daN/cm <sup>2</sup> , la : 22°C	14,2	24,0	18,8	19,2	19,4	11,8
50°C	6,0	14,0	7,0	7,3	6,5	4,3
Coefficient de termosta- bilitate	2,3	1,7	2,7	2,6	3,0	2,7
Densitate aparentă, g/cm <sup>3</sup>	2,24	2,21	2,27	2,29	2,30	2,26
Absorbție de apă, % vol	3,0	6,0	2,9	2,4	2,4	1,0
Voluim de goluri, %	2,0	4,0	2,9	1,0	1,0	0,5
Aspectul sectorului	vălu- rit	vălu- rit	vălu- riri mari	vălu- riri refulări mari	și refu- lări de 5...6 cm	vălu- riri și refu- lări de 5...6 cm

Analizând datele din tabel se constată că probele nota-  
te cu 2,3,4,5, sînt betoane asfaltice cu agregat mărunt sărac în  
criblură, al căror conținut de bitum variază în limitele 7,5 pî-  
nă la 8,0 %, deci în limitele recomandate de normativ. Bitumul  
este însă, un liant moale, cu vîscozitate scăzută, punctul de  
înmuiere variază între 28...36°C, rezistențele la compresiune  
sînt scăzute, în consecință stratul de uzură este deformabil la  
temperaturi ridicate, vara, iar sub efectul traficului, în ciu-  
da filerizării, la 2...3 ani de la execuție, pe sectoarele res-  
pective au apărut inevitabil văluriri, care devin din ce în ce  
mai mari sub efectul traficului și impun măsuri de reparare a  
sectoarelor afectate de aceste deformații.

Probele notate 1 și 6 pe lîngă faptul că liantul din  
mixture asfaltică este moale mai prezintă și exces de liant 8,8  
și 8,9 %.

Referitor la gradul de filerizare, toate probele supu-  
se încercărilor atestau filer în cantitate suficientă, peste  
16,0 %, iar raportul filer/bitum este în general mai mare de -  
cît 2,0, în consecință deși filerizarea mixturii este bună, sen-  
sibilitatea la deformarea plastică, vara, fiind mare s-au pro-  
dus văluririle cu efectele negative arătate anterior.

În ceea ce privește scheletul mineral al betonului asfaltic cu agregat mărunt, sărac în criblură, se constată că acesta este satisfăcător, în sensul că fracțiunea 3...16 mm reprezintă 28...30 %, deci în limitele toleranțelor recomandate pentru acest tip de mixtură asfaltică.

Densitatea aparentă a probelor prelevate din secțiunile vălurate indică o bună compactare, valorile obținute variază între 2,21 și 2,30 g/cm<sup>3</sup>.

Corelate cu aceste densități aparente, pe care le considerăm mari sînt absorbțiile de apă foarte scăzute între 1,0 și 3,0 % pentru probele 1,3,4,5 și 6. De asemenea volumul de goluri al acestor mixturi asfaltice este mic, prezentînd valori cuprinse între 1,0 și 4,0 % pentru probele 1,2,3,4,5 și 0,5 % pentru proba 6.

#### 6.2.1.1. Factorii care conduc la obținerea unui bitum cu vîscozitate mică în timpul fabricării mixturilor asfaltice cu nisip bituminos.

Prin corelarea observațiilor de pe teren cu rezultatele din laborator s-a reușit să se sistematizeze factorii care au condus la obținerea liantului cu vîscozitate mică și deci foarte sensibil la efectul traficului și a temperaturilor ridicate vara.

Factorii examinați pot fi grupați astfel:

- defecțiuni în procesul tehnologic;
- materiale cu umiditate mare;
- dozare incorectă.

Defecțiunile în procesul tehnologic se manifestă prin nerealizarea temperaturii de 160...180°C la ieșirea din uscător a amestecului de agregate cu nisip bituminos, defecțiune care influențează nefavorabil calitatea mixturii asfaltice, prin faptul că în uscător nu are loc fenomenul de oxidare-polimerizare parțială a uleiurilor din nisipul bituminos și deci liantul final, ce se obține prin amestecare cu bitum industrial dur în malaxor, este de la început un liant cu vîscozitate mică, un liant moale și va conduce implicit la realizarea unei mixturi asfaltice instabile la efectele cumulate ale temperaturii și ale traficului.

Materiale cu umiditate ridicată. În cazul materialelor cu umiditate mare, după ploii torențiale, vara, sau după 1...2

săptămâni cu timp ploios, materialele din depozitele neacoperite au umidități mai ridicate, nisipul poate ajunge la 7...9 %, iar nisipul bituminos la 2...3 % umiditate. În aceste condiții, o parte din energia calorică din uscător este folosită pentru uscarea materialelor, deci din punct de vedere practic fenomenul de oxidare-polimerizare are loc foarte puțin sau deloc și numai pe ultima secțiune a uscătorului, astfel că deși la ieșirea din uscător amestecul de agregate minerale cu nisip bituminos are o temperatură de 160...180°C, în fond, nu s-a modificat vâscozitatea liantului din nisipul bituminos și în final se obține tot o mixtură cu un liant prea puțin vâscos, moale, deci susceptibil la vâlurire, vara, pe timp călduros.

Dozare încorectă. Dozarea încorectă poate interveni în cazul modificării conținutului de bitum din nisipul bituminos, în cursul aceleiași zile sau în două zile consecutive, în sensul că nisipul bituminos poate să conțină mai mult bitum decât procentul luat inițial în calcul la stabilirea dozajului; de exemplu 14,0 % față de 12,0 %. În această situație, se produce o modificare a raportului dintre bitumul natural și bitumul industrial, realizându-se mixturi asfaltice cu bitum la limita superioară, raportul dintre cele două tipuri de bitum se modifică de la 70/30 la 80/20, efectul final fiind același, un liant moale, cu vâscozitate mică.

#### 6.2.2. Procedee de reutilizare a mixturilor asfaltice recuperate din îmbrăcămintele bituminoase vâlurite

Apariția fenomenelor de vâlurire, a pus problema înlăturării acestor defecțiuni și în acest scop am încercat mai multe metode și anume:

- saturarea cu criblură sau nisip a sectoarelor respective, rezultatele, însă, nu au fost satisfăcătoare, saturarea are loc numai la suprafață, mixtura asfaltică ce intră în alcătuirea stratului de uzură, rămâne în continuare plastică;

- tăierea denivelărilor cu lama autogrederului, se poate executa destul de ușor vara, pe timp cald, obținându-se un profil fără denivelări pronunțate, dar vâlurile reapar în anul următor, tocmai datorită insuficienței stabilității a mixturii asfaltice, din cauza bitumului pe care-l conține;

- decaparea stratului de uzură vâlurit și înlocuirea lui cu o altă mixtură corespunzătoare.

Studiind un mare număr de probe prelevate din sectoarele respective, din datele obținute în laborator, se constată că bitumul încorporat în acestea, este un bitum de bună calitate, fiind doar moale; punctul de înmuiere scăzut  $27...33^{\circ}\text{C}$ , fenomenul de îmbătrânire pe drum după cum s-a arătat anterior a influențat prea puțin bitumul, doar  $2...3^{\circ}\text{C}$  în plus pe parcursul a  $2...3$  ani.

Toate acestea au pus problema studierii posibilității de re folosire a acestor mixturi asfaltice, prin trecerea lor din nou prin uscătorul instalației și adăugarea unui material de aport, în general criblură, în vederea obținerii unor mixturi asfaltice cu un schelet mineral modificat, în general mai rugoase, sau printr-o simplă trecere prin uscător pentru a realiza creșterea durității liantului prin încălzire-oxidare.

Rezultatele bune obținute în laborator, au permis să se treacă la experimentarea pe teren a soluției propuse.

În cele de urmează se arată tehnologia de lucru aplicată.

Procesul tehnologic. Soluția cea mai eficientă în ceea ce privește reutilizarea îmbrăcămintelor bituminoase vâlurite, constă în recuperarea mixturii asfaltice <sup>rezultat</sup> prin decapare, corectarea cu un agregat de aport, reîncălzirea în instalația de preparare și punerea din nou în operă în straturi cu diferite destinații.

Decaparea îmbrăcămintei vâlurite s-a făcut cu lama autogrederului. În acest sens, s-a delimitat sectorul vâlurit, s-a montat lama astfel încât să taie  $1,5...2,0$  cm din stratul de uzură.

La prima tăiere lama autogrederului ridică rolăturile mari de  $4...5$  cm peste nivelul bordurii.

Pe jumătatea părții carosabile, în aproximativ  $5...6$  minute, se execută prima decapare pe o lungime de  $100$  m. Se repetă operația în mai multe reprize, până se constată că s-a îndepărtat complet stratul vâlurit și s-a ajuns la stratul de legătură, care este în general corespunzător.

Lama autogrederului ridică și depozitează pe margine,



sub formă de fîșii, îmbrăcămintea bituminoasă vîlurită, iar la terminarea operației de decapare este încălcată în autovehicule și transportată la locul unde urmează să fie refolosită.

Prepararea mînturii asfaltice. Este necesar să se cunoască în prealabil compoziția mînturii asfaltice decapate și în acest sens am efectuat determinările curente de laborator, stabilindu-se conținutul de bitum, granulomitatea agregatului mineral total și punctul de înmuiere al bitumului extras. În funcție de aceste date și de destinația prestabilită, se stabilesc dozajele de lucru. În continuare se prezintă câteva dozaje folosite.

Mîntura asfaltică vîlurită și recuperată este un mortar asfaltic și conține 10,0 % bitum. Se urmărește utilizarea ei pentru producerea unei mînturi asfaltice necesare reparării degradărilor îmbrăcămintilor bituminoase. În această situație s-a considerat util să se adauge 25,0 % criblură și 5,0 % nisip natural, dozajul adoptat fiind:

Mortar asfaltic vîlurit cu 10,0 % bitum	70,0 %
Criblură 3...8 mm	25,0 %
Nisip natural	<u>5,0 %</u>
	100,0 %

Aplicînd acest dozaj se obține un beton asfaltic cu agregat mîrunt sărac în criblură cu un conținut de aproximativ 7,0 % bitum. Se precizează că s-a adăugat criblura 3...8 mm pentru a se obține din mortarul asfaltic rezultat prin decapare un beton asfaltic sărac în criblură, cu următoarea compoziție:

Criblură 3...8 mm	25,0 %
Filer + nisip	68,0 %
Bitum total	<u>7,0 %</u>
	100,0 %

Curba granulometrică inițială și cea finală sînt prezentate în tabelul 6.5 și figura 6.6.

Tabel 6.5

<u>Curba granulometrică inițială și după reutilizare</u>		
=====		
Curba granulometrică, în %	Mortar asfaltic, mîntura inițială	Beton asfaltic rezultat prin reutilizare
=====		
trece prin sita de 0,09 mm	18,5	12,8
trece prin sita de 0.2 mm	47,5	33,0



Curba granulometrică, în %	beton asfaltic, măntura inițială- 11	beton asfaltic rezultat prin reutilizare
trece prin sita de 0,075 mm	75,5	55,0
trece prin ciur de 1 mm	78,4	59,4
trece prin ciur de 3 mm	93,7	69,0
trece prin ciur de 5 mm	100,0	93,0
trece prin ciur de 8 mm		100,0

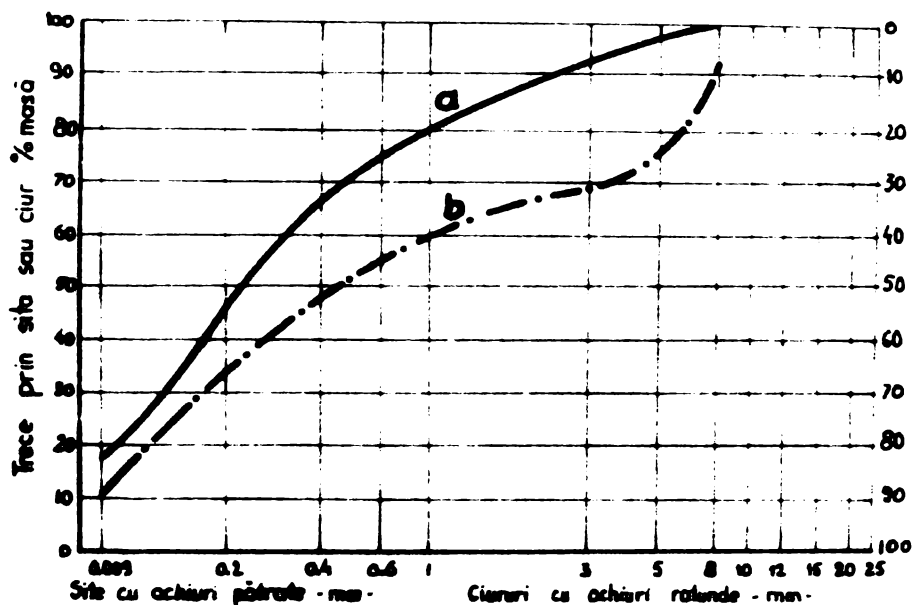


Fig. 6.6 - Curbe granulometrice înainte și după reutilizare  
 a - înainte de reutilizare  
 b - după reutilizare cu adăos de criblură și nisip

Caracteristicile fizico-mecanice ale celor două tipuri de măntură asfaltică sînt arătate în tabelul 6.6.

Tabel 6.6

Caracteristici fizico-mecanice înainte și după reutilizare

CARACTERISTICI	Mortar asfaltic vârlurit	Beton asfaltic după reutilizare
Bitum, %	10,0	7,0
Punct de înmuiere, I.E. în °C	22,0	45,0
Rezistența la compresiune, la 22°C, în daN/cm <sup>2</sup>	15,0	32,0
Densitate aparentă, în g/cm <sup>3</sup>	2,2	2,25

În cazul când mixtura asfaltică rezultată din decapare este un beton asfaltic cu agregat mărunț sărac în criblură, cu un conținut de 8,0 % bitum, s-a considerat că soluția cea mai bună, constă în amestecarea cu 10,0 % criblură și trecerea prin uscător. Dozajul adoptat:

Beton asfaltic (din decapare) cu 8,0 % bitum	90,0 %
Criblură 3...8 mm	<u>10,0 %</u>
	100,0 %

Mixtura asfaltică rezultată este tot un beton asfaltic cu agregat mărunț sărac în criblură, dar cu un procent de 7,2 % bitum, compoziția medie fiind:

Criblură 3...8 mm	35,0 %
Nisip + filer	53,8 %
Bitum	<u>7,2 %</u>
	100,0 %

Mixtura asfaltică rezultată prin decapare este de asemenea un beton asfaltic cu 8,0 % bitum și se urmărește utilizarea ei la producerea unor amobate bituminoase pentru benzi de încadrare sau pentru beton asfaltic deschis necesar executării unui strat de legătură. În acest caz s-a adoptat următorul dozaj:

Beton asfaltic vârlurit cu 8,0 % bitum	55,0 %
Agregat 8...25 mm (cribluri sau pietriș)	<u>45,0 %</u>
	100,0 %

Se obține astfel o mixtură asfaltică al cărui conținut de bitum final este 4,4 %.

Procesul tehnologic aplicat în instalația AUC, cu

încălzire în echicurent nu prezintă complicații deosebite și a cuprins următoarele faze mai importante:

- după stabilirea dozajului, se cântărește mixtura asfaltică rezultată din decapare și separat agregatul de aport, care poate fi nisip, criblură sau pietriș;

- se omogenizează la masa de amestec cei doi componenți și se alimentează cupole reci ale uscătorului, astfel încât temperatura la ieșirea din uscător să fie cuprinsă între 160... 170°C. Este foarte important să se respecte această temperatură, deoarece permite o bună desfacere, omogenizare și o anrobare completă a agregatelor adăugate în plus.

La temperaturi mai scăzute 100...130°C, nu are loc o bună omogenizare și peliculizare a bitumului pe agregatul de aport.

Pentru a evita fenomenele nedorite ca de exemplu arderea mixturii asfaltice la trecerea prin uscător, se recomandă fie umezirea ei, fie a agregatelor, de la caz la caz.

Mixtura asfaltică astfel rezultată din uscător trece direct la descărcarea în autobasculante, întrucât în malaxor nu se mai amestecă nici cu filer și nici cu bitum.

Se transportă la locul de punere în operă, se agterne caldă pe suprafața în prealabil pregătită și se compactează în mod obișnuit.

Din constatările făcute în timpul experimentării se menționează ca mixtura asfaltică să fie folosită cât mai repede după decapare, deoarece vara, pe timp calduros, fâșiile decapate se aglomerează și materialul trebuie fărâmițat înainte de a fi introdus în uscător.

Agregatul de aport se adaugă pentru a modifica în general compoziția granulometrică a mixturii asfaltice rezultate din decapare, în consecință el nu scumpește costul tonnei de mixtură asfaltică obținută, întrucât din 1 t îmbrăcăminte bituminosă decapată, plus 0,4 t agregat de adaos, rezultă 1,4 t mixtură asfaltică nouă.

#### 6.2.2.1. Rezultatele obținute pe sectoarele experimentale.

În vederea verificării pe teren a soluțiilor studiate, s-au experimentat și executat mai multe sectoare experimentale.

Astfel pe drumul național 6 (E 94) Lugoj-Timișoara, la km 510+900 - 511+000, s-a realizat din mîntură asfaltică rezultată din decapare un strat de uzură din beton asfaltic cu agregat mîrunt bogat în criblură, cu următoarea compoziție:

Criblură 3...16 mm	52,5 %
Nisip + filer	40,0 %
Bitum	<u>7,3 %</u>
	100,0 %

Sectorul realizat a fost urmărit în cursul anilor 1969-1975 și s-a prezentat bine sub circulație. Aspectul rugos al sectorului examinat se poate vedea în fig.6.7.

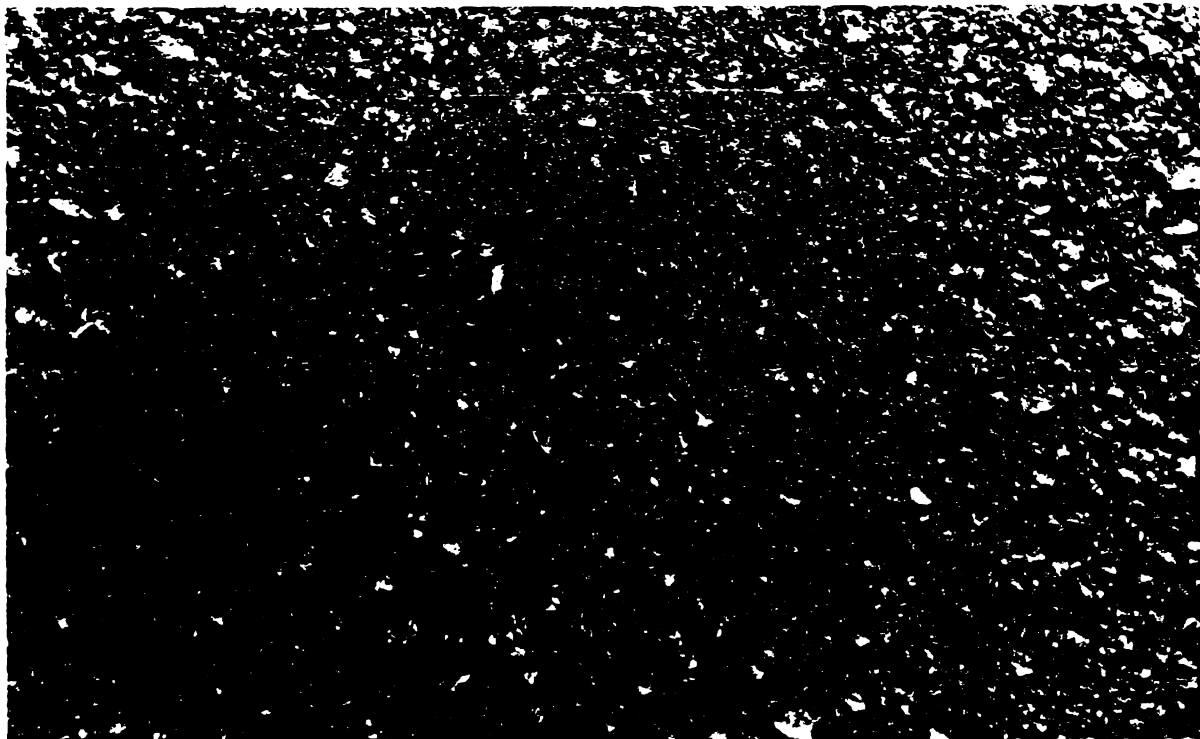


Fig.6.7. Aspectul rugos al sectorului

Caracteristicile fizico-mecanice au fost corespunzătoare.

Rezistența la compresiune la 22°C avînd valori cuprinse între 30...40 daN/cm<sup>2</sup>, iar la 50°C, 7...9 daN/cm<sup>2</sup>.

În anul 1970 s-a executat un sector tot pe drumul național 6 (E 94), la km 502 + 550 - 502 + 750, care s-a prezentat foarte bine de-a lungul anilor pînă la intrarea în uzură, pe sectorul respectiv s-au executat 4 benzi de circulație.

De asemenea, tot în anul 1970 s-a trecut la reutilizarea îmbrăcăminților bituminoase vechi, prin reciclarea lor

și prepararea în instalațiile ANO, a unor amrobate bituminose pentru benzi de încadrare și pentru strat de legătură pe drumul național 7 Deva - Arad, km 537+000 și 538+000.

Rezultatele obținute pe probele preluate din aceste sectoare, precum și comportarea lor corespunzătoare timp de 7 ani de la experimentare, prezintă premisele aplicării tehnologiei propuse, datorită eficienței economice ce se obține, permițând refolosirea unui material valoros din punct de vedere al compoziției sale, printr-o tehnologie destul de ușor de realizat și aplicat.

Concluzii. Datorită faptului că sectoarele văturate pot să afecteze sectoare de lungimi diferite de la câteva sute de m, la câțiva km, se recomandă ca mixturile asfaltice rezultate din decapare, să fie utilizate într-un interval scurt de timp, la producerea unor mixturi asfaltice pentru reparații, pentru benzi de încadrare, strat de legătură, etc., în general mixturi asfaltice mai ușor de realizat, ale căror zone granulometrice sînt mai largi și mai ales datorită faptului că acestora li se cer condiții de calitate mai puțin severe decât celor folosite în stratul de uzură.

### 6.3. Reutilizarea îmbrăcămintelor bituminose uzate

Criza de energie a readus în actualitate problema reutilizării îmbrăcămintelor bituminose vechi și uzate și a impus găsirea unor noi soluții în acest scop, considerînd că se pot obține astfel economii de agregate minerale și mai ales de lianți bituminoși.

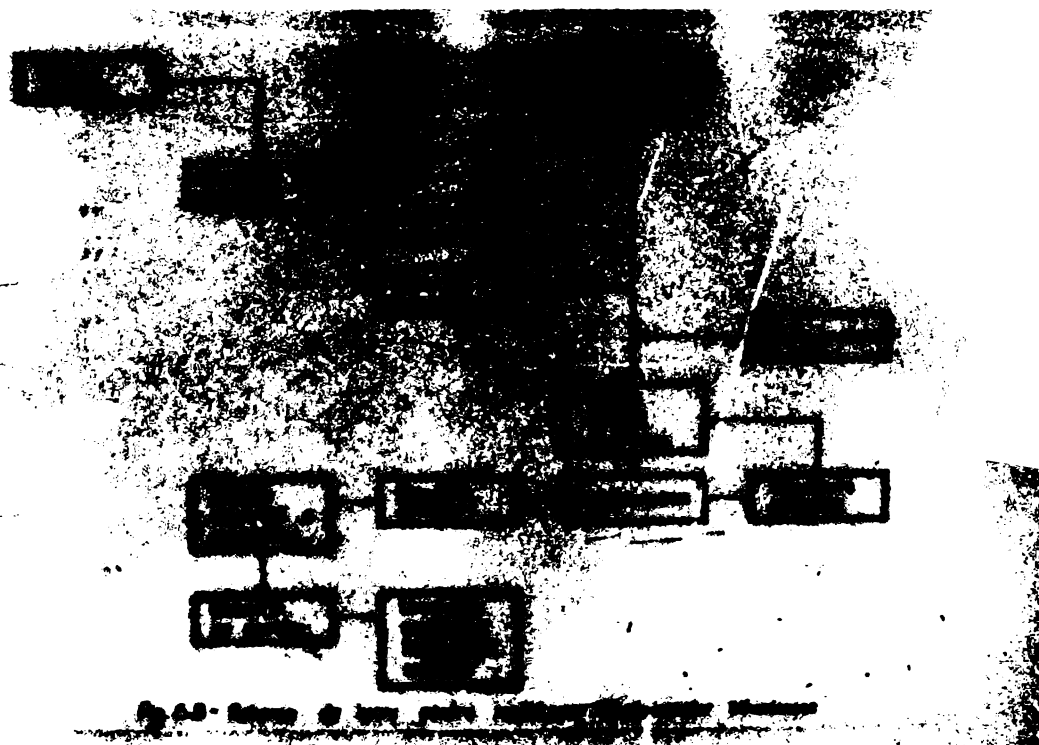
Cercetări privind refolosirea mixturilor asfaltice rezultate din decapări se desfășoară astăzi în toate țările, după cum reiese din literatura de specialitate /20/ /24/ /57/ /80/ /238/ /269/.

În acest domeniu cercetările și experimentările efectuate de autoare în anii 1969-1970, pentru mixturile asfaltice văturate realizate cu nisip bituminos, îi confirmă prioritatea în această problemă /30/ /33/ /46/.

La noi în țară posibilitatea refolosirii mixturilor asfaltice uzate și îmbătrînite a fost abordată și studiată de

drumuri, sub conducerea prof.dr.ing.Stelian Dorobanța și prezentată la a V-a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri, în decembrie 1978 /80/.

Pornind de la aceste premise autoarea și-a propus să utilizeze orice mixtură asfaltică rezultată din decapare. Schema de lucru adoptată este prezentată în fig.6.8.



Fazele mai importante de studiu în acest sens au fost următoarele:

- încercări de laborator asupra mixturii asfaltice decapate, pentru a determina conținutul de bitum, compoziția granulometrică, punctul de înmuiere al bitumului extras, rezistența la compresiune și stabilitatea marshall;

- în funcție de rezultatele obținute, s-a adăugat la mixtura veche încălzită și omogenizată o cantitate de 0,8... 1,0 % bitum tip D 80/120 (procentul de bitum se raportează la masa mixturii asfaltice) ;

- după completa omogenizare a bitumului adăugat s-au determinat din nou caracteristicile fizico-mecanice ale mixturii asfaltice astfel obținute, rezultatele comparative fiind trecute în tabelul 6.7.



Tabel 6.7

CARACTERISTICI	Mixtura asfaltică	
	uzată	uzată +1 % bitum D 80/ 120
Bitum, în %	4,0	4,8
Punct de înmuiere, I.B. în °C	70,0	58,0
Rezistența la compresiune, în daN/cm <sup>2</sup>		
la 22°C	51,2	38,2
la 50°C	15,4	12,2
Stabilitatea Marshall la 60°C, în daN	1410,0	1000,0
Indice de curgere (fluaaj), mm	3,0	3,5

După cum se poate urmări din tabelul 6.7 prin adaosul de 1,0 % bitum D 80/120 s-a reușit să se îmbunătățească sensibil performanțele fizico-mecanice ale noii mixturi asfaltice preparate, procesul putând fi considerat o reîntinerire a liantului, concomitent cu îmbunătățirea rezistenței la compresiune și a stabilității Marshall.

În cursul anului 1981 s-a efectuat o experimentare pe teren, preparându-se în malaxor dintr-o îmbrăcămintă bituminoasă veche o nouă mixtură asfaltică, ce a fost folosită pentru repararea unor degradări pe DR 7 Bebeș-Deva, km 361+816 dr. și 361+823 dr. Sectorul experimental se prezintă în exploatare sub influența traficului urmând să fie verificat după trecerea iernii 1981-1982.

#### 6.4. Concluzii și eficiența economică

Studiile și experimentările efectuate conduc la concretizarea câtorva concluzii mai importante și anume:

- se pot refolosi atât mixturile asfaltice vâlvurite, cât și cele uzate și îmbătrânite, prin adoptarea unor soluții tehnice adecvate;
- cel mai ușor caz de reutilizare este cel al mixturilor asfaltice decapate din sectoarele vâlvurite, al căror liant nu este îmbătrânit, fapt ce contribuie la o decapare rapidă și ușoară, vara, pe timp călduros, cu lama autogrederului. Tehnologia aplicată nu implică modificări ale tehnologiei existente, instalațiile de producere a mixturilor asfaltice cu încălzire în echicurent pot fi folosite cu succes în acest scop;

- reutilizarea mixturilor asfaltice vechi, usate și îmbătrânite pune probleme mult mai dificile, întrucât îmbrăcămintea bituminoasă rezultată din decapare trebuie fărâmițată cu utilaje adecvate, înainte de introducerea ei în instalația de preparare. De asemenea trebuie să se adauge bitum pentru corectarea caracteristicilor liantului. îmbătrânit.

Avantajele reutilizării mixturilor asfaltice pot fi formulate astfel:

- se refolosesc agregatele care intră în șerietul mineral al acestora, ceea ce conduce la economisirea resurselor existente;

- rezultă economii mari de bitum prin faptul că prin reutilizare în instalații se poate micșora consumul de bitum necesar pentru prepararea unei noi mixturi asfaltice până la 75 % ;

- se pot refolosi îmbrăcămintele bituminoase vechi, soluție mai eficientă decât cea folosită în prezent și care consta în acoperirea cu un nou strat de uzură de grosime mică, în care în mod obișnuit se transmit fisurile din vechea îmbrăcămintă;

- se poate reutiliza numai partea degradată a unei îmbrăcăminți, de exemplu banda pentru circulația lentă, dacă cea pentru traficul rapid este în bună stare de funcționare.

Studiile și experimentările efectuate până în prezent trebuie continuate și amplificate în vederea adoptării celei mai eficiente soluții pentru reutilizare.

Cele mai bune rezultate autoarea le-a obținut prin reutilizarea mixturilor asfaltice vârlurite realizate cu nisip bituminos, pentru care a elaborat tehnologia respectivă și a efectuat experimentări pe scară largă.

În ceea ce privește problema reutilizării îmbrăcăminților vechi, degradate, consider că în prima fază acestea ar putea fi folosite mai ales pentru repararea degradărilor îmbrăcăminților bituminoase, pentru realizarea benzilor de încadrare și pentru straturi de legătură, întrucât straturile de uzură din betoane asfaltice trebuie să îndeplinească unele condiții de calitate superioare, din punct de vedere al omogenității, rezistenței la acțiunea factorilor de climă, etc., condiții care în etapa actuală sînt mai greu de realizat, mai ales prin faptul că nu sînt studii sistematice privind fenomenul de comportare în timp al mixturilor asfaltice vechi și îmbătrânite.

## CONCLUZII GENERALE

Lucrarea de doctorat tratează contribuțiile aduse la studierea și realizarea unor tipuri de mixturi asfaltice eficiente, pentru îmbrăcăminți rutiere bituminoase, pentru a căror finalizare am desfășurat de-a lungul anilor un foarte mare volum de studii și cercetări de laborator, sectoare experimentale, introducerea unor metode noi de proiectare a mixturilor asfaltice, aparatură de laborator, precum și urmărirea comportării în exploatare a diverselor soluții aplicate.

### 1. În domeniul realizării și testării unor aparate noi de laborator pentru studierea caracteristicilor criblurilor și a filerelor.

1.1. Realizarea, experimentarea și omologarea prototipului aparatului pentru determinarea rezistenței la uzură în anul 1974 și stabilirea parametrilor de experimentare pentru fiecare sort de criblură, au contribuit la posibilitatea aprecierii mai complete a calității criblurilor. Prin cunoașterea rezistenței la uzură a criblurilor, acestea se pot folosi diferențiat pentru producerea mixturilor asfaltice în funcție de stratul bituminos în care urmează a fi utilizate eliminând de la început criblurile necorespunzătoare, a căror rezistență la uzură, determinată cu acest aparat este mai mare de 25 %.

Urmare cercetărilor întreprinse de autoare, aparatele au fost introduse în dotarea laboratoarelor de specialitate din țară, prin realizarea lor de către atelierul școlii al Institutului Politehnic "Traian Vuia" Timișoara.

1.2. Caracterizarea suprafeței specifice a filerului se poate face prin folosirea aparatului tip centrifugă realizat de asemenea ca urmare colaborării cu Institutul Politehnic "Traian Vuia". Aparatul permite o estimare rapidă a suprafeței specifice a acestora. Consider că ar putea fi extins de asemenea în dotarea laboratoarelor de specialitate.

### 2. Referitor la proiectarea mixturilor asfaltice.

2.1. Rezolvarea proiectării mixturilor asfaltice cu ajutorul programului de calcul OPTIMIX și aplicarea lui în

perioada 1974-1980 a permis elaborarea unei game largi de doze, foarte rapid, cu ajutorul calculatorului, (patru variante se pot obține în aproximativ două minute) metoda fiind rapidă și eficientă.

Folosirea acestui program de calcul a facilitat obținerea în perioada 1974...1980 a unor soluții pentru o gamă foarte diversificată de mixturi asfaltice, ca: mortare asfaltice, betoane asfaltice pentru strat de uzură bogate și sărace în criblură, betoane asfaltice rugoase, betoane asfaltice pentru strat de legătură, anrobate bituminoase cu agregate locale de balastieră, carieră, cu adaos de zgură granulată etc.

Programul OPTIMIX a permis exploatarea și a unei noi soluții și anume aceea de a realiza un beton asfaltic cu agregat mărunț bogat în criblură prin excluderea sortului 3...8 mm, necorespunzător ca granulozitate și impurificat cu argilă, putând obține o mixtură asfaltică numai cu criblură 8...16 mm și cu performanțe fizico-mecanice superioare, după cum se poate urmări în tabelul 2.2. și 2.3. Rezultatele obținute au fost publicate și comunicate la RILEM-Deuxième colloque international consacré aux Essais sur bitumes et matériaux bitumineux-Budapesta 1975-, fiind primit deosebit de favorabil de literatura de specialitate și menționat în Bulletin de liaison 31/1976.

2.2. O perfecționare a programului OPTIMIX a fost obținută prin realizarea în anul 1980 și finalizarea în 1981 a aplicației informatice PROMIX, care permite optimizarea proiectării mixturilor asfaltice după următoarele criterii:

- . minimizarea costului unitar;
- . minimizarea conținutului de liant bituminos;
- . minimizarea sau maximizarea conținutului dintr-un agregat mineral dat.

Folosind programul PROMIX, specialiștii din laborator pot alege dintr-o foarte largă gamă de soluții furnizate de calculator, pe cele care corespund cel mai bine condițiilor locale, funcție de agregatele existente în stoc, proporții impuse pentru diferite sorturi etc. Apreciez pe baza experimentărilor efectuate că aplicația PROMIX este deosebit de eficientă și utilă și că se încadrează armonios în sistemul informațional - informatic, în cadrul subsistemului calculelor tehnico-ingine-

rești din domeniul rutier.

Aplicația informatică PROMIX a fost generalizată pe țară cu actul Direcției Drumurilor T 92/10830 din dec.1980.

Consider că folosirea aplicațiilor informatice pentru proiectarea mixturilor asfaltice reprezintă soluții moderne și utile pentru specialiștii care lucrează în acest domeniu.

Exploatarea acestor aplicații contribuie la realizarea unei eficiențe directe exprimată în procente față de valoarea producției de mixturi asfaltice de 0,1 % în cazul aplicației PROMIX.

3. În domeniul studierii mixturilor asfaltice realizate cu nisip bituminos urmare cercetărilor realizate rezultă câteva concluzii privind posibilitatea utilizării lor și în continuare, în mod diferențiat la anumite lucrări.

3.1. Am elaborat o metodă științifică și rațională pentru determinarea necesarului optim de liant al acestora, luând în considerare suprafața specifică a nisipului din nisipul bituminos, .

În acest scop am determinat prin studii și cercetări de laborator, corelate cu experimentările de pe teren, valorile modulilor de conținut  $k$ , pentru fiecare tip caracteristic de mixtură asfaltică ce se poate realiza cu nisip bituminos, și am propus următoarele valori ale modulilor:

- $k = 4,25 \dots 4,50$  pentru betonul asfaltic utilizat în stratul de uzură;
- $k = 3,50$  pentru betoanele asfaltice utilizate în stratul de legătură;
- $k = 3,50 \dots 3,75$  pentru anrobatele bituminoase.

Metoda de elaborare a dozajelor pentru mixturile asfaltice a fost brevetată ca inovație în anul 1967, brevet de inovație 113/1967, publicată în reviste de specialitate, Revista transporturilor 12/1967, în revista Construcții în Transporturi, vol.XVII 1969 și generalizată pe țară cu actul Direcției tehnice MTTc nr. 83183 din 2 aprilie 1968, fiind folosită în laboratoarele de specialitate.

Pe baza studiilor întreprinse în teză, corelate cu rezultatele de pe cei 700 km de drumuri pe care s-au realizat îmbrăcămînți bituminoase cu nisip bituminos, se confirmă efi-



ciența metodei propuse și valabilitatea modurilor de conținut adoptați.

Dovedindu-și eficiența, metoda a fost adoptată și pentru anrobatele și mixturile asfaltice realizate cu bitum D 80/120.

3.2. Studiile întreprinse de-a lungul anilor au permis formularea unor propuneri privind corectarea raportului bitum natural/bitum dur de petrol și modificarea acestuia de la 80/20 la 75/25, pentru anrobatele bituminoase în scopul măririi rezistențelor mecanice propunere acceptată și inclusă în normativ, de asemenea și lărgirea zonelor granulometric.

3.3. Urmare volumului mare de studii, cercetări și rezultate obținute prin realizarea pe drumurile naționale din raza Direcției drumuri și poduri Timișoara a 700 km de îmbrăcămînți bituminoase cu nisip bituminos, cu rezultate bune în exploatare într-o perioadă de 15...20 ani, consider necesar ca în actuala etapă caracterizată mai ales prin penuria de lianți bituminoși să se reia problema folosirii nisipului bituminos mai ales pentru realizarea îmbrăcămînților pentru drumurile din clasa tehnică IV și V pentru drumurile de interes local și comunale, pentru străzi în orașe și comune, în special pentru județele situate în apropierea zăcămintelor de nisipuri bituminoase.

3.4. Pentru evitarea vălurilor, care pot afecta mai ales stratul de uzură, din cercetările întreprinse reiese necesitatea de a acorda o atenție deosebită realizării unor betoane asfaltice pentru acest strat, în componența cărora procentul de granule concasate cu dimensiunea peste 3 mm să fie mărit de la 20...30 % la 35...45 %, fapt ce contribuie considerabil la creșterea stabilității mixturilor asfaltice.

3.5. Cercetările întreprinse de autoare evidențiază calitățile speciale ale bitumului din nisipul bituminos, acesta fiind total lipsit de parafină și mai ales foarte rezistent la îmbătrânire în timp.

3.6. Este necesar să se folosească și în viitor nisipurile bituminoase din bazinul Derna-Tătăruș, rezervele estimate (prin studiile geologice întreprinse în acest scop)



reprezintă aproximativ 12.000.000 t, chiar dacă numai 100.000 t ar fi folosite anual la executarea îmbrăcămintilor bituminoase, s-ar putea înlocui aproximativ 10.000 t bitum.

Sînt necesare în continuare studii și cercetări privind utilizarea nisipurilor bituminoase în instalații tip uscător-malaxor cu productivitate sporită, ceea ce ar conduce la creșterea ritmului de realizare a acestor îmbrăcămîți bituminoase.

Menționez că pe plan internațional s-a înființat Comitetul pentru nisipuri bituminoase în cadrul OCDE, care studiază posibilitatea folosirii acestora, chiar în condițiile în care conținutul lor de liant bituminos este mult mai scăzut și anume 5...8 % /18/ /56/.

4. În domeniul realizării mixturilor asfaltice cu granulat am întreprins studii și cercetări de laborator care au pus în evidență caracteristicile fizico-mecanice ale granulatului și care au atestat posibilitățile de folosire ale acestuia ca înlocuitor al criblurilor.

4.1. Caracteristica cea mai importantă pusă în evidență în urma cercetărilor întreprinse este legată de densitatea aparentă a acestor mixturi asfaltice, care este cu 15...40 % mai mică decît a mixturilor asfaltice clasice realizate cu cribluri, fapt ce conduce la reducerea consumului de mixtură asfaltică pe  $m^2$  și km și implicit la economii de bitum.

4.2. Incercările fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice cu granulat pun în evidență calitățile deosebite ale acestora din punct de vedere al stabilității la temperatura de  $60^{\circ}C$  și a rezistențelor la compresiune la diverse temperaturi.

4.3. Incercările la obosală la deformare constantă atestă că durata lor de exploatare este comparabilă cu cea a mixturilor asfaltice realizate cu cribluri și în consecință creează premise favorabile folosirii acestora, în locurile lipsite de cribluri și unde există posibilități de aprovizionare cu acest agregat.

4.4. Modulii de rigiditate studiați pentru acest tip de mixtură asfaltică arată o comportare reologică bună atît la temperaturi scăzute cînd se manifestă preponderent comportarea

elastice ce se caracterizează prin valori ridicate ale modurilor de rigiditate, cât și la temperaturi ridicate cînd se manifestă preponderent comportarea vîscoasă și deci un conținut de valori mai scăzute ale modurilor de rigiditate.

4.5. Prin reducerea densității aparente a mixturilor asfaltice realizate cu granolit, rezultă economii de bitum care se înscriu între 8,8 t/km și 12,3 t/km, comparativ cu același tip de îmbrăcăminte bituminosă, dar realizată cu cribluri. Tabel 4.25. În concluzie folosirea acestui tip de mixturi asfaltice conduce la eficiență economică și la economii de bitum, deci și din acest punct de vedere se constată că prezintă avantaje în actuala conjunctură.

4.5. Noutatea soluției este confirmată prin acordarea de către Oficiul de standarde, invenții și mărci (O.S.I.M.) a brevetului de invenție 62656/1977 pentru această temă.

5. În domeniul realizării mixturilor asfaltice cu conținut redus de bitum și filer concluziile ce se desprind din studiile întreprinse sînt formulate în continuare.

5.1. Cercetările realizate atestă posibilitatea obținerii unor betoane asfaltice cu agregat mărunț bogate în criblură, cu un conținut de bitum între 5,5...6,2 %, fiind necesar însă să se revadă și concepția privind conținutul de părți fine, respectiv de filer, care trebuie redus proporțional, concomitent cu creșterea proporției de criblură cu dimensiuni peste 3 mm.

5.2. Din încercările întreprinse privind fenomenul de oboseală în acest caz, rezultă o comportare bună la deformare constantă, comparativ cu a probei etalon.

5.3. Referitor la modulii de rigiditate ai acestor tipuri de mixturi asfaltice cu conținut redus de bitum au fost studiați la diferite temperaturi și timpi de încălzire, evidențiindu-se influența volumului de goluri asupra acestora. Printr-o compactare energetică se pot obține valori ale modurilor de rigiditate, comparabile cu ale probei etalon.

5.4. Din punct de vedere al execuției straturilor bituminoase realizate cu un conținut redus de bitum și filer se impune necesitatea așternerii acestora cu ajutorul utilajelor de mare productivitate, repartizatoare-finisoare, iar printr-o compactare energică folosind atelierele de compactare să se poată realiza o densitate aparentă maximă și un volum de goluri cât mai mic (3...5 %) în cazul stratului de uzură, fapt ce va determina o bună comportare în exploatare.

5.5. Din punct de vedere al eficienței economice se constată că rezultă economii importante la bitum și filer, exprimate la 1000 t mixtură asfaltică, întrucât prin scăderea conținutului de liant de la 7,0 % la 6,0 % rezultă o economie de 10 t bitum, iar prin reducerea procentului de filer de la 11,0 % la 8,0 %, rezultă 30 t filer economie.

In capitolul 6 al tezei de doctorat Reutilizarea îmbrăcăminților bituminoase, concluziile care rezultă din cercetările întreprinse sînt prezentate în continuare.

6.1. Am studiat și aprofundat pentru prima dată în țară în anul 1969 cauzele care au condus la apariția sectoarelor vălurite pe unele drumuri naționale cu îmbrăcăminți bituminoase realizate cu nisip bituminos, arătînd cauzele care au condus la apariția acestor defecțiuni și care mi-au permis să elaborez procedeul de refolosire a acestora.

6.2. Am elaborat o tehnologie originală privind decaparea și refolosirea mixturilor asfaltice din sectoarele vălurite, al căror liant nu este îmbătrînit, fapt ce a permis decaparea rapidă și eficientă, apoi corectarea compoziției acestora prin aport de agregate, criblură și nisip și obținerea unui nou tip de mixtură asfaltică prin trecerea amestecului realizat prin uscătorul unei instalații de preparare a mixturilor asfaltice, cu încălzire în echicurent.

6.3. Rezultă ca o concluzie importantă faptul că am studiat încă în anul 1969 această problemă, pentru noutatea soluției aplicate mi s-a acordat certificatul de raționalizare 15/1969, iar rezultatele studiilor au fost publicate în Revista Construcției în Transporturi vol.XXV 1971.

6.4. In literatura de specialitate această problemă a reutilizării mixturilor asfaltice este semnalată abia în anul 1978 în Revue Generale des Routes et Aerodromes 568/1980 și în Bulletin de liaison 105/1980, fapt ce confirmă prioritatea concepției originale a autoarei în acest domeniu.

6.5. In ceea ce privește posibilitatea reutilizării mixturilor asfaltice vechi, din studiile întreprinse de autoare, rezultă că aceasta pune probleme mult mai dificile, întrucât după decapare, acestea trebuie fărâmițate cu utilaje adecvate, înainte de introducerea lor în uscătorul instalației și de asemenea trebuie să se corecteze caracteristicile liantului îmbătrânit, prin adaos de bitum cu vâscozitate mai mică.

Teza de doctorat, prin tematica abordată, a adus o serie de contribuții originale la studierea și realizarea unor noi tipuri de mixturi asfaltice, prin punerea la punct a unor aparate noi de laborator, prin introducerea metodelor moderne de proiectare a mixturilor asfaltice folosind aplicațiile informatice OPTIMIX și PROMIX, prin studierea mixturilor asfaltice realizate cu nisip bituminos și investigarea posibilităților de folosire și în viitor a acestora, prin realizarea mixturilor asfaltice cu densitate redusă cu granulat, prin punerea la punct a tehnologiei de reutilizare a mixturilor asfaltice din sectoarele vălurite, încă în anul 1969, în timp ce în literatura de specialitate această problemă este abordată abia în anul 1978.

Rezultatele tezei au fost valorificate prin publicarea în reviste de specialitate și prin aplicarea lor în producție.

SINTEZA PRINCIPALELOR CONTRIBUTII ORIGINALE  
ALE TEZEI DE DOCTORAT, CONCLUZII GENERALE SI  
MODUL DE VALORIFICARE A REZULTATELOR OBTINUTE

Teza de doctorat prin tematica abordată prezintă contribuțiile aduse de autoare la studierea și realizarea unor noi tipuri de mixturi asfaltice eficiente, pentru îmbrăcăminti rutiere bituminoase, pe baza cercetărilor proprii întreprinse în laborator și corelate cu rezultatele datelor experimentale, de pe sectoarele executate de-a lungul anilor și care au permis obținerea unor rezultate superioare, în ceea ce privește durata de exploatare a îmbrăcămintelor bituminoase, în condițiile creșterii ascendente a traficului, urmare firească a dezvoltării economiei naționale.

Contribuțiile originale mai importante cuprinse în teză pot fi sintetizate astfel:

La capitolul 2, în domeniul îmbunătățirii performanței  
mixturilor asfaltice am inițiat realizarea, aplicarea și testa-  
rea de aparatura de laborator pentru încercarea materialelor  
de drumuri, astfel:

2.1. Pentru cunoașterea mai aprofundată a comportării la uzură a criblurilor am realizat, experimentat și omologat prototipul aparatului Los Angeles în anul 1974 (act de omologare 120/1066 din 25 decembrie 1974). Am stabilit parametrii de efectuare a încercărilor pentru fiecare sort de criblură folosit în tehnica rutieră la producerea mixturilor asfaltice și am precizat pe baza experimentărilor efectuate valorile maxime admise, întrucât pînă în 1980, aceste valori nu au fost precizate prin standarde, iar la elaborarea standardului 730-81 agregate naturale pentru drumuri-metode de încercare n-au luat în considerare propunerile făcute în acest scop. Urmare cercetărilor întreprinse de autoare, aparatele au fost introduse în dotarea laboratoarelor de specialitate din țară, prin realizarea lor de către atelierul școală al Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara.

Prin cunoașterea rezistenței la uzură a criblurilor, acestea se pot folosi diferențiat pentru producerea mixturilor



asfaltice în funcție de stratul bituminos în care urmează a fi utilizate, eliminând de la început criblurile necorespunzătoare, a căror rezistență la uzură, determinată cu acest aparat este mai mare de 25 %.

Rezultatele studiilor întreprinse în acest domeniu au fost publicate în Buletinul rutier 1/1976.

2.2. Am contribuit la realizarea în premieră pe țară a unui aparat tip centrifugal fig.2.2 pentru determinarea rapidă a suprafeței specifice a filerului, aparat ce a permis o cunoaștere mai completă a filerelor de calcar ce se produc și folosesc la noi în țară, în vederea elaborării mai judicioase a dozajelor pentru mixturile asfaltice. Aparatul a intrat în dotarea laboratorului Direcției drumuri și poduri Timișoara.

Tot în domeniul proiectării mixturilor asfaltice am introdus următoarele:

2.3. Am studiat, experimentat și introdus în premieră pe țară o metodă modernă de elaborare a dozajelor pentru mixturile asfaltice prin folosirea programului de calcul OPTIMIX și extinderea acestui sistem automat de calcul pentru betoanele asfaltice cu agregat mărunț bogate și sărace în criblură utilizate în stratul de uzură al îmbrăcăminților bituminoase, betoanele asfaltice deschise cu pietriș și criblură folosite în stratul de legătură, de asemenea pentru anrobatele bituminoase necesare execuției îmbrăcăminților bituminoase ușoare etc. Rezultatele obținute, au fost comunicate la RILEM-Deuxième colloque international consacré aux Essais sur bitumes et matériaux bitumineux Budapesta 1975 fiind primite deosebit de favorabil de literatura de specialitate și menționate în Bulletin de liaison nr.81/1976.

2.4. Am contribuit la realizarea și implementarea aplicației informatice PROMIX, în anul 1980 care reprezintă o metodă mai perfecționată de proiectare a mixturilor asfaltice, urmărind proiectarea acestora în condițiile obținerii unor consumuri de materiale și energie cât mai reduse, folosind drept criterii minimizarea costului unitar total al tonci de mixtură asfaltică, minimizarea conținutului de liant, minimizarea conținutului procentual al unui sort de agregat mineral deficitar, sau maximizarea sortului excedentar. Eficiența economică directă,



exprimată în procente față de valoarea producției de mixturi asfaltice calculată este  $E_d = 0,1 \%$ , iar eficiența economică indirectă  $E_i = 1,6 \%$ .

Prin implementarea aplicației informatice PROMIX am obținut rezultate pozitive în elaborarea dozajelor, iar programul a fost generalizat pe țară cu actul Direcției drumurilor T 92/10830 din dec.1980.

La capitolul 3, contribuții la studierea și realizarea mixturilor asfaltice cu nisip bituminos am realizat următoarele:

3.1. Am elaborat o metodă științifică și rațională pentru determinarea necesarului optim de liant al acestora, luând în considerare suprafața specifică a nisipului din nisipul bituminos, metoda fiind brevetată ca inovație, certificat de inovator 113/1967 și generalizată pe țară. În cadrul acestei teme am determinat prin studii și cercetări de laborator, corelate cu experimentările de pe teren, valorile modulelor de conținut K, pentru fiecare tip caracteristic de mixtură asfaltică: mortar asfaltic, beton asfaltic cu agregat mărunt sărac în criblură, beton asfaltic deschis pentru strat de legătură și anrobate bituminocase.

Metoda de elaborare a dozajelor pentru mixturile asfaltice executate cu nisip bituminos a fost publicată în revista transporturilor 12/1967, în Revista Construcției în Transporturi, vol.XVII/1969 și în Indrumătorul pentru laboratorul șantierului de drumuri, Editura tehnică 1971 fiind generalizată pe țară și extinsă la toate tipurile de mixturi asfaltice realizate cu bitumul pentru drumuri D.

De asemenea rezultatele cercetărilor întreprinse au fost comunicate la al XV-lea Congres Mondial de drumuri Mexico 1975, fiind incluse în raportul național la problema VIII. Routes économiques-Routes à faible circulation.Mexico octobre 1975.

3.2. Am stabilit raportul optim între bitumul natural din nisipul bituminos și bitumul dur de adaos, în scopul obținerii rezistențelor maxime ale anrobateelor bituminocase, propunere ecceptată de I.C.P.T.T. și introdusă în noul normativ.

3.3. Urmare studierii comportării în exploatare a îmbrăcăminților bituminoase ușoare, realizate din anrobate cu nisip bituminos am făcut propuneri pentru lărgirea sonclor granulometrice, care de asemenea au fost incluse în normativ.

3.4. Pe baza volumului mare de studii, cercetări și experimentări obținute ca urmare realizării pe drumurile naționale din raza Direcției drumuri și poduri Timișoara a 700 km îmbrăcăminți bituminoase (folosind nisipul bituminos din bazinul Derna-Tătăruș), cu o comportare bună de-a lungul anilor, consider necesar ca în etapa actuală caracterizată mai ales prin penuria de lianți bituminoși să propun reluarea problemei folosirii nisipurilor bituminoase mai ales pentru realizarea îmbrăcăminților pentru drumurile din clasa tehnică IV și V, pentru drumurile de interes local și comunale, pentru asfaltarea străzilor în orașe și comune.

3.5. În scopul evitării apariției vâlurilor, cercetările efectuate am evidențiat necesitatea de a acorda o atenție deosebită realizării unor betoane asfaltice pentru stratul de uzură în componența cărora procentul de granule concasate cu dimensiunea peste 3 mm să fie mărit de la 20...30 % la 35...45 %, ceea ce contribuie la creșterea stabilității amestecurilor asfaltice.

3.6. Este posibil și necesar să se folosească și în viitor nisipurile bituminoase din bazinul Derna-Tătăruș, întrucât rezervele estimate prin studiile geologice întreprinse în acest scop atestă că ele reprezintă aproximativ 12.000.000 t chiar dacă numai 100.000 t ar fi folosite anual la executarea îmbrăcăminților bituminoase, s-ar putea înlocui astfel aproximativ 10.000 t bitum.

3.7. Studiile întreprinse de autoare arată că bitumul din nisipul bituminos este un liant cu calități deosebite, total lipsit de parafină și care îmbătrânește foarte lent în timp fapt ce-i conferă caracteristici superioare în exploatare.

La capitolul 4 în domeniul realizării amestecurilor asfaltice cu granulat am adus contribuții originale importante, întrucât acestea reprezintă o noutate în sectorul rutier din țara noastră fiind studiate pentru prima dată în anul 1976.

4.1. Pentru realizarea amestecurilor asfaltice cu granu-

lit am întreprins studii și cercetări de laborator pentru a determina caracteristicile granului, comportarea la îngheț-dezghet, rezistența la uzură, am efectuat încercări privind fenomenul de adezivitate bitum-granulit și am studiat posibilitățile de mărire ale adezivității.

4.2. Am stabilit parametrii de experimentare, necesarul de liant și de granulit pentru betoane asfaltice cu granulit folosite în stratul de uzură și de legătură, precum și pentru anrobate bituminoase.

4.3. Încercările fizico-mecanice pentru mixturile asfaltice realizate cu granulit pun în evidență calități superioare ale acestora din punct de vedere al stabilității și a rezistențelor tabel 4.12.

4.4. Studiile la oboseală efectuate cu aparatul Guericke atestă că durate de exploatare exprimate prin numărul de cicluri, este comparabilă cu a mixturilor asfaltice realizate cu cribluri și în consecință creează premise favorabile folosirii acestora, în zonele unde lipsesc criblurile, dar există posibilitatea de a beneficia de granulit.

4.5. Am studiat modulii de rigiditate pentru aceste tipuri de mixturi asfaltice, care atestă o comportare reologică bună, atât ca temperaturi scăzute când se manifestă preponderent comportarea elastică, ce se caracterizează prin valori mari ale modurilor de rigiditate, cât și la temperaturi ridicate când se manifestă preponderența comportării vâscoase, care conduce la valori mai scăzute ale acestor moduli.

Rezultatele obținute pot fi folosite pentru dimensionarea la oboseală a îmbrăcăminților bituminoase realizate cu granulit.

4.6. Referitor la eficiența economică obținută prin utilizarea acestor mixturi asfaltice, cu densitate mică, eficiența este exprimată în economia de bitum, care se înscrie între 8,8 t/km și 12,3 t/km, deosebit de importantă în contextul economisirii la maxim a liantului bituminos, în actuala etapă caracterizată prin penuria de produse petroliere și derivați ai acestora.

4.7. Contribuții originale ale autoarei aduse la realizarea mixturilor asfaltice cu granulit, constituie invenție

pentru care i s-a acordat brevetul de invenție 68656/1977 de către Oficiul de Standarde Invenții și Mărci (OSIM).

La capitolul 5 în domeniul obținerii unor mixturi asfaltice cu un conținut redus de bitum și filer alături de cercetările întreprinse în acest scop în țară și străinătate, autoarea a adus o serie de contribuții studiind realizarea betoanelor asfaltice cu conținut redus de bitum pentru stratul de uzură și de legătură.

5.1. Cercetările realizate pun în evidență posibilitatea micșorării conținutului de bitum în cazul betonului asfaltic cu agregat mărunt bogat în criblură de la 6,5...7,5 % la 5,7...6,2 %, cu condiția reducerii proporționale a conținutului de filer și a creșterii concomitente a criblurii din alcătuirea scheletului mineral, în acest scop am propus și alte zone granulometrice pentru agregatul mineral total fig.5.1.

5.2. Autoarea a întreprins studii privind fenomenul de oboseală a mixturilor asfaltice astfel realizate punând în evidență comparativ cu proba etalon, comportarea acestora la oboseală la deformare constantă, reliefând o comportare bună a acestora.

5.3. Modulii de rigiditate ai mixturilor asfaltice cu conținut redus de bitum au fost studiați la diferite temperaturi și timpi de încălzire, evidențiind influența volumului de goluri asupra acestora. Printr-o compactare energetică se pot obține valori ale modulilor de rigiditate pentru mixturile asfaltice cu conținut redus de bitum comparabile cu cele ale probei etalon (proba cu 7,0 % bitum).

5.4. Experimentările realizate pe teren au demonstrat că este necesar ca așternerea și compactarea acestor tipuri de mixturi asfaltice să se efectueze cu utilaje de mare productivitate, repartizatoare-finisoare, și ateliere de compactare, pentru a obține după compactare un volum de goluri cât mai mic (3...5 %) pentru stratul de uzură, fapt ce conduce la o bună comportare în exploatare a straturilor bituminoase astfel realizate.

5.5. Referindu-mă la eficiența economică, se constată că rezultă economii importante de bitum și filer, astfel prin micșorarea conținutului de liant de la 7,0 % la 6,0 % se obțin

10 t bitum economie de 1.000 t mixtură asfaltică, iar la filer prin scăderea acestuia de la 11,0 % la 3,0 %, rezultă 30 t filer economie.

Rezultatele cercetărilor întreprinse de autoare au fost publicate în Revista Transporturilor și Telecomunicațiilor 4/1980 urmînd să fie utilizate la revizuirea standardului 174-73.

La capitolul 6 al tezei de doctorat Reutilizarea îmbrăcăminților bituminoase menționez că am studiat încă în anul 1969 problema refolosirii mixturilor asfaltice rezultate din decaparea îmbrăcăminților bituminoase în timp ce în literatura de specialitate apare ca noutate abia în anul 1978, deci după 9 ani, (Revue Generale des Routes et Aerodromes 568/1980 și în Bulletin de liaison 105/1980), în consecință în acest domeniu am contribuții originale prioritare și un avans de 10 ani în concepția și realizarea eficientă a reutilizării amestecurilor asfaltice rezultate din decaparea îmbrăcăminților bituminoase.

6.1. Pentru prima dată în țară în anul 1969 am studiat și aprofundat cauzele care au condus la apariția defectelor cu vâluriri pe unele drumuri naționale pe care s-au realizat îmbrăcăminți bituminoase cu nisip bituminos, arătînd cauzele care au condus la apariția acestor defecțiuni și posibilitățile de remediere a acestora.

6.2. Am elaborat o tehnologie originală privind decaparea și refolosirea mixturilor asfaltice din sectoarele vâlurite, al căror liant nu este îmbătrînit, fapt ce a permis decaparea rapidă și ușoară, vara pe timp călduros, apoi corectarea compoziției acestora prin aport de agregate, criblura, nisip și obținerea unui nou tip de mixtură asfaltică prin trecerea amestecului realizat printr-o instalație de preparare, cu încălzire în echicurent.

6.3. Rezultatele cercetărilor au fost publicate în reviste de specialitate, revista Construcții în Transporturi vol. XXV 1971, și pentru noutatea soluției mi s-a acordat certificatul de raționalizare 15/1969.

6.4. Reutilizarea mixturilor asfaltice vechi, și îmbătrînite pune probleme mult mai dificile, întrucît după decapare, trebuie fărîmițate cu utilaje adecvate, înainte de introducerea lor în instalația de preparare și de asemenea trebuie



să se corecteze caracteristicile liantului îmbătrânit, prin adăos de bitum cu vîscozitate mai mică.

Autoarea arată că rezultatele cele mai bune le-a obținut prin reutilizarea mixturilor asfaltice vălurite realizate cu nisip bituminos pentru care a elaborat tehnologia respectivă și a efectuat experimentări pe scară largă.

6.5. In ceea ce privește problema reutilizării îmbrăcăminților vechi, degradate, consider că în prima fază, acestea ar putea fi folosite mai ales pentru repararea degradărilor îmbrăcăminților bituminoase, pentru realizarea benzilor de încadrare, straturi de bază și de legătură, întrucît straturilor de uzură din bețoane asfaltice li se impun condiții de calitate superioare, care în etapa actuală sînt mai greu de realizat, mai ales prin faptul că nu există suficiente studii și date privind comportarea în timp a acestor mixturi asfaltice reutilizate.

Rezultatele cercetărilor întreprinse în cadrul tezei de doctorat se valorifică prin :

- introducerea aparatului pentru determinarea rezistenței la uzură a criblurilor în dotarea laboratoarelor de specialitate din țară și includerea parametrilor de experimentare și a valorilor propuse ca urmare cercetărilor întreprinse în viitorul standard;

- stabilirea dozajului optim de liant prin metoda suprafeței specifice pentru mixturile asfaltice realizate cu nisip bituminos, metodă brevetată ca inovație și generalizată pe țară, care se aplică în laboratoarele de specialitate, publicată în reviste de specialitate și în Indrumătorul pentru laboratorul șantierului de drumuri, ediția II 1971;

- proiectarea modernă a mixturilor asfaltice folosind programele de calcul OPTIMIX și PROMIX implementate la laboratorul Direcției drumuri și poduri Timișoara, iar programul PROMIX generalizat pe țară în 1981;

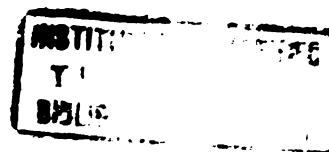
- realizarea și experimentarea în premieră pe țară a mixturilor asfaltice cu densitate mică, prin folosirea agregatului artificial ușor granulat, studierea și stabilirea caracteristicilor fizico-mecanice ale acestor noi tipuri de mixturi asfaltice, pentru care s-a acordat brevetul de invenție 68656/1977 ;



. studierea și realizarea mixturilor asfaltice cu conținut redus de bitum și filer, executarea sectoarelor experimentale;

. reutilizarea mixturilor asfaltice obținute din decaparea îmbrăcăminților bituminoase vâlvurite, problemă rezolvată de autoare încă în anul 1969 și aplicată în cadrul Direcției drumuri și poduri Timișoara.

Fiecare capitol din teză a urmărit cu consecvență pe lângă realizarea unor mixturi asfaltice cu caracteristici fizico-mecanice bune și obținerea unor economii de bitum pornind de la proiectarea mixturilor asfaltice prin minimizarea conținutului de bitum, reducerea densității aparente pentru mixturile asfaltice realizate cu granulat și reutilizarea îmbrăcăminților bituminoase. De asemenea prin propunerile făcute privind folosirea nisipurilor bituminoase pentru producerea mixturilor asfaltice pentru drumurile din clasă tehnică IV și V s-ar putea obține economii importante de bitum.



## B I B L I O G R A F I E

1. Ajour A.M., Mouton Y. - Bitumes. In: Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées, spécial V, 1977, Paris.
2. Ajour A.M. - Les bitumes en construction. In: Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées, 37/1969.
3. Ambrosino R., Harran M. - Mesure des faibles déflexions avec la poutre Benkelman. In: Bulletin de liaison 44/1970.
4. Ambrosino R., Descat Y. - Evolution des températures dans une chaussée pendant une journée chaude. In: Bulletin de liaison 48/1970.
5. Anastasescu D., Ionescu I., Koreck I. - Tehnologia utilizării betonului ușor la realizarea clădirilor înalte. In: Revista Materiale de Construcții 1/1975.
6. Anastasescu D., Ionescu I., Koreck I. - Unele tipuri de structuri din beton ușor cu granulit, realizate la Timișoara. Sesiunea științifică I.P. Cluj-Napoca, vol. C I 1978.
7. Andrei C., Tăutu N., ș.e. - Considerații privind executarea îmbrăcăminților asfaltice ușoare pe drumurile naționale din Moldova. In: Construcții în transporturi, vol. IX-X, 1967.
8. Archinard P., Mallard C.J. - Aparéillage d'étude des matériaux enrobés dans le domaine de la viscoélasticité et de la fatigue. In: Bulletin de liaison 21/1966.
9. Arena Ph., Shah S.C., Adam V. - Compaction of Asphaltic-Concrete Pavement with High-Intensity Pneumatic Roller. In: Highway Research Record 178, SUA, Washington, D.C. 1967.
10. Arquié G. - Chaussées souples. In: Revue générale des routes 432/1968.
11. Atanasiu D. - Orientarea cercetărilor în domeniul dimensionării sistemelor rutiere. In: Construcții în transporturi vol. XX/1970.

12. Atanasiu D., Zerojanu H., ș.a. - Cercetări privind stabilitatea sistemelor rutiere cu îmbrăcăminti asfaltice.  
In: A III a Conferință de drumuri, Iași 1973.
13. Aussedat D., Azibert C. - Méthode pratique pour le dimensionnement des chaussées à la fatigue.  
In: Revue générale des routes 495/1974.
14. Aussedat G., -Azibert C. - Le mécanisme de l'ornièrage des couches de base.  
In: Revue générale des routes 498/1974.
15. Aussedat G. - L'essai de fluage dynamique dans la formulation des enrobés et le dimensionnement des chaussées.  
In: Bulletin de liaison, special V, 1977.
16. Autret P. - Evolution du deflectographe Lacroix.  
In: Bulletin de liaison 60/1972.
17. Azibert C., Celard B., ș.a. - Machine d'essai de fluage dynamique pour enrobés bitumineux.  
In: Revue générale des routes 522/1976.
18. Ballie M. - Utilisation des schistes bitumineux sous forme de fines ou de sable dans les bétons bitumineux.  
In: Bulletin de liaison 109/1980.
19. Bahri G.Raj, Rader F.L. - Effects of Asphalt Viscosity on Physical Properties of Asphaltic Concrete. In: Highway Research Record 67, SUA, Washington, DC 1965.
20. Baroux R. - Recyclage des enrobés bitumineux en centrale d'enrobage. Les problèmes de material.  
In: Bulletin de liaison 105/1980.
21. Bazin P., Saunier J.B. - Deformability, Fatigue and Healing of Asphalt Mixes.  
In: Proceedings of the II nd International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor 1967.
22. Beuran M., Toma M., Moga I. - Posibilități de utilizare a unor deșuri de la exploatările nemetalifere în construcția drumurilor. In: Sesiunea științifică I.P. Cluj-Napoca, 1978 C. VI.
23. Beuran M. - Proiectarea și construcția drumurilor. Curs. Edit. Instit. Politehnic Cluj-Napoca, Secția Căi Ferate Drumuri, Poduri, Cluj 1977.

24. Bicheron G. - Le recyclage des revêtements en enrobés hydrocarbonés. In: Bulletin de liaison 105/1980.
25. Bilțiu A., Murgan M. - Considerații asupra metodelor de determinare a conținutului de bitum din mixturile asfaltice.  
A III a sesiune de comunicări științifice DDP Timișoara 1977.
26. Bilțiu A., Nicoară L. - Indrumător pentru laboratorul șantierului de drumuri. Ediția II a. Edit. tehnică, București 1971.
27. Bilțiu A., Nicoară L. - Études sur les variations sous le trafic de quelques caractéristiques des couches bitumineuses. In: MILEM, Technoinform, Budapest 1975.
28. Bilțiu A. - Mixturi asfaltice realizate la cald cu agregate artificiale ușoare.  
In: Sesiunea științifică I.P. Cluj-Napoca 1978, vol. 6 VI.
29. Bilțiu A. - Considerații privind stabilirea dozajului optim de liant, în funcție de suprafața specifică, în cazul mixturilor asfaltice executate cu nisip bituminos.  
In: Revista transporturilor 12/1967.
30. Bilțiu A. - Unele aspecte privind comportarea betoanelor asfaltice fine, sărace în criblură, executate cu nisip bituminos. In: Construcții în transporturi vol. XII/1970.
31. Bilțiu A. - Observații cu privire la stabilirea dozajului de liant în funcție de suprafața specifică, la mixturile executate cu nisip bituminos. In: Construcții în transporturi, vol. XVIII/1969.
32. Bilțiu A. - Sector experimental din beton asfaltic fin, bogat în criblură, executat cu bitumină și bitum industrial tip C. In: Construcții în transporturi vol. XII/1970.
33. Bilțiu A. - Cauzele producerii vâlvurilor îmbrăcămintelor asfaltice executate cu nisip bituminos și posibilitatea reutilizării mixturilor asfaltice din sectoarele vâlvurite.  
In: Construcții în transporturi, vol. XXV/1971.
34. Bilțiu A. - Adezivitatea lianților hidrocarbonați.  
In: M.I.D. - Drumuri 12/1973.

35. Bilțiu A., Crăciunescu M. - Executarea betoanelor asfaltice rugoase; studii și sectoare experimentale. Prima sesiune de comunicări științifice DDP Timișoara/1975.
36. Bilțiu A., Ionescu N., Udvardy L. - Optimizarea activității de reparare, întreținere și exploatare a drumurilor naționale prin utilizarea băncii de date rutiere. In: Sesiune de comunicări științifice, Institut. de Construcții București, secția II Poduri Drumuri și Căi ferate 1975, București.
37. Bilțiu A. - Mixturi asfaltice cu agregate artificiale ușoare. In : A II a sesiune de comunicări științifice a cadrelor tehnice și economice din DDP Timișoara/1976.
38. Bilțiu A. - Folosirea cenușii de termocentrală la fabricarea mixturilor asfaltice. In: A II a sesiune de comunicări științifice a cadrelor tehnice și economice din DDP Timișoara/1976.
39. Bilțiu A., Meciș M. - Determinarea rezistenței la uzură a agregatelor minerale cu aparatul Los Angeles. In: Buletin rutier 1/1976.
40. Bilțiu A., Meciș M. - Observații privind unele defecțiuni ale straturilor de uzură ale îmbrăcămintelor bituminoase, provocate de utilizarea unor filere necorespunzătoare. In : Buletin rutier 1/1978.
41. Bilțiu A., Meciș M. - Procedee de mărire a rugozității suprafețelor de rulare prin clutaj, folosind materiale locale. In a III a sesiune de comunicări științifice DDP Timișoara, 1977.
42. Bilțiu A. - Mixturi asfaltice executate cu granolit. Referat pentru doctorat, prezentat la I.P. "Traian Vuia" Fac. de Construcții, Catedra de drumuri și fundații, aprilie 1979.
43. Bilțiu A. - Preocupări ale școlii timișorene de drumuri pentru dezvoltarea cercetării aplicative în domeniul îmbrăcămintelor rutiere moderne. In: Buletin rutier 4/1979.
44. Bilțiu A. - Studii de laborator privind realizarea unor mixturi asfaltice cu agregate artificiale ușoare. In: A V a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri, vol. I/1978.

45. Bilțiu A. - Considerații privind realizarea mixturilor asfaltice cu procent redus de bitum și filer. In: Revista transporturilor 4/1980.
46. Bilțiu A. - Metode moderne de control a calității lucrărilor de drumuri. Referat pentru doctorat, prezentat la I.P. "Traian Vuia" Timișoara, Fac. de Constr., Catedra de drumuri și fundații, 1980.
47. Bilțiu A., Szitar R. ș.a. - Soluții tehnice pentru repararea îmbrăcăminților bituminoase pe timp de iarnă. In: A IV a sesiune de comunicări științifice DDP Timișoara și Catedra de drumuri și fundații 21-22 nov.1980, Timișoara.
48. Bilțiu A. - Studii și experimentări privind reutilizarea îmbrăcăminților bituminoase vâlvurite sau uzate. Sesiunea de comunicări științifice ICPIT București, 1981.
49. Bob C. - Materiale de construcții, Institutul politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1975.
50. Bob C., ș.a. - Materiale de construcții - Indrumător de laborator, Institutul politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1975.
51. Bob C., Velica P. - Materiale de construcții. Editura didactică și pedagogică, București, 1978.
52. Bob C. - Non Destructive Testing of Light weight Aggregate Concrete. Rapport 70, Stockholm, 1973.
53. Boguslawskij A.M., Boguslawskij L.A. - Prognoirovanie tregci-no i sdvigoistoicinosti asfaltobetonih pokrıtii. In: III Budapestskaia Dorojnaia Conferenția Budapest, 1973.
54. Bonnitzer J., Leger Ph. - Où en est le calcul des chaussées après la II e Conférence d'Ann Arbor. In: Revue générale des routes 439/1969.
55. Bonnot J. Simoncelli P. ș.a. - Confection des plaques en enrobés bitumineux. In: Bulletin de liaison 46/1970.
56. Bonnot J. - Asphaltes naturels et schistes bitumineux. In: Bulletin de liaison 109/1980.
57. Bonnot J. - Régénération et recyclage des enrobés bitumineux. In: Bulletin de liaison 105/1980.
58. Brien D. - Formulation des enrobés bitumineux à granulomé-



- trie discontinue. In: Revue générale des routes 486/1973.
59. Brien D., Hills J.F., Van de Loo J.P. - Relation entre des essais de fluage et d'ornièrage sur des enrobés bitumineux. In: Revue générale des routes 499/1974.
60. Brown S.F., Bell C.A. s.a. - Permanent Deformation of Flexible Pavements. In: Research Report. Univ. Nottingham 1974.
61. Brown S.F. - Computation of Stresses and Strains for the Design of Flexible Pavements. In: Highway Research Record, 407, S.U.A., Washington 1972.
62. Brown S.F. - Essais triaxiaux sur enrobés bitumineux en chargement répété ou en fluage. In: Bulletin de liaison special V 1977.
63. Carré G. - Résistance à la traction des enrobés bitumineux. In: Revue générale des routes 414/1966.
64. Chomton G., Valayer P.J. - Recherches sur les enrobés bitumineux. In: Revue générale des routes 445/1969.
65. Chomton G. Valayer P.J. - Étude de l'ornièrage en laboratoire; L'essai de fluage dynamique. In Revue générale des routes 458/1970.
66. Chomton C., Penneveyre J.M., Bardet J. - Conception moderne des enrobés bitumineux routiers. In: Revue générale des routes 487/1973.
67. Colombier G., Blanfune G. - Étude de la perméabilité des enrobés. In: Bulletin de liaison 30/1968.
68. Cooper K.E., Pell P.S. - The Effect of Mix Variables on the Fatigue Strength of Bituminous Material. TRRL. Rep. L.N. 633/1974.
69. Coquand R. - Drumuri. Ediția IV. București, Editura tehnică 1968.
70. Crottaz R., Pigois M. - Bituminöse Beläge mit eisernen den Zusätzen. In: Route et trafic 12/1979, Elveția.
71. Davis E.F., Hrokosky E.M., Tons E. - Stress Relaxation of Bituminous Concrete in Tension. In: Highway Research Record 67, SUA Washington DC 1965.

72. Deen R.C., Southgate H.F., Havens H.H. - Structural Analysis of Bituminous Concrete Pavements, In: Highway Research Record, 407/1972.
73. Desvignes R. - Tendances en 1968, dans la construction des chaussées souples aux USA. In: Revue générale des routes 435/1968.
74. Direction des routes et de la circulation routière - Colloque français sur les contrôles de qualité en construction routière. Paris 1972.
75. Doan T.H. - Les études de fatigue des enrobés bitumineux au LCPC. In: Bulletin de liaison - special V 1977.
76. Doan T.H., Grignard A., Ugé P. - Evolution sur route de liants et enrobés bitumineux. In: Bulletin de liaison - special V 1977.
77. Doan T.H. - Dinh T.L. - Application des essais du module complexe. In: Bulletin de liaison 81/1976.
78. Doan T.H. - Contribution à l'étude du comportement à la fatigue des bétons bitumineux. Thèse de Docteur - Ingénieur, Paris 1970.
79. Doan T.H., Lartaut M., Huet M. - Étude en laboratoire d'un enrobé continu grenu. Rapport L.C.P.C. 1973.
80. Dorobanțu S. - Posibilitățile de refolosire a mixturilor asfaltice uzate și îmbătrânite. A V a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri, Timișoara 1978, vol.I.
81. Dorobanțu S., Jercan S. - Pista de încercări auto pentru viteze mari. In A V a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri, Timișoara, 1978, vol. I.
82. Dorobanțu S., Popescu P., Mărășteanu O. - Posibilități de folosire a liantului bitum-sulf. A V a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri, Timișoara, 1978, vol.I.
83. Dorobanțu S., Jercan S. - Drumuri. Calcul și proiectare, Editura tehnică, București 1980.
84. Duriez M. - Les économies de bitume en technique routière, quelques solutions possibles. In: Le Moniteur des Travaux publics, 1974.

85. Duriez M. - Les méthodes de calcul de l'épaisseur des chaussées souples. In: Revue générale des routes 443/1968.
86. Duriez M. - Nouveau traité des matériaux de construction. Edition Dunod, Paris 1962.
87. Duriez M. - Les revêtements noirs et les divers enrobés. In: Revue générale des routes 449/1969.
88. Durrieu J. - Les chaussées dites "souples". In: Revue générale des Routes 450/1970.
89. Durth W., Halfmann ş.a. - Wiederverwendung einer bituminösen Fahrbahnbefestigung auf der BAB 48. Erprobungsstrecke Gissen. In: Strasse und Autobahn 4/1979.
90. Elvira J.L. Fernandez del Campo Y.A. - Comportement mécanique des mélanges bitumineux. In: Bulletin de liaison special V, 1977.
91. Escario J. - Traité des routes. Paris Edition Dunod, 1954.
92. Ewers W. - Sechs Jahre Erfahrungen mit dem Dauerbiegeprüfgerät nach Guericke. In: Die Strasse aug.1975.
93. Ewers W. - Bituminöse Deckschichten auf Autobahnen und Fernverkehrsstrassen im Lichte neuerer Erkenntnisse. in: Die Strasse 3/1973.
94. Faure M., Phelep M. - Contrôle des bitumes. In: Bulletin de liaison 44/1970.
95. Fauveau P. - Chaussées souples en Angleterre. In: Revue générale des routes 450/1970.
96. Fodor G., Giuşcă G. - Soluţii de îmbunătăţire a comportării îmbrăcăminţilor bituminoase la solicitări de întindere. In: Revista transporturilor 4/1973.
97. Fodor G., Cososchi B. - Cercetări privind introducerea în ţara noastră a metodei de dimensionare a sistemelor rutiere flexibile, bazată pe criteriul deformaţiei admisibile. In: Revista transporturilor 2/1969.
98. Fodor G. Nicolau M. - Evoluţia calculului sistemelor rutiere nerigide în lumina ultimului congres mondial de drumuri. In: Revista transporturilor nr.11/1972.

99. Fodor G., Teodorescu D., Bradler M. și.a. - Incercarea la oboseală a mixturilor asfaltice - o posibilitate de simulare în laborator a solicitării straturilor rutiere bituminoase. In: Revista transporturilor 2/1979.
100. Fodor G., Teodorescu D. și.a. - Cercetări privind modelarea reologică a comportării sub solicitare a sarcinilor din trafic a straturilor bituminoase. A V a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri, Timișoara 1978, vol.II.
101. Fodor G., Teodorescu D. și.a. - Metoda de verificare a rezistenței la oboseală a straturilor rutiere din mixtură bituminoasă în vederea îmbunătățirii comportării în exploatare a sistemelor rutiere nerigide. In: A V a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri, Timișoara 1978, vol.I.
102. Fodor G., Pădure F., Duda I. - Considerații asupra stării de efort și de deformăție sub solicitarea traficului a straturilor rutiere nerigide. In: Sesiunea științifică I.P. Cluj-Napoca 1978, vol.C VI.
103. Fodor G., Giușcă G. - Soluții de îmbunătățire a comportării îmbrăcăminților bituminoase la solicitări de întindere, In : Sesiune de comunicări ISCT, 1973, vol.IV.
104. Francken L. - Module complexe des mélanges bitumineux. Influence des caractéristiques des bitumes et de la composition des mélanges. Rapport de recherche. Bruxelles 1973.
105. Francken L. - Module complexe des mélanges bitumineux. In: Bulletin de liaison , special V, 1977.
106. Francken L., Verstraeten J. - Relation entre le module de rigidité d'un enrobé bitumineux et le module de cisaillement du bitume qu'il renferme. In: RILEM, Budapest 1975. vol.I.
107. Francken L. Verstraeten J. - Methods for Predicting Moduli and Fatigue Laws of Bituminous Road Mixes under Repeated Bending. In: Highway Research Board, 515/1974.
108. Gastel C. - Die Prüfung der Verformung bituminöser Mischungen unter dynamischer Lastwirkung. In: Bitumen, Teere, Asphalt, Peche, RFG, 3/1972.

109. Gaspar L. - La pratique hongroise du dimensionnement des chaussées. In: Revue générale des routes 449/1969.
110. Gheorghiu G. - Revêtements bitumineux en éléments préfabriqués sur les chaussées et trottoirs des ponts routiers. In: Revue générale des routes 486/1973.
111. Giușcă G., Gheorghiu G. - Valorificarea superioară a zgurei granulate de la Combinatul siderurgic Galați, la prepararea mixturilor asfaltice. In: Revista transporturilor 7/1973.
112. Goddard R. Powell W.D. - Résistance à la fatigue des enrobés denses. Influence des facteurs formulation et température. In: Bulletin de liaison - special V 1977.
113. Gravois A., Uge P. - Fatigue Behaviour of Bituminous Mixes. In: Rapport Laboratoire Shell-Couronne 1975.
114. Grimaux J.F., Hiernaux R. - Utilisation de l'ornièreur type L.P.C. In: Bulletin de liaison special V 1977.
115. Haas R.R., Topper T.H. - Thermal Fracture Phenomena in Bituminous Surfaces. In: Highway Research Board, SUA, Washington, 1969.
116. Hajek J.J. - Haass R.C.G. - Predicting Low - Temperature Cracking Frequency of Asphalt Concrete Pavements. In: Highway Research Record 407, SUA, Washington 1972.
117. Han H.C.S. Hirst T.J., Fang H.Y. - Determination of The Elastic Moduli of Flexible Pavement Components. In: Highway Research Record 407, SUA, Washington 1972.
118. Hartia C. - Dimensionarea consolidării sistemelor rutiere nerigide prin metoda stratului echivalent. In: Construcții în transporturi vol. XX, 1970.
119. Hettinger M. - L'asphalte aux granulats de synthèse. In: Route et trafic 12/1979.
120. Heukelom W. - Absque expérimentale décrivant le comportement des bitumes en fonction de la température. In: Revue générale des routes 454/1970.
121. Hills J.F., Heukelom W. - Module et coefficient de Poisson des enrobés bitumineux. In: Revue générale des routes 448/1969.



122. Hode Keyser J. - Le compactage des revêtements bitumineux. In: Bulletin de liaison 63/1973.
123. Hong H. - Theory and application of Sonic Testing to Bituminous Mixtures. In: Highway Board 94, SUA Washington DC, 1968.
124. Huet C. - Étude par une méthode d'impédance du comportement vicoélastique des matériaux hydrocarbonés. In: Annales des Ponts et chaussées, Paris, 1965.
125. Huang Y.H. - Deformation and Volume Change Characteristic of a Sand-asphalt Mixture under Constant Direct and Triaxial Compressiv Stresses. In: Highway Research Record 1978, SUA, Washington, DC, 1967.
126. Ionescu A. Teodorescu D. - Aspecte noi în utilizarea nisipurilor bituminoase românești la construcția straturilor rutiere. In: Sesiune de comunicări ISCT, București, vol.IV, 1973.
127. Ionescu A. Vărlan R. ș.a. - Stadiul actual și perspectivă folosirii emulsiilor bituminoase cationice și anionice la lucrările de drumuri din țara noastră. In: Sesiune de comunicări ISCT, București vol.IV.1973.
128. Ionescu A., Teodorescu D. ș.a. - Îmbunătățirea calității biturilor rutiere prin adaos de aditivi amido-aminici. In: Sesiune de comunicări ISCT, București vol.IV.1973.
129. Ionescu E. Szalna S., Melinte O. - Eficiența utilizării betonului ușor la podurile cu infrastructuri în V. In: Sesiune științifică, I.P. Cluj-Napoca, 1978 C.VI.
130. Ivanov N.N., Iakovlev J.M. - O putiah dolneișevo razvitia metodovrasceta nijeskih dorojnîh odejd. In: III Budapestskaja Dorojnaia Conferenția. Budapest 1973
131. Jercan S. - Conlucrarea asfaltului cu betonul de ciment în straturile rutiere mixte. In: Revista transporturilor 10/1966.
132. Jercan S. - Tendința de fisurare a îmbrăcămintilor asfaltice aplicate pe asize stabilizate cu ciment. In: Construcții în transporturi vol.XIX/1970.
133. Jercan S. - Tixotropia biturilor. In: Revista transporturilor 11/1971.



134. Jercan S., Dorobanțu S. - Eficiența economică a investițiilor rutiere. In: Revista transporturilor 5/1968.
135. Jercan S. - Interpretarea statistică a rezultatelor încercărilor. In: Construcții în transporturi vol.XXV/1971.
136. Jeuffroy G. - Conception et construction des chaussées. Tome I et II. Paris Edition Eyrolles 1978.
137. Jeuffroy G. - Influence de certaines caractéristiques de la surface des chaussées sur la sécurité des véhicules. In: Bulletin de liaison, special F. 1966.
138. Kalls B.F. Puzinausks V.P. - Flexura Fatigue Tests on Asphalt Paving Mixtures. In: ASTM . Spec. publ.508/1971.
139. Kasianchuk D.A. - Fatigue Considerations in the Design of Asphalt Concrete Pavements. Dissertation, University of California, 1968.
140. Kennel M. Étude de la résistance à la fatigue des bétons bitumineux. In: Revue générale des routes 433/1973.
141. Kirk J.M. - Relations between Mix Design and Fatigue Properties of Asphalt Concrete. In: III rd. Conf. Structural Design of Asphalt Pavements, London 1972.
142. Kloss H.D. - Verschleissfestere Beläge mit Trinidad Asphalt. In: Strasse und Verkehr. Elveția 58/1972.
143. Kloss H.D., Stapel S. - Asphalte coulé sur béton bitumineux cylindré pour les chaussées à circulation lourde et active. In: Revue générale des routes 470/1971.
144. Kriviskii A.M. - Alcătuirea și calculul sistemelor rutiere nerigide, pe baza echilibrului local limită. Avtotransizdat, Moscova 1963.
145. Kriviskii A.M. - Noi sisteme de calcul a sistemelor rutiere nerigide. Avtotransizdat, Moscova 1971.
146. Kucera K. - Asphalt Fahrbahnkonstruktionen in der Tschechoslovakei. In: III Strassenkonferenz in Budapest, Budapest 1973.
147. Kunnath H. - Bitumenbeton mit aktivierten Füllstoffen. In: Strassenkonferenz in Budapest. vol.III.1973.

148. Lacroix J. - Défectographe pour l'étude rapide des déflexions de chaussées. In: Bulletin de liaison 3/1968.
149. Lartaut M. - Evolution de la compacité d'un enrobé sous l'influence de la circulation. In: Bulletin de liaison 60/1977.
150. Lartaut M. - Béton bitumineux coulé au soufre. In: Bulletin de liaison 109/1980.
151. Léger Ph. - L'uni des revêtements routiers. In: Bulletin de liaison 49/1970.
152. Léger Ph. - Le défectographe Lacroix. In: Revue générale des routes 444/1969.
153. Linder R. - Application de l'essai de traction directe aux enrobés bitumineux. In: Bulletin de liaison, special V, 1977.
154. Loubet P., Grimaux J.P. - Une technique de restauration en place à chaud des couches de roulement. Une technique de repaving. In: Bulletin de liaison 105/1980.
155. Lucas J. - Étude de synthèse sur la glissance des chaussées. In: Bulletin de liaison. Special F. 1966.
156. Lucas J., Malaviaille M. - La rugosité géométrique des revêtements routiers. In: Bulletin de liaison, Special F. 1966.
157. Lucas J., Bazin M., Saunier J. - Essais de fatigue sur enrobés bitumineux. In: Revue générale des routes 404/1965.
158. Majidzadeh K., Herrin M. - Modes of Failure and Strength of Asphalt Films Subjected to Tensile Stresses. In: Highway Research Record 67, SUA, Washington, DC 1965.
159. Mătăsară T., Dorobanțu S. - Drumuri. București. Editura tehnică 1966.
160. Moavenzadeh F., Stander R.R. jr. - Effect of Aging and Flow Properties of Asphalts. In: Highway Research Record 178, SUA, Washington, DC 1967.
161. Mo C.Li., Kett I. - Influence of Coarse Aggregate Shape on the Strength of Asphalt Concrete Mixtures. In: Highway Research Record 178, SUA, Washington DC 1967.

162. Monismith C.L. - Some Applications of Theory in the Design of Asphalt Pavements. University of Nevada, 1970.
163. Monismith C.L. Seed H.B. ș.a. - Prediction of Pavement Deflection from Laboratory Test. The II nd International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements. Ann Arbor, Michigan 1967.
164. Monismith C.L., Deacon J.A. - Fatigue of Asphalt Paving Mixtures. Dallas, SUA, 1967.
165. Moreaud H. - Module complexe des enrobés à grosse granulométrie et des systèmes bicouches. In: Revue générale des routes 453/1970.
166. Moreaud H. - Cisaillement des enrobés bitumineux. In: Revue générale des routes 447/1969.
167. Moreaud H. Quedeville A. - Presentation de deux nouveaux appareils utilisés pour l'étude de la fatigue des enrobés bitumineux. In: Revue générale des routes 465/1971.
168. Moreaud H. Quillaud G. - Propriétés mécanique du beton bitumineux coulé, comparées à celles des enrobés classiques. In: Revue générale des routes 456/1970.
169. Moutier F. - La presse à cisaillement giratoire. In: Bulletin de liaison 68/1973.
170. Moutier F. - Utilisation et possibilités de la presse à cisaillement giratoire. In: Bulletin de liaison, special V 1977.
171. Munteanu V. - Cîteva probleme privind eficiența economică la modernizarea drumurilor: In: Construcții în transporturi vol.XVIII/1970.
172. Nakkel E. - Die Anwendung des Asphaltoberbaues. In: Strasse und Autobahn 2/1973.
173. Nemesdy E. - Utak és autópályák pályaszerkezete. Budapest 1971. Műszaki Könyvkiadó.
174. Neumann E. - Neuzeitlicher Strassenbahn - Springer Verlag Berlin 1975.
175. Nievenhuysen Van J. - Les tendances actuelles dans les chaussées souples aux Pays-Bas. In: Revue générale des routes 443/1969.

176. Noret H., Gauthier Y. - Le simulateur de trafic.  
In: Bulletin de liaison sept.oct.1970.
177. Nicoară L. - Curs de drumuri, vol.IV și V I.P. "Traian Vuia" Timișoara 1975.
178. Nicoară L., Zarojanu H. - Autostrăzi. I,P,"Traian Vuia" Timișoara.1976.Curs.
179. Nicoară L. - Defecțiunile îmbrăcăminților rutiere.  
Tehnologii pentru prevenirea și remedierea lor. Teză de doctorat. I.P. "Traian Vuia" - Timișoara 1974.
180. Nicoară L., Ionescu N., Munteanu V. - Intreținerea și exploatarea drumurilor. Editura tehnică, București, 1979.
181. Nicoară L. , Bilțiu A. - Rezultate obținute la executarea îmbrăcăminților asfaltice ușoare pe drumurile naționale din Banat. In: Construcții în transporturi vol.IX-X 1967.
182. Nicoară L., Bilțiu A. ș.a. - Considerații asupra comportării sub trafic a lucrărilor de îmbunătățire a drumului național Timișoara-Arad. In: Revista transporturilor 1/1969.
183. Nicoară L., Bilțiu A. - Defecțiunile îmbrăcăminților bituminoase. : In: Cosntrucții în transporturi XXIV/1971.
184. Nicoară L., Bilțiu A. - Straturi rutiere realizate din mortar cu suspensie de bitum filerizat. In: M.I.D. Drumuri 9/1973.
185. Nicoară L., Bilțiu A - De l'expérience de l'asphaltage de certaines routes à trafic faible. In: III e Conférence Routière, Budapest, 1973.
186. Nicoară L., Bilțiu A., Ionescu N. - Routes économiques. Routes à faible circulation. Rapport național la tema VIII. Al XV-lea Congres Mondial de Drumuri Mexico 1975.
187. Nicoară L. - Codul terminologiei rutiere. In: Buletin rutier 1/1976.
188. Nicoară L. Udvardy L. - Previzțiuni privind execuția lucrărilor de ranforsare a complexelor rutiere.Sistemul PRERAN. În: Buletin rutier 3-4/1977.

189. Nicoară L. - Despre necesitatea îmbunătățirii terminologiei rutiere și introducerea unor simboluri pentru mixturi asfaltice. In: A V a Consfătuire a lucrătorilor de drumuri și poduri, dec.1978, vol.I.
190. Nicoară L., Bilțiu A. ș.a. - Tehnologii aplicate în vederea îmbunătățirii stării de viabilitate a drumurilor de pământ preluate de DDP Timișoara. In: A V a Consfătuire a lucrătorilor de drumuri și poduri, dec.1978.
191. Nicoară L. - Propuneri pentru îmbunătățirea activității în domeniul rutier în R.S.R. In: A V a Consfătuire a lucrătorilor de drumuri și poduri, dec.1978, vol.I.
192. Nicoară L. ș.a. - Efectul autovehiculelor cu tonaj depășit asupra duratei de exploatare a drumurilor. In: Sesiunea de comunicări tehnico-stiințifice I.P. "Traian Vuia" oct. 1979.
193. Nijboer L.W. Van der Poel C. - A Study of Vibration Phenomena in Asphaltic Road Construction. In: Proc.Ass. Asphalt Paving Technol 22/1953.
194. Nijboer L.W., - Plasticity as a Factor in the Design of Dense Bituminous Carpets. In: Elsevier Publishing Col.1948.
195. Nijboer L.W. Delcour J. - Testing Flexible Pavements under Normal Traffic Loadings by Means of Measuring Some Physical Quantities Related to Design Theories. In: Proceedings, University of Michigan, 1967.
196. O C D E (Organisation de coopération et développement économique) - Résistance à la déformation plastique des chaussées souples. Paris 1975.
197. O C D E - Méthodes accélérées de prévision de la durée de vie des chaussées. Paris, 1972.
198. Pagen A.Ch. - Rheological Response of Bituminous Concrete. in: Highway Research Record 67, SUA, Washington, DC 1965.
199. Pasquet A., Berthier J. - Recherches relatives à la glissance routière. Consequences sur la conception des revêtements routiers. In: Bulletin de liaison, Special F.1966.
200. Pavelescu I., Podor G. - Tipizarea structurilor rutiere nerigide, opțiune importantă pe calea progresului tehnic în construcția drumurilor în țara noastră. In: Sesiunea de comunicări , ICPTT București, 1975.



201. Pecheny B.G., Zhelezko E.P. - Investigation into the Strenght and Deformation of Asphaltic Concretes Bound by Various Bitumens et Mechanical and Temperature Stresses. In: RILEM, Technoinform, Budapest 1975.
202. Pell P.S. - The Response of Bitumen-Aggregate Mixes to Repeated Applications of Load. In: RILEM, Technoinform, Budapest 1975.
203. Pell P.S. - Fatigue of Asphalt Pavement Mixes SUA 2<sup>e</sup> Congres International Ann Arbor 1967.
204. Pell P.S., Taylor I.F. - Asphaltic Road Materials in Fatigue Proceeding of the Association of Asphalt Pavement Technology vol 38/1969.
205. Persoz R. - Introduction à l'étude de la rhéologie. Paris, 1960.
206. Pinaud Y., Champion M. - Experimentation 1977 d'enrobés avec incorporation d'asphalte en Indre et Loire. In: Bulletin de liaison 109/1980.
207. Pinescu A. - Influența vitezei de încărcare asupra valorii modulului de elasticitate la materiale vîscoelastice. In: Revista transporturilor 7/1971.
208. Pinescu A. - Cercetări asupra proprietăților structural mecanice ale mixturilor asfaltice. Teză de doctorat, București. Institutul de Construcții 1968.
209. Plăcintă C. Gugiuman G. - Asupra indicelui de structură la betoanele asfaltice cilindrate. In: MID -Drumuri 11/1972.
210. Plăcintă C. - Considerații asupra comportării unor mixturi asfaltice la solicitări repetate. In: MID-Drumuri 9/1972.
211. Plăcintă C. - Contribuții la studiul comportării unor mixturi asfaltice la solicitări statice și dinamice repetate. Teză de doctorat. 1971. Iași.
212. Plăcintă C. - Considerații privind stabilitatea mixturilor asfaltice. In: Construcții în transporturi vol. XXV/1971.
213. Popescu P., Mărășteanu O. - Elemente privind comportarea anrobateilor compacte executate în județul Argeș, în funcție de diverși lianți, prin prisma unor prelucrări sta-



- tistice. In: Construcții în transporturi, vol. XVII/1969.
214. Pritz T., Zakar P. - Analyse des caractéristiques visco-élastique dynamique des bitumes routiers. In: Revue générale des routes 561/1980.
215. Quedeville A. - Enrobés bitumineux, fatigue du film de liant. In: Revue générale des routes 461/1971.
216. Rafiroiu M. - Une nouvelle méthode pour le dimensionnement des chaussées souples. In: Revue générale des routes 431/1968.
217. Rafiroiu M. - Despre adoptarea coeficienților de siguranță în metodele de dimensionare a sistemelor rutiere. In: Construcții în transporturi XLIV/1971.
218. Rafiroiu M. - O încercare de rezolvare a problemei dimensionării economice a sistemelor rutiere nerigide. In: Revista transporturilor 5/1972.
219. Rafiroiu M. - Despre frecarea la interfața straturilor șoselelor. In: Strasse und Verkehr 9/1971.
220. Rafiroiu M. - Model matematic și program de calcul automat pentru optimizarea dimensionării sistemelor rutiere nerigide. In: Sesiune de comunicări ICPTT București. 1975.
221. Rafiroiu M. - Unele cercetări statistice privind legăturile ce acționează asupra raportului dintre modulele de elasticitate dinamice și cele statice, In: Revista transporturilor 2/1971.
222. Rondos L. - Some Problems of Pavement Surface Properties. In: III Road Conference in Budapest vol. I. 1973.
223. Rousselin R.J., Gauthier C., Godin J. - Utilisation de traceurs pour l'étude de la répartition du filler dans un enrobé. In: Bulletin de liaison 50/1971.
224. Saal R.N., Pell P.S. ș.a. - Fatigue of Bitumen and bituminous Mixes. In: Int. J. mech. Sci. 3/1961, SUA.
225. Santagata F. - La riproducibilità della prova Marshall, Atti e Rassegna Tecnica, 1967.

226. Saunier J. - Contribution à l'étude des propriétés rhéologiques des enrobés bitumineux. Thèse, Paris 1968.
227. Saunier J. - Autoréparation des enrobés bitumineux  
In: Revue générale des routes 435/1968.
228. Saunier J. - Module complexe des enrobés bitumineux.  
In: Revue générale des routes 421/1967.
229. Sauterey R. Autret P. - Guide d'auscultation des chaussées souples. Editions Eyrolles-Paris 1977.
230. Sauterey R., Bonnot J. - Les enrobés hydrocarbonés.  
In: Revue générale des routes 476/1972.
231. Sauterey R. - Problèmes des couches de roulement.  
In: Revue générale des routes 450/1970.
232. Sauterey R., Bonnot J. s.a. - Sollicitations mécaniques dans les chaussées. Journées d'information. Bitumes et enrobés bitumineux, Paris LCPC, 1971.
233. Sauterey R. - Les renforcements en enrobés bitumineux.  
In: Bulletin de liaison 27/1967.
234. Sauterey R. - Les enrobés hydrocarbonés, bétons bitumineux et grave-bitume. In: Revue générale des routes. Fascicule 5, mai 1972.
235. M. de la Sayette - Compactage des enrobés bitumineux.  
In: Bulletin de liaison 46/1970.
236. Schellenberg K. - Trinidad-Naturasphalt. In: Route et trafic 1/1980 Elvetia.
237. Schulze K. - Optimierung des bituminösen Mortels im Gussasphalt und im Asphaltbeton. In: Strasse und Verkehr 1/1980.
238. Secor K.E. Monismith C.L. - Viscoelastic Response of Asphalt Paving Slabs under Creep Loading. In: Highway Research Record 67, SUA, Washington DC 1965
239. Siffert M. - Les chaussées d'essais. Premiers enseignements. In: Bulletin de liaison. 53/1971.
240. Simoncelli J.P., Chanut R., Carré G., Moreaud H. - Comportement d'une couche bitumineuse épaisse sous trafic lourd lent et canalisé. In: Bulletin de liaison nr. 47/1970.

241. Simoncelli J .P., Ugé P. - Les déformations permanents des enrobés bitumineux. In: Revue générale des routes 500/1974.

242. Simoncelli J.P. - Influence de la nature du bitume sur les caractéristiques mécaniques d'un enrobé. In: Bulletin de liaison 48/1970.

243. Simonetti D. - Il " Tuttasfalto " come sovrastruttura stradale di tipo flessibile basata su nuovi criteri di dimensionamento. In: Atti del XVII Convegno Nazionale Stradale, Roma 1974.vol.I.

244. Sisko A.W.- Determination and Treatment of Asphalt Viscosity Data. In: Highway Research Record 67, SUA Washington DC, 1965.

245. Soliman S., Doan T.H.- Influence des paramètres de formulation sur le module et la résistance à la fatigue des graves-bitume. In: Bulletin de liaison, special V, 1977.

246. Soliman S.- Influence des paramètres de formulation sur le comportement à la fatigue d'un enrobé bitumineux. Rapport de recherche 58, LCPC, Paris 1976.

247. Sufirin I., Mihailescu N., Moldovan V. - Cours de materiale de construcții. Institutul de construcții, București 1969.

248. Syndicat des fabricants d'émulsions routières de bitume- Les émulsions de bitume et leurs techniques d'applications Paris, 1966.

249. Taterode H., Moaligon C.- Introduction de poudre d'asphalte naturel dans les enrobés. L'expérience de la Ville de Paris. In : Bulletin de liaison 109/1980.

250. Taylor I.F. Pell P.S. - Could Fatigue Be a Problem in Flexible Pavements. Road and Road Construction august 1969.

251. Tăutu N. . Sbîrnea E., Andrei R.- Tratarea agregatelor de rîu concasate folosind laptele de var. In : Construcții în transporturi, vol.XXII/1971.

252. Teodorescu D., Giușcă G.- Incercări de laborator privind determinarea modulului de elasticitate static al mixturilor asfaltice. In: Revista transporturilor 6/1971.

253. Teodorescu D., Ionescu A.- Situația actuală și perspective privind bitumul de drumuri folosit în construcția și întreținerea drumurilor din țara noastră, aportul cercetării și măsuri de viitor. In: Comunicări, Sesiune, jubiliară ICPTT, București 1979, vol.2.
254. Teodorescu D.- Metode fizico-chimice și mecanice de apreciere a gradului de îmbătrânire a bitumului și a amestecurilor asfaltice. Referat pentru doctorat. Institutul de Construcții, București 1973.
255. Teodorescu D., Ionescu A. ș.a.- Tendințe noi cu privire la condițiile de calitate care se cer biturilor pentru drumuri. A V a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri. Timișoara 1978.
256. Teodorescu D., Fodor G.- Modelarea matematică a comportării reologice a biturilor de drumuri. A.V a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri. Timișoara 1978, vol.I.
257. Terțea I., Toma M. ș.a.- Studiul unor proprietăți fizico-mecanice și diferite utilizări ale betonului de granulat. In: Sesiunea științifică I.P.Cluj-Napoca, 1978, C.I.
258. Torjescu N., Giușcă G.- Cercetări privind realizarea îmbrăcăminților rugoase. In revista transporturilor 4/1971.
259. Torjescu N., Fodor G.- Studiul caracteristicilor de deformabilitate și de rezistență sub sarcini statice ale amestecurilor asfaltice. In: Revista transporturilor 12/1969.
260. Udvardy L., Bilțiu A., Sântean S.- Proiectarea amestecurilor asfaltice în condițiile optimizării tehnico economice complexe. Aplicația informatică PROMIX. In: Revista transporturilor și Telecomunicațiilor 2/1981.
261. Udvardy L., Bilțiu A.- Unele observații privind proiectarea compoziției amestecurilor asfaltice după criterii multiple ale eficienței tehnico-economice. In: Sesiune de comunicări ICPTT 23-25 aprilie 1981.
262. Udvardy L., Bilțiu A., Sântean S.- Observații privind raționalizarea bilanțului energetic prin proiectarea amestecurilor asfaltice utilizând aplicația PROMIX. In: Sesiunea de comunicări științifice, Baia Mare, 1980.

263. Ugé P., Gest G., Gravois A.-Nouvelle méthode de calcul du module complexe des mélanges bitumineux. In: Bulletin de liaison special V 1977.
264. Ugé P., Gravois A.- Le comportement en fatigue des enrobés bitumineux; influence du liant. In: Revue générale des routes 521/1976.
265. Ugé P., Lefrançois J.M.- Étude de la compaction des enrobés bitumineux. In: Revue générale des routes 516/1976.
266. Valayer P.J.- Recherches sur les phénomènes mécaniques dans les chaussées et les enrobés bitumineux. In: Revue générale des routes 438/1968.
267. Van de Loo P.J.- Creep Testing, A Simple Tool to Judge Mix Stability: In Proc. Association of Asphalt Paving Technologists 43, 1974.
268. Van de Loo P.J.- A practical Approach to the Predicting of Rutting in Asphalt Pavements. The Sheel Method. In: Transp. Research Board, Washington, 1976.
269. Van Draat W.E.F., Sommer P.- Ein Gerät zur Bestimmung der dynamischen Elastizitätsmoduln von Asphalt. In: Strasse und Autobahn. 35/1966.
270. Van der Poel C.- A General System Describing the Viscoelastic Properties of Bitumens and its Relation to Routine Test Data. In: Journal of Applied Chemistry, 4/1954.
271. Vârlan R.- Avantajele teoretice și practice ale construcției într-o singură trecere a straturilor rutiere bituminoase de grosime mare, In: Revista transporturilor 4/1972.
272. Vârlan R., Gradin V. ș.a.- Verificarea sistemelor rutiere nerigide dimensionate pe baza criteriului deformației limită admisibilă, la eforturi de tăiere și de întindere din încovoiere produse de trafic. In: Sesiune de comunicări ISCT București. 1973, vol.IV.
273. Verstraeten J.- Resistance à la deformation permanente. In: Rapport au XVI Congrès Mondial des Routes Vienne 1979.
274. Verga C., Battiato C., Ronca G.- Studio sulla deformabilità viscoelastica di strutture stradali in conglomerato bituminoso soggetto a carichi viagiante ripetuti. In:

Atti del XVII Convegno Nazionale Stradale Roma, 1974.

275. Verga C., Battiato C., Ronca G.- Analisi viscoelastica della deformabilità di semplici modelli de strutture stradali in conglomerato bituminoso. In: Autostrade 6/1973.
276. Verstraeten J.-Loi de de fatigue en flexion répétée des mélanges bitumineux. In: Bulletin de liaison 70/1974.
277. Verstraeten J.- Loi de fatigue des mélanges bitumineux. Influence des caractéristiques des bitumes et de la composition des mélanges. Rapport 161. CRR Bruxelles 1973.
278. Veyer P.- Contrôle de fabrication des enrobés In: Bulletin de liaison 44/1970.
279. Vivier M.- Contrôles et constatations à propos du béton bitumineux clouté. In: Bulletin de liaison 49/1970.
280. Wilson T.D.-Emploi des matériaux bitumineux dans la construction et le renforcement des chaussées en Grande-Bretagne. In: Revue générale des routes 443/1969.
281. Zakar P.- Bitumen Zsebkönyv. Budapest, 1961. Ed. Műszaki Könyvkiadó 1961.
282. Zarojanu H.- Utilitatea folosirii indicelui de grosime la dimensionarea sistemelor rutiere nerigide. In: Construcții în Transporturi vol.XL/1970.
284. Zarojanu H.- Calculul traficului global echivalent. In: Sesiune de comunicări ICPTT, București 1973, vol.IV.
285. Zarojanu H.- Corecția indicelui de grosime la deflexiune al sistemelor rutiere nerigide în funcție de caracteristicile pământului din pat.In: Sesiune de comunicări ISCT București 1973, vol.IV.



286. Zarojanu H.- Preocupări pentru determinarea unui indice de grosime în cadrul diverselor metode de dimensionare a sistemelor rutiere nerigide. In: Construcții în transporturi vol.XXV/1970.
287. Zichner C.-Action des sels de fusion et des pous à clous sur la tenue des revêtements routiers. In: revue generale des routes. 446/1969.
- 288 Documentele celui de al XV-lea Congres mondial de drumuri, Mexico 1975.
289. Documentele celui de al XVI-lea Congres mondial de drumuri, Viena 1979.
290. I.C.P.T.T. Rapoarte de cercetare 1981.