

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA"

T I M I S O A R A

FACULTATEA DE CONSTRUCTII

Ing. GHEORGHE LUCACI

CONTRIBUTII LA STUDIUL SI REALIZAREA UNOR MIXTURI
ASFALTICE SI IMBRACAMINTI BITUMINOASE CU CONSUM
REDUS DE ENERGIE

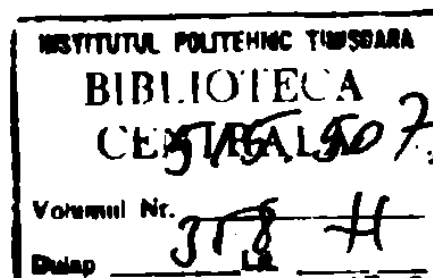
TEZA DE DOCTORAT

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

Conducător științific

Prof.dr.ing. LAURENTIU NICOARA

Timișoara, 1986



"Problema recuperării și refolosirii materialelor este una din problemele de importanță deosebită pentru dezvoltarea noastră viitoare, pentru asigurarea necesarului de materii prime"

NICOLAE CEAUSESCU

CUPRINS

Cap. I. <u>Unele aspecte cu referire la definiția și clasificarea</u> <u>mixturilor asfaltice și îmbrăcămintilor bituminoase</u>	1
1.1. Mixturi asfaltice	1
1.2. Îmbrăcăminți bituminoase	3
1.3. Tendințe actuale în producerea și punerea în operă a mixturilor asfaltice	4
Cap. II. <u>Particularități privind studiul calității mixturi-</u> <u>lor asfaltice și al îmbrăcămintilor bituminoase</u> ..	10
2.1. Studiul calității mixturilor asfaltice	10
2.1.1. Modulul complex al mixturilor asfaltice	12
2.1.2. Incercarea la oboseală a mixturilor asfaltice ..	19
2.1.3. Rezistența mixturilor asfaltice la deformații plastice	22
2.1.4. Caracteristicile bitumului	29
2.1.4.1. Determinarea penetrației bitumului	30
2.1.4.2. Determinarea punctului de înmuiere "inel și bilă" al bitumului	35
2.2. Investigarea calității îmbrăcămintilor bitumi- noase	39
2.2.1. Investigarea suprafeței de rulare a îmbrăcă- minților bituminoase	39
2.2.1.1. Investigarea uniformității suprafeței de rulare	40
2.2.1.2. Investigarea rugozității suprafeței de rulare	46
2.2.2. Investigarea capacității portante a complexelor rutiere nerigide	49
2.2.2.1. Prelucrarea automată a măsurătorilor e- fectuate cu deflectograful Lacroix	51
2.2.3. Unele defecțiuni ale îmbrăcămintilor bitumi- noase	55
2.2.4. Indicii de stare ai drumurilor	67
2.3. Concluzii și propuneri	75

Cap. III. <u>Mixturi asfaltice speciale</u>	79
3.1. Mixturi asfaltice cu bitum-sulf	80
3.2. Mixturi asfaltice cu bitum-polimeri	84
3.3. Mixturi asfaltice colorate	88
3.4. Mixturi asfaltice cu bitum-cauciuc	89
3.5. Mixturi asfaltice cu granulozitate discontinuă ...	97
3.6. Mixturi asfaltice cu emulsie bituminoasă cationi- că	98
3.7. Concluzii	110
Cap. IV. <u>Refolosirea mixturilor asfaltice din îmbrăcăminti bituminoase uzate</u>	113
4.1. Refolosirea "in situ" a mixturilor asfaltice din îmbrăcămințile bituminoase uzate	114
4.1.1. Termoreprofilarea	114
4.1.2. Termoregenerarea	116
4.1.3. Refolosirea "in situ" la cald	118
4.1.4. Refolosirea "in situ" la rece a mixturilor asfaltice	120
4.2. Refolosirea mixturilor asfaltice din îmbrăcămin- țile bituminoase în cadrul altor șantiere	123
4.2.1. Refolosirea la cald a mixturilor asfaltice ...	124
4.2.2. Refolosirea mixturilor asfaltice la cald cu adaos de nisip bituminos	127
4.2.3. Refolosirea la rece a mixturilor asfaltice pentru executarea sistemelor rutiere fără a- daos de materiale noi	128
4.2.4. Refolosirea mixturilor asfaltice recuperate din îmbrăcămințile bituminoase uzate, prin procedeul "PLOBAREC"	130
4.2.4.1. Materiale și utilaje necesare pentru pre- pararea mixturii asfaltice tip "PLOBAR- ec"	132
4.2.4.2. Elaborarea dozajelor pentru mixtura as- faltică tip "PLOBAREC"	133
4.2.4.3. Tehnologia de preparare a mixturii asfal- tice tip "PLOBAREC"	140
4.2.4.4. Punerea în operă a mixturii asfaltice tip "PLOBAREC"	142

4.2.4.5. Influența factorilor de compoziție asupra calității mixturilor asfaltice tip "PLOMBAREC".....	144
4.2.4.6. Comportarea în exploatare a mixturii asfaltice tip "PLOMBAREC".....	147
4.2.5. Refolosirea mixturilor asfaltice frezate la cald, fără adaos de materiale, la execuția straturilor rutiere.....	149
4.3. Eficiența economică și energetică a refolosirii mixturilor asfaltice din îmbrăcămințile bituminoase uzate.....	149
4.3.1. Eficiența economică și energetică a refolosirii la cald în centrale a mixturilor asfaltice recuperate la ranforsarea complexelor rutiere nerigide cu îmbrăcăminți din beton de ciment.....	153
4.3.2. Eficiența economică și energetică a refolosirii mixturilor asfaltice prin tehnologia "PLOMBAREC".....	155
4.4. Concluzii și propuneri.....	161
Cap.V. <u>Concluzii finale</u> - - - - -	165
5.1. Perfecționarea aparaturii de laborator.....	166
5.2. Calitatea îmbrăcăminților bituminoase.....	168
5.3. Mixturi asfaltice speciale.....	170
5.4. Refolosirea mixturilor asfaltice.....	172
5.5. Principalele contribuții originale ale tezei de doctorat și valorificarea rezultatelor.....	174
Bibliografie.....	177

PREFATA

Documentele de partid și de stat prevăd în etapa actuală utilizarea cu maximum de eficiență a tuturor resurselor de materii prime și materiale, refolosirea deșeurilor și subproduselor industriale, precum și introducerea unor tehnologii energoneintensive și de mare productivitate în condițiile realizării unor lucrări de calitate superioară.

Realizarea acestor deziderate constituie un imperativ major pentru cercetarea științifică, în acest sens impunându-se necesitatea elaborării unor teme care să rezolve problemele concrete pe care le ridică fiecare sector de activitate în condițiile obținerii unei eficiențe economice și energetice ridicate.

Alături de cercetătorii din alte domenii de activitate, celor din sectorul rutier le revin sarcini importante având în vedere că drumurile, împreună cu celelalte căi de transport trebuie să asigure, în condiții de confort, siguranță și eficiență, deplasările de oameni și mărfuri generate de necesitățile întregii economii naționale.

Având în vedere că cca 93% din lungimea drumurilor publice modernizate de la noi din țară sunt prevăzute cu îmbrăcămînți bituminoase, o pondere însemnată a temelor de cercetare vizează rezolvarea aspectelor pe care le ridică activitatea de întreținere a acestor tipuri de îmbrăcămînți în vederea asigurării unei stări de viabilitate corespunzătoare.

Cercetările care se efectuează pe plan național și internațional sînt orientate spre proiectarea și realizarea unor mixturi asfaltice și îmbrăcămînți bituminoase care să preia în bune condiții sarcinile generate de traficul greu și intens pe toată durata de exploatare. De asemenea, se remarcă preocupările legate de realizarea unui control de calitate operativ și eficient, respectiv de determinare a stării tehnice și a evoluției acestora în vederea adoptării unei strategii de întreținere optime. Introducerea unor tehnologii energoneintensive în sectorul rutier vizează economisirea materialelor deficitare, a combustibilului și energiei în condițiile asigurării parametrilor de calitate.

In contextul acestor preocupări, teza de doctorat prezintă principalele rezultate obținute de autor în urma cercetărilor efectuate în direcția realizării unor mixturi asfaltice și îmbrăcămînți bituminoase cu consum redus de energie.

Lucrarea cuprinde 5 capitole, și anume:

Cap.1. Unele aspecte cu referire la definiția și clasificarea mixturilor asfaltice și îmbrăcămînților bituminoase.

Cap.2. Particularități privind studiul calității mixturilor asfaltice și al îmbrăcămînților bituminoase.

Cap.3. Mixturi asfaltice speciale.

Cap.4. Refolosirea mixturilor asfaltice din îmbrăcămînți bituminoase uzate.

Cap.5. Concluzii finale.

✽

✽

✽

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

De asemenea, mulțumește pentru sprijinul acordat la elaborarea lucrării colegilor din colectivul de drumuri al Catedrei de drumuri, fundații și instalații în construcții, precum și Direcției Drumurilor din Ministerul Transporturilor și Telecomunicațiilor, Direcției Drumuri și Poduri Timișoara în mod deosebit, celorlalte unități din producție, cercetare și proiectare care l-au ajutat în experimentarea și generalizarea soluțiilor și tehnologiilor elaborate.

Cap.I. Unele aspecte cu referire la definiția și clasificarea mixturilor asfaltice și îmbrăcăminților bituminoase

În activitatea practică de construcție, modernizare și întreținere a drumurilor se utilizează frecvent mixturile asfaltice. Folosirea acestora pentru realizarea diverselor straturi rutiere este justificată de necesități tehnice, economice, tehnologice și mai ales de calitățile mixturilor asfaltice care permit realizarea unor îmbrăcăminți bituminoase ce oferă utilizatorilor confort și siguranță.

1.1. Mixturi asfaltice

Mixturile asfaltice sînt materiale de construcții realizate din amestecuri obținute pe baza unor dozaaje judicios stabilite, din agregate naturale sau artificiale și filer aglomerate cu bitum printr-o tehnologie adecvată.

Utilizarea lor este larg răspîndită în tehnica rutieră la realizarea îmbrăcăminților bituminoase, la ranforsarea sistemelor rutiere existente precum și la repararea îmbrăcăminților rutiere existente în cadrul lucrărilor de întreținere a drumurilor.

În prezent îmbrăcămințile bituminoase acoperă peste 95% din lungimea drumurilor cu îmbrăcăminți moderne existente în lume. Producția mondială de mixturi asfaltice atinge aproape 800 milioane tone anual. Se pot cita producții de mixturi asfaltice de ordinul a 400 milioane tone în S.U.A. în anul 1978 (fig.1.1) și aproape 200 milioane tone în numai cîteva țări din Europa (fig.1.2) [90].

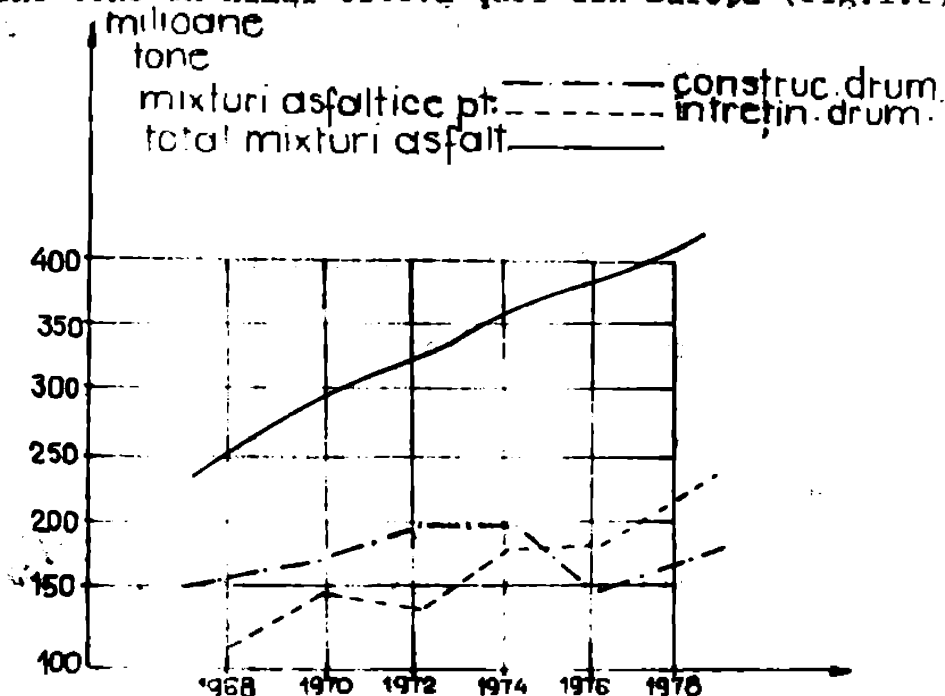


Fig.1.1. Dinamica producției de mixturi asfaltice în S.U.A.

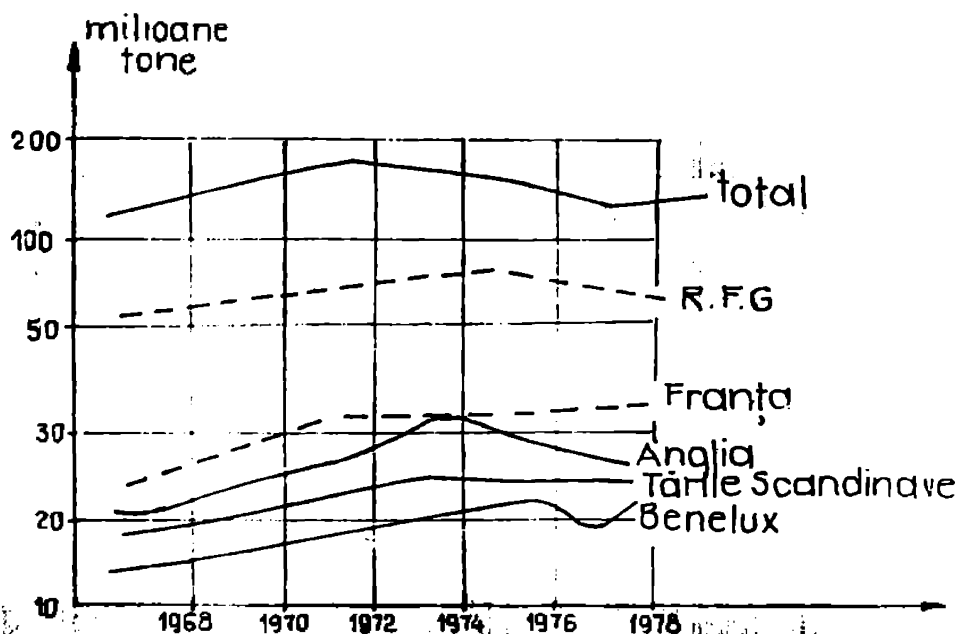


Fig.1.2. Dinamica producției de mixturi asfaltice în unele țări din Europa.

Din fig.1.1 se poate remarca faptul că începând din 1974, în SUA producția de mixturi asfaltice pentru întreținerea drumurilor este superioară celei pentru realizarea de lucrări noi.

Diversitatea materialelor care servesc la prepararea mixturilor asfaltice, alături de multiplele posibilități de utilizare a acestora, în scopuri și în condiții de solicitare diferite, determină o mare varietate a tipurilor de mixturi asfaltice. În tabelul 1.1 se prezintă a clasificare a mixturilor asfaltice, utilizate la noi în țară în domeniul construcției și întreținerii drumurilor [91].

Betoanele asfaltice sînt amestecuri alcătuite din cribluri, nisip și filer, în anumite proporții, aglomerate cu bitum prin tehnologii adecvate. De regulă, betoanele asfaltice se utilizează pentru executarea îmbrăcăminților bituminoase grele (permanente), pe drumuri cu trafic intens și prezintă caracteristici fizico-mecanice superioare.

Mixturile asfaltice în compoziția cărora intră nisip, filer și bitum se numesc mortare asfaltice, care au o aplicabilitate foarte restrînsă deoarece conțin un procent ridicat de bitum iar suprafețele îmbrăcăminților executate din mortar asfaltic sînt insuficient de rugoase.

Anrobatele bituminoase sînt mixturi asfaltice alcătuite din agregate naturale locale (balast, nisip, pietriș, deșeuri de carieră etc.) neconcasate sau concasate parțial ori total, filer și bitum. Se folbesc de regulă la executarea îmbrăcăminților bitu-

minoase ușoare și a straturilor de bază. Acestea oferă specialiștilor de drumuri largi posibilități de valorificare a resurselor locale în scopul realizării unor lucrări cu consum redus de energie și cu cheltuieli cât mai reduse.

Pentru producerea mixturilor asfaltice se utilizează diverse tipuri de instalații, cu productivități cuprinse între 7...1.000 t/h. După procesul tehnologic de preparare se deosebesc mixturi asfaltice preparate "la cald" care utilizează ca liant bitumul obișnuit pentru drumuri și mixturi asfaltice preparate "la rece" care folosesc emulsiile bituminoase, suspensie de bitum flierizat sau bitum tăiat.

O categorie de mixtură asfaltică, specifică țării noastre, o constituie mixturile asfaltice cu nisip bituminos, acest material găsindu-se în țara noastră în importante zăcăminte naturale [129], [131].

Botoanele asfaltice speciale prezintă caracteristici deosebite în ce privește proprietățile fizico-mecanice, obținute prin utilizarea unor agregate naturale foarte bune și în special a unor lianți bituminoși aditivați. Acestea se folosesc de regulă în condițiile unor solicitări deosebite generate de trafic, respectiv de condițiile de exploatare.

1.2. Îmbrăcăminți bituminoase

Îmbrăcămințile bituminoase rutiere sînt îmbrăcămințile în alcătuirea cărora intră bitumul. În funcție de caracteristicile materialelor din care sînt realizate și de durata de exploatare proiectată, îmbrăcămințile rutiere bituminoase pot fi grupate astfel [91]:

- . îmbrăcăminți bituminoase provizorii;
- . îmbrăcăminți bituminoase ușoare;
- . îmbrăcăminți bituminoase grele;
- . îmbrăcăminți bituminoase speciale.

În tabelul 1.2 se prezintă schema de clasificare a îmbrăcăminților bituminoase, cuprinsînd tipurile de îmbrăcăminți ce se pot realiza la noi în țară [91].

Îmbrăcămințile bituminoase provizorii se proiectează și se execută pe drumuri cu trafic redus, de interes local, pentru o durată de exploatare sub 7 ani. În general, se realizează din macadam protejat cu tratamente bituminoase.

Imbrăcămințile bituminoase ușoare (semipermanente) au la noi în țară o mare extindere, proiectându-se de regulă pentru durate de exploatare de 8...12 ani, pentru drumuri cu trafic redus și mijlociu. Se realizează în mod obișnuit din macadamuri bituminoase, anrobate bituminoase, mortare asfaltice pe macadam, betoane asfaltice cu nisip bituminos, utilizându-se în principal materiale locale, ceea ce le conferă avantaje economice și energetice importante.

Imbrăcămințile bituminoase grele (permanente) se aplică pe drumuri cu trafic greu și intens, pentru durate de exploatare de peste 12 ani. Se realizează din betoane asfaltice sau asfalt turnat dur și prezintă rezistențe mecanice superioare, asigurând în același timp condiții de confort și siguranță participanților la trafic.

Imbrăcămințile bituminoase speciale prezintă anumite caracteristici deosebite față de cele obișnuite (culoare, rezistențe mecanice mari, etanșeitate, etc.), ceea ce le recomandă pentru aplicare în condiții deosebite de solicitare. Ele sînt mai scumpe și necesită tehnologii speciale pentru realizare, ceea ce restrînge aplicabilitatea acestora la anumite situații deosebite.

Imbrăcămințile bituminoase fac parte din categoria îmbrăcăminților rutiere moderne, fiind cele mai frecvent utilizate la noi în țară (tabelul 1.3). Larga lor aplicabilitate se datorește calităților deosebite pe care acestea le oferă participanților la circulație, adaptabilității acestora la condițiile de o mare diversitate întâlnite în activitățile de construcție și întreținere a drumurilor precum și faptului că acestea se pretează foarte bine la strategia de modernizare și întreținere a rețelei rutiere pe baza principiului ameliorărilor progresive prin consolidări succesive. Se remarcă faptul că 92,8% din lungimea drumurilor modernizate sînt prevăzute cu îmbrăcăminți bituminoase (tabelul 1.3). Aceasta are implicații importante asupra strategiei optime de întreținere care trebuie adoptată.

1.3. Tendințe actuale în producerea și punerea în operă a mixturilor asfaltice

Documentele celui de al VIII-lea Congres mondial de drumuri (Sydney 1983) [91], [147], [148], pun în evidență preocupările deosebite pe care le manifestă specialiștii din sectorul rutier în ceea ce privește realizarea unor îmbrăcăminți bituminoase durabile care să satisfacă în același timp condițiile de confort și siguranță

Mixturi
asfaltice

Betoane asfaltice

Cu executia la cald

- Beton
- Beton
- Beton
- Beton
- Beton
- Beton
- Beton
- Beton

Cu executia la rece

- Beton
- Beton

Asfalt turnat

- Asfa
- Asfa

Mortare asfaltice

Cu executia la cald

- Mort
- Mort
- Mort

Cu executia la rece

- Mort

Anrobate
bituminose

Cu executia la cald

- Anro
- Anro

Cu executia la rece

- Anro
- Anro

penetrat cu bitum la cald (M.p. 17)
semipenetrat cu bitum la cald (M.sp. 5)
îndopat (M. i)
penetrat cu emulsie (M.p. 65)
penetrat cu subif. (M.p. 33)
bituminoase cu bitum cald (A.b. 31)
bituminoase cu nisip bituminos (A.b. 31 n)
bituminoase cu subif. (A.b. 33)
bituminoase cu emulsie (A.b. 65)
faltic cu bitum cald (M.ac si Ma.)
faltic cu nisip bituminos (M.a. 11 n.b.)
asfaltic cu subif (M.a. 33)

minos (B.a. 16 n. b.)
mare (B.a. 25)
blură (B.a. 8 si B.a. 16)
a. 16 r.)
clutaj (B.a. 16. o)
ad. 25 si B.ad. 31)

16)

bituminos

16. e)
ad. 25)

Situația drumurilor publice din România la 1 ianuarie 1985 Tabelul 1.3.

Categorie drumurilor	Lungimea drumurilor lor	Drumuri publice					Drumuri din pământ
		Drumuri modernizate					
		Total	Imbrăcămintă bituminoasă	Imbrăcămintă din beton de ciment	Imbrăcămintă din piatră fasonată	Drumuri pietruite	
Drumuri naționale km % din total DN * % din total DP	14 666 100 20,2	14 327 97,7	12 989 85,5	1 497 10,2	241 1,7	339 2,3	
Drumuri județene km % din total DJ % din total DP	26 967 100 37,0	17 301 64,2	16 697 61,9	335 1,2	269 1,1	8 346 31,0	1 320 4,5
Drumuri comunale km % din total DC % din total DP	31 166 100	4 097 13,2 42,8	3 885 12,4	127 0,4	85 0,4	19 189 61,6	7 880 25,1
Total drumuri publice km % din total modernizat % din total DP	72 799 - 100	35 725 100 49,1	33 171 92,8	1 959 5,5	595 1,7	27 874 38,1	9 200 12,6

* Drumuri publice

necesar a fi asigurate participanților la circulație. Dintre acestea se menționează:

- . utilizarea la prepararea mixturilor asfaltice a unor bitumuri mai dure (de penetrații 40/50, 60/70) mai ales în straturile de rulare în scopul măririi stabilității mixturii asfaltice și, în consecință, al reducerii riscului de apariție a deformațiilor plastice (făgașe, văluriri), având în vedere creșterea sarcinii pe osie a autovehiculelor;

- . aditivarea bitumurilor în scopul obținerii unei adezivități mai bune liant-agregat, ceea ce conferă mixturilor asfaltice caracteristici superioare. Se aplică aceste tehnologii mai ales pentru prepararea mixturilor asfaltice folosite la executarea straturilor de uzură;

- . folosirea unor produse care pot substitui o parte din bitum și care, în unele cazuri conduc la îmbunătățirea proprietăților bitumurilor și a mixturilor asfaltice preparate cu acestea (sulf, cauciuc, mase plastice etc.);

- . realizarea unor betoane asfaltice cu un volum de goluri sub 5%, ceea ce conduce la obținerea unor îmbrăcăminti bituminoase durabile, impermeabile și cu performanțe fizico-mecanice superioare;

- . experimentarea anrobatorilor deschise drenante care au un volum ridicat de goluri și care au dat rezultate bune în ceea ce privește rugozitatea și capacitatea de drenare a apei;

- . proiectarea și executarea unor straturi din mixturi asfaltice de grosimi mari, între 6...30 cm pentru stratul de bază, 4...9 cm pentru stratul de legătură și 4...10 cm pentru stratul de uzură;

- . folosirea pentru straturi de bază în majoritatea țărilor, cu bune rezultate, a agregatelor naturale neconcasate (pietriuri) cu dimensiunea maximă a granulelor de 40 mm. De asemenea se manifestă o serie de tendințe privind folosirea agregatelor netradiționale și a agregatelor de performanțe mai scăzute mai ales pentru drumurile cu trafic redus;

- . utilizarea în straturile de legătură și de uzură ale îmbrăcăminte bituminose numai a agregatelor concasate și a nisipului natural, dimensiunea maximă a granulelor fiind de 25 mm;

- . creșterea procentului de criblură în mixtura asfaltică în vederea măririi stabilității acesteia;

- . măririi rezistenței la uzură a mixturilor asfaltice prin folosirea criblurilor de foarte bună calitate, având coeficientul Los Angeles sub 25%;

. pe timp friguros se recomandă executarea unor straturi de grosime mai mare;

. nu se admite în nici un caz executarea straturilor de uzură iarnă, pentru realizarea acestora fiind necesar să se lucreze la temperaturi ale mediului ambiant de peste 5 °C;

. în privința compactării se constată tendința de a folosi compactoarele pe pneuri imediat în urma finisorului. Pentru compactarea finală se utilizează compactoare cu rulouri netede;

. se constată o creștere a exigențelor în ceea ce privește uniformitatea și rugozitatea suprafeței de rulare și se recomandă utilizarea de mixturi asfaltice rugoase pentru autostrăzi și pentru drumuri cu viteze mari de circulație.

Având în vedere faptul că bitumul este un material energo-intensiv se remarcă preocupările specialiștilor de a găsi soluții pentru re folosirea mixturilor asfaltice din îmbrăcăminți bituminoase uzate [8], [11], [126], [127]. În cazul refolosirii se are în vedere faptul că bitumul îmbătrânește în timp și își modifică semnificativ caracteristicile, ceea ce implică adoptarea unor tehnologii care să permită regenerarea proprietăților acestuia.

În domeniul investigării drumurilor se remarcă dezvoltarea permanentă a aparatului de control, automatizarea procesului de prelucrare a datelor, care asigură un rezultat sporit și în consecință o eficiență superioară.

Cap. II. Studiul calității mixturilor asfaltice și al îmbrăcămintelor bituminoase

Conjunctura actuală din sectorul rutier, marcată de criza de energie și de materiale, îndeosebi criza de bitum impune abordarea unei atenții deosebite calității lucrărilor executate în așa fel încât acestea să prezinte o bună comportare în exploatare în vederea asigurării eficienței transporturilor rutiere.

Studiile efectuate [134] au pus în evidență faptul că circulând pe drumuri cu o stare de viabilitate necorespunzătoare se înregistrează pierderi însemnate concretizate prin:

- . consum sporit de combustibil și lubrifianți;
- . uzură accentuată a anvelopelor;
- . uzură prematură a autovehiculelor;
- . cheltuieli bănești suplimentare.

De o deosebită importanță în asigurarea calității lucrărilor este asigurarea efectuării unui control riguros și eficient astfel încât deficiențele constatate să poată fi înlăturate operativ. Această presupune realizarea controlului de calitate "înainte" și "în timpul" execuției lucrărilor în ceea ce privește calitatea materialelor utilizate și realizarea parametrilor proiectați pentru lucrările respective. În ceea ce privește controlul "după" execuție, acesta are caracter de constatare fiind neeficient, deoarece pentru remedierea deficiențelor constatate sînt necesare importante cheltuieli de fonduri și consum de energie.

Controlul calității drumurilor în timpul exploatarii are drept scop stabilirea caracteristicilor de stare ale acestuia pe baza căroră se poate adopta o strategie de întreținere rațională a rețelei rutiere în vederea ameliorării condițiilor de circulație. În general se urmărește aprecierea calității drumului din punct de vedere al planității, rugozității, capacității portante și al stării de degradare a suprafeței de rolare.

2.1. Studiul calității mixturilor asfaltice

Caracteristicile mixturilor asfaltice constituie unu dintre factorii importanți de care depinde calitatea îmbrăcămintei bituminoase. Aprecierea calității mixturilor asfaltice se face prin compararea valorilor efective ale diverselor caracteristici ale acestora cu valorile celorlalte caracteristici specificate de procedurile tehnice în funcție de scopul în care se utilizează mixturile asfaltice (straturi de bază, de legătură sau îmbrăcăminte), de solicitările co

urmează a le suporta (caracteristicile traficului) și de condițiile de exploatare (temperatură, condiții hidrologice etc.).

Mixturile asfaltice utilizate pentru execuția îmbrăcămintelor rutiere bituminosase trebuie să satisfacă cât mai bine posibil următoarele cerințe [113]:

- . să permită realizarea unei suprafețe de rulare corespunzătoare atât din punct de vedere al siguranței circulației (proprietăți antiderapante), cât și în ceea ce privește confortul (uniformitate);
- . să reziste solicitărilor provenite din trafic în condițiile păstrării calităților de confort și siguranță. Trebuie avute în vedere atât solicitările verticale cât și cele tangențiale;
- . să reziste solicitărilor generate de agenții externi, alții decât traficul: apa, înghețul, soarele, fondanții chimici, produsele petroliere etc.

Toate proprietățile care să satisfacă aceste cerințe trebuie îndeplinite simultan, dar având în vedere faptul că unele dintre acestea sînt contradictorii se impune realizarea unui compromis ținînd seama de anumite priorități relative date de condițiile specifice în care îmbrăcămintea bituminosă urmează a fi exploatată. Așa de exemplu, trebuie acordată atenție deosebită:

- . proprietăților antiderapante, cu cât viteza de circulație este mai mare;
- . rezistenței la deformații plastice (făgașe, vâluriri), cu cât traficul este mai intens, sarcina pe osie mai mare și temperaturile mai ridicate;
- . rezistenței la acțiunea apei, cu cât climatul este mai umed sau utilizarea fondanților chimici în timpul iernii mai frecventă.

În prezent, studiul caracteristicilor mixturilor asfaltice face apel la o serie de încercări de laborator, foarte diversificate de la țară la țară și de la laborator la laborator. Unele dintre aceste încercări pot fi considerate drept "clasice" avînd în vedere aplicarea lor curentă în marea majoritate a laboratoarelor în scopul proiectării mixturilor asfaltice și al verificării calității acestora. Astfel, în majoritatea cazurilor se utilizează încercarea Marshall, independent sau asociată cu încercarea de compresiune simplă (încercarea Duriez). Aceste încercări oferă informații referitoare la stabilitate și rezistențele mecanice ale mixturilor asfaltice, prezentînd avantajul simplității, rapidității de efectuare și de interpretare prin compararea valorilor efective obținute cu cele de referință, dar se dovedesc însă insuficiente avînd în vedere creșterea solicitărilor din

trafic care impune noi cerințe în ceea ce privește cunoașterea comportării reale a mixturilor asfaltice.

În aceste condiții, în ultimii ani, numeroși cercetători au elaborat noi metode de studiu al mixturilor asfaltice pentru o mai bună cunoaștere a proprietăților acestora. Noile metode de încercare au fost concepute fie pentru a explica apariția anumitor defecțiuni și de a putea interveni eficient în faza de proiectare a mixturilor asfaltice, fie pentru a încerca să se prevadă comportarea în exploatare a acestora și să se furnizeze date indispensabile calculului de dimensionare a complexelor rutiere cu straturi bituminose. Dintre aceste încercări, care pun în evidență proprietățile fundamentale ale mixturilor asfaltice se menționează determinarea modulului complex, a rezistenței la deformații plastice și încercarea la oboseală. Pentru efectuarea acestora este nevoie însă de aparatură complexă, iar timpul necesar este relativ mare, ceea ce nu permite introducerea acestor încercări în activitatea curentă. Având însă în vedere importanța parametrilor pe care îi pot furniza aceste încercări specialiștilor din proiectare, execuție și întreținere au fost investigate posibilitățile de corelare a acestor caracteristici cu cele oferite de încercările clasice, găsindu-se soluții interesante și deosebit de utile [50], [121], [113], [51]. În acest sens se impune determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice și ale lianților bituminosi în mod cât mai exact pentru a obține în final rezultate cât mai apropiate de realitate în calculul, pe bază de corelație, al proprietăților fundamentale ale mixturilor asfaltice.

2.3.1. Modulul complexului mixturilor asfaltice

Fundamentarea teoretică a dimensionării complexelor rutiere se face pe baza analizei deformaturilor și deformațiilor unui sistem multi-strat elastic. Calculul practic necesită, printre altele, cunoașterea exactă a parametrilor care caracterizează comportarea mecanică a materialelor care intră în alcătuirea diferitelor straturi ale complexului rutier. Materialele pur elastice pot fi caracterizate prin două constante: modulul lui Young și coeficientul lui Poisson.

Materialele care au în componența lor lianți hidrocarburați, în speță mixturile asfaltice, nu pot fi caracterizate prin acești doi parametri având în vedere comportarea lor reală. Prezența bitumului conferă mixturii asfaltice o comportare viscoelastică și termoplastică a cărei caracteristică principală este că atât proprietățile elastice, cât și cele viscoase depind de temperatură și de viteza de aplicare a forțelor exterioare. Consecința acestui fapt este că parametrii ce caracterizează materialele ele care sînt înlocuiți în acest sens în

două funcții complexe (modulul complex și numărul lui Poisson) [50], [121].

Dacă asupra unei mixturi asfaltice se aplică un efort $\sigma_0 \sin \omega t$ deformația relativă care rezultă $\epsilon_0 \sin (\omega t - \varphi)$ este tot de formă sinusoidală, de aceeași frecvență însă defazată cu unghiul φ , numit unghi de pierdere. Unghiul φ dă indicații asupra predominanței caracterului vâscos sau elastic al materialului (pentru un material elastic $\varphi = 0$, iar pentru un material vâscos $\varphi = 90^\circ$).

Se definește modulul de rigiditate, S , ca raportul dintre amplitudinea efortului σ_0 și a deformației (ϵ_0).

$$S = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0} \quad (2.1)$$

Modulul complex al unui material viscoelastic este numărul complex, E^* , care are modulul egal cu S și argumentul egal cu φ .

$$E^* = S \cdot e^{i\varphi} = S (\cos \varphi + i \sin \varphi) \quad (2.2)$$

Noțiunea de modul complex a fost introdusă pentru generalizarea legilor mecanice valabile pentru corpurile elastice. Utilizînd modulul complex, formulele mecanicii utilizate pentru corpurile elastice pot fi aplicate și în cazul materialelor viscoelastice.

Determinarea modulului complex al bitumului sau al mixturilor asfaltice necesită aparatură complexă, costisitoare și personal calificat. Avînd în vedere aceste inconveniente au fost propuse mai multe metode pentru calculul modulului complex care să utilizeze date ce se pot obține operativ, prin încercări clasice.

* Experimental, modulul complex al mixturilor asfaltice se poate determina prin încercarea la oboseală a unei epruvete supusă la încovoieră repetată, conform schemei din fig. 2.1. Încercarea permite înregistrarea amplitudinii eforturilor și deformației cu ajutorul cărora se poate determina modulul de rigiditate, precum și unghiul de pierdere φ .

Din punct de vedere practic este importantă cunoașterea modulului de rigiditate, unghiul de pierdere φ servind la interpretarea fundamentală a comportării mixturii asfaltice.

Interpretarea statistică a numeroase rezultate experimentale obținute prin încercări asupra epruvetelor de mixturi asfaltice cu compoziții diferite și cu bitum de diverse tipuri, a condus la concluzia că modulul de rigiditate este influențat de fiecare dintre cei doi componenți de bază ai mixturii asfaltice: bitumul și agregatul natural. Astfel, a apărut ca necesară determinarea pro-

prietățile mecanice ale bitumului pur. În acest scop, van der Poel a elaborat o nomogramă (fig. 2.2) care permite determinarea modulu-

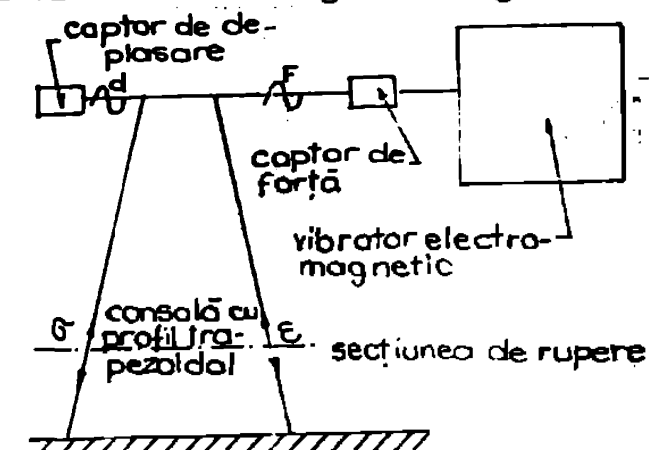


Fig.2.1. Principiul încercării la oboseală.

lui de rigiditate al bitumului, S_b , pentru diferite frecvențe ale încărcării și temperaturii de lucru, pornind de la cunoașterea a două caracteristici principale ale bitumului: indicele de penetrație (IP) și punctul de înmuiere în bilă (T_{IB}). Nomograma este rezultatul a numeroase încercări experimentale și avînd în vedere dispersia destul de mare a rezultatelor încercărilor precum și erorile care pot interveni în aprecierea parametrilor de lucru (penetrație și punct de înmuiere) se poate afirma că valorile furnizate de nomogramă pot fi considerate mai degrabă ca un ordin de mărime al modulu-

lui de rigiditate al bitumului decît o valoare exactă a acestuia [50].

Indicele de penetrație IP se determină din relația 2.3.

$$\frac{20 - IP}{10 + IP} = \frac{\lg P_1 - \lg P_2}{T_1 - T_2} \quad (2.3)$$

în care P_1 și P_2 sînt penetrațiile bitumului, în 1/10 mm, la temperaturile T_1 și respectiv T_2 .

Valorile modulu-

lui de rigiditate obținute cu ajutorul nomogramei 2.2 pot să difere față de valorile reale de două ori, iar ținînd seama de domeniul foarte mare de variație al acestei caracteristici (între $10^{-4} \dots 10^9$ N/m²) această eroare este acceptabilă 50 %.

Majoritatea metodelor de calcul al modulu-

lui de rigiditate al amestecurilor asfaltice utilizează valorile modulu-

$$S_m = S_b \left(1 + \frac{2,5}{n} \frac{C_v}{1 - C_v} \right)^n \quad (2.4)$$

$$n = 0,83 \lg \frac{4 \cdot 10^4}{S_b} \quad (2.5)$$

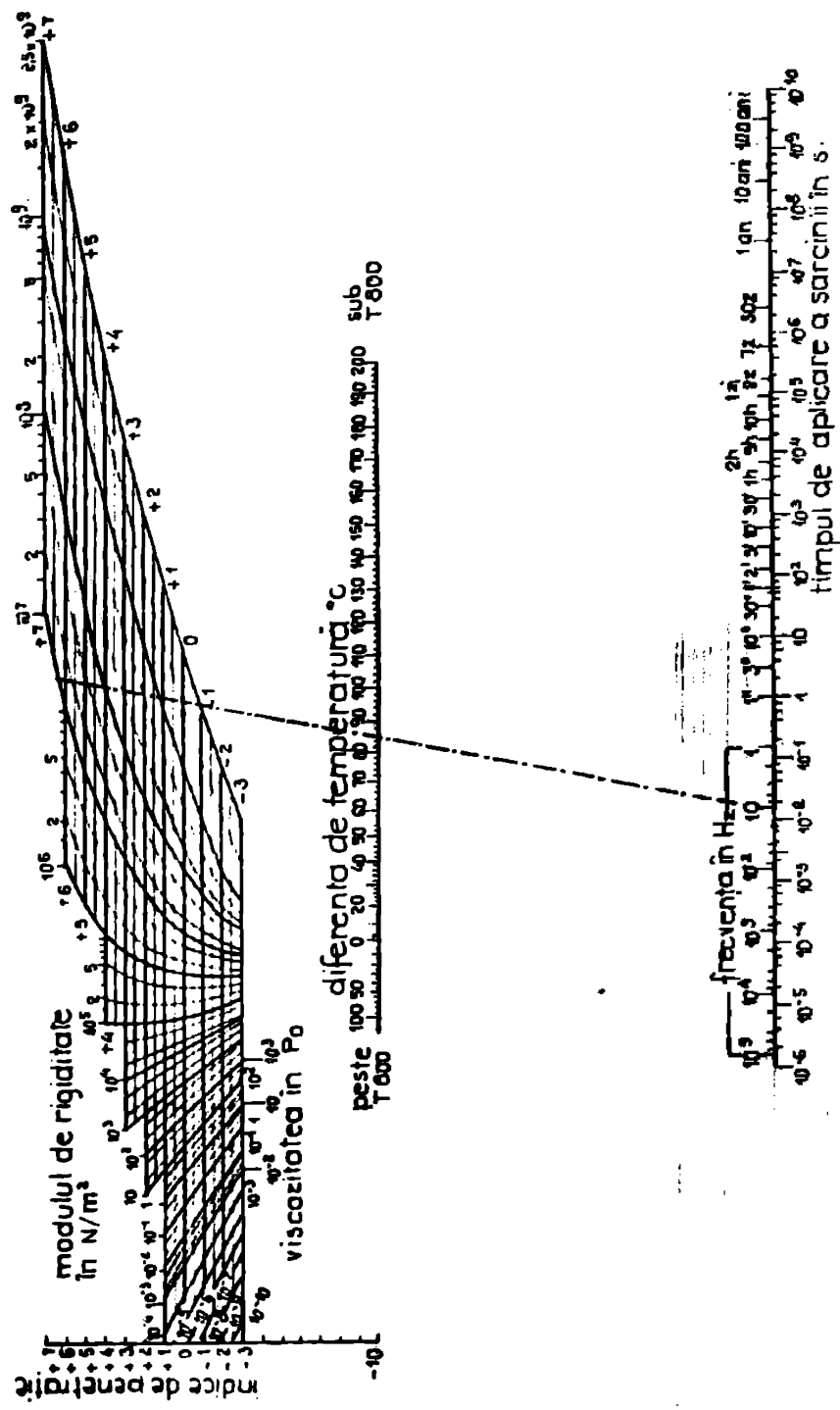


Fig. 2.6. Nomogram pentru determinarea modului de rigiditate al betonului asfaltic.

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

Relația 2.4 este valabilă pentru rețeaua asfaltică și pentru calculul corectat este aplicabilă în volumul

de lucru de polimer în cantități mici și pentru valoarea de proiectare a betonului asfaltic, G_p (1).

$$G_p = \frac{E_p}{2(1 + \mu_p)}$$

(1)

Alți cercetători au căutat să stabilească relații de corelare între modulul de rigiditate al amestecurilor asfaltice și diverșii parametri. În general s-a constatat că acesta este influențat de:

- . tipul bitumului utilizat;
- . temperatura de lucru;
- . timpul de încercare;
- . compoziția amestecului asfaltic (volumul de goluri, concentrație agregat).

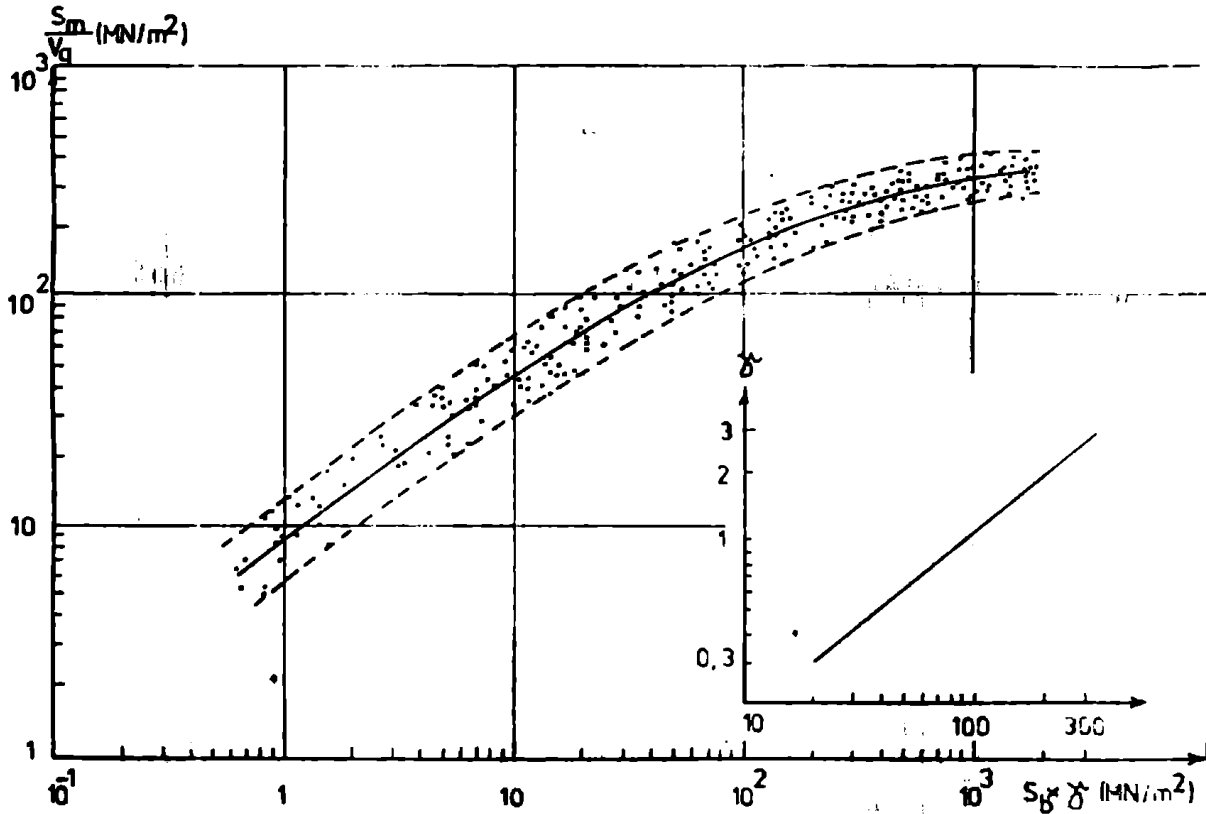


Fig. 2.3. Variațiile raportului S_m/V_g în funcție de produsul $S_b \delta$.

În fig. 2.3 se prezintă variația raportului dintre modulul de rigiditate și volumul agregatului (S_m/V_g) în funcție de produsul dintre modulul de rigiditate al bitumului și un factor δ care depinde de penetrația bitumului, obținută de Verstraeten [50] urma încercărilor experimentale.

Volumul agregatului V_g se poate calcula cu relația 2.1.

$$V_g = C_v (1-v) \quad (2.2)$$

În general, metodele de determinare a modulului de rigiditate prezentate mai sus au fost elaborate în urma interpretării rezultatelor încercărilor efectuate pe tipuri relativ restrinse de amestecuri asfaltice, ceea ce limitează posibilitățile de utilizare ale acestora.

În scopul stabilirii unor relații de corelare care să aibă un caracter general, au fost efectuate încercări experimentale pe o

gamă foarte largă de mixturi asfaltice [121], în baza cărora s-a elaborat o metodologie bine fundamentată teoretic și experimental pentru determinarea modului complex al mixturilor asfaltice, respectiv a elementelor acestuia: modulul de rigiditate (S_m) și unghiul de pierdere (Ψ_m). Se ține seama de modul în care anumite caracteristici ale mixturii asfaltice influențează modulul complex în diferite condiții de solicitare (temperatură, timp de solicitare). Astfel, pentru $S_b = 10^8 \text{ N/m}^2$, modulul de rigiditate se corelează foarte bine cu volumul agregatului (V_g) (relația 2.9, fig. 2.4).

$$\lg S_m = 8 + 10^{-3} (5,68 V_g + 0,2135 V_g^2) \quad (2.9)$$

De asemenea, modulul de rigiditate maxim, obținut pentru valoarea maximă a modului de rigiditate al bitumului ($S_b = 3 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$) se corelează foarte bine cu mărimea $\frac{100 - V_g}{V_g + V_b}$ (relația 2.10, fig. 2.5)

$$\lg S_m = 10,82 - 1,342 \frac{100 - V_g}{V_g + V_b} \quad (2.10)$$

Avînd în vedere faptul că modulul de rigiditate al mixturii asfaltice variază diferențiat cu modulul de rigiditate al bitumului pentru diferite tipuri de mixturi asfaltice (fig. 2.6) s-a căutat să se coreleze panta curbei $\lg S_m = f(\lg S_b)$ cu un parametru, cea mai bună legătură găsindu-se cu volumul bitumului, V_b .

Pentru $S_b = 5 \cdot 10^5 \dots 10^8 \text{ N/m}^2$ și $V_b < 45\%$ este valabilă relația 2.11 (fig. 2.7).

$$p = 0,6 \lg \frac{1,37 V_b^2 - 1}{1,33 V_b - 1} \quad (2.11)$$

în care: p este panta curbei $\lg S_m = f(\lg S_b)$;

V_b - volumul bitumului în mixtura asfaltică, în %.

Pentru $S_b = 10^5 \dots 10^9 \text{ N/m}^2$ panta curbei nu depinde nici de volumul bitumului și nici de volumul agregatului (2.12)

$$p = \frac{1,12}{\lg 30} (A - B) \quad (2.12)$$

în care:

$A = \lg S_m$ pentru $S_b = 3 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$;

$B = \lg S_m$ pentru $S_b = 10^8 \text{ N/m}^2$.

Pentru $S_b = 10^5 \dots 3 \cdot 10^9$, valorile modului de rigiditate se obțin prin interpolare.

Pe baza corelațiilor stabilite, a fost întocmit tabelul nr. 1 din anexa nr. 1.

515.507
358 H

fig. 2.8 care permite determinarea operativă a modului de rigiditate al mixturilor asfaltice.

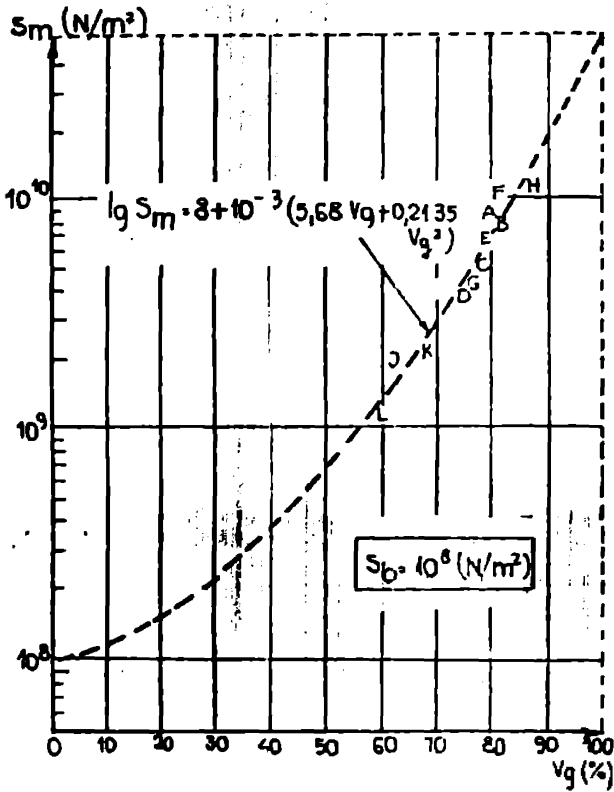


Fig. 2.4. Influența volumului agregatului asupra modului de rigiditate.

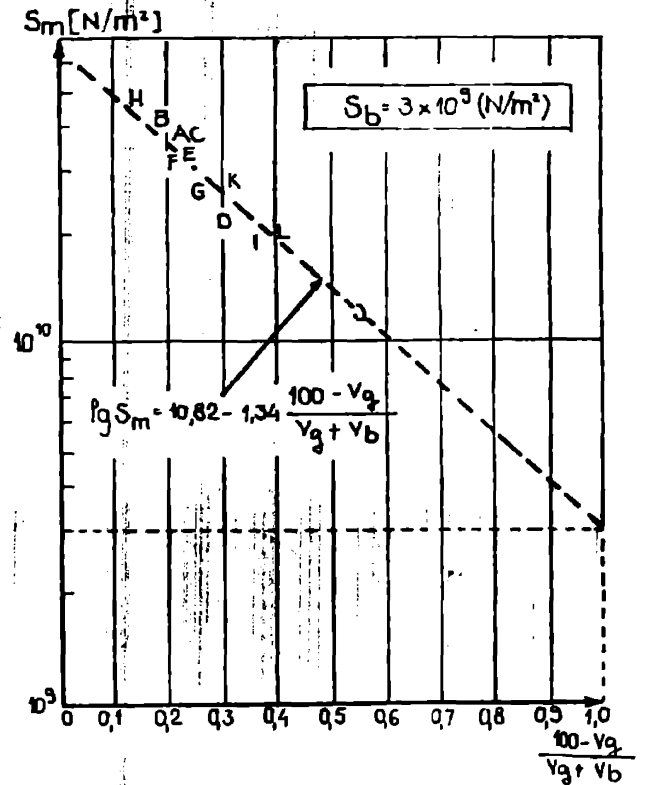


Fig. 2.5. Influența raportului $\frac{100 - V_g}{V_g + V_b}$ asupra modului de rigiditate.

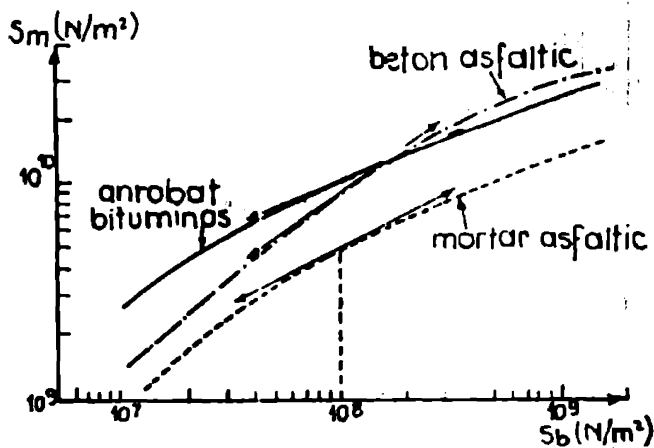


Fig. 2.6. Influența modului de rigiditate al bitumului asupra modului de rigiditate al mixturii asfaltice.

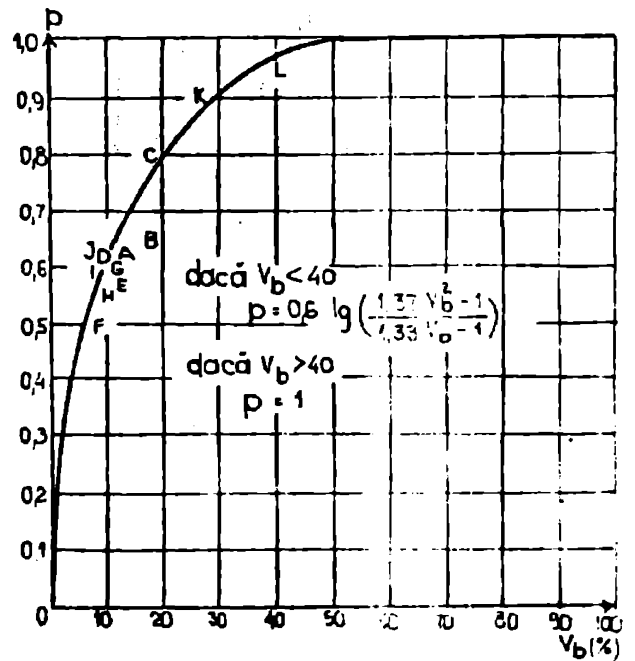
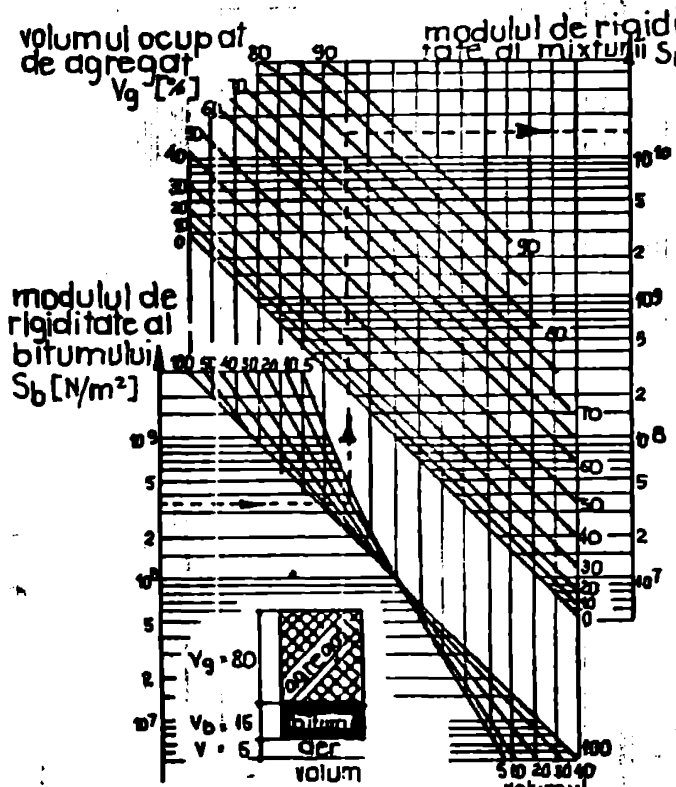


Fig. 2.7. Influența volumului de bitumen asupra modului de rigiditate al mixturii asfaltice.

Calculul se poate face și analitic, cu ajutorul relațiilor de corelare stabilite.

- Calculul unghiului de pierdere φ_m se face cu ajutorul relației 2.13 sau a nomogramei din fig. 2.9, valabile pentru moduli de rigiditate ai bitumului $S_b = 5 \cdot 10^6 \dots 2 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$.

$$\varphi_m = 16,36 V_b^{0,352} \exp \frac{\lg \frac{S_b}{5 \cdot 10^6}}{\lg \frac{S_b}{2 \cdot 10^9}} - 0,974 V_b^{-0,172} \quad (2.13)$$



exemplu:
 $S_b = 3,5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
 $V_b = \text{vol. bitumului} = 15\%$
 $V_g = \text{vol. agregatului} = 80\%$
 $S_m = 1,5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

Fig. 2.8. Nomogramă pentru determinarea modului de rigiditate al mixturilor asfaltice.

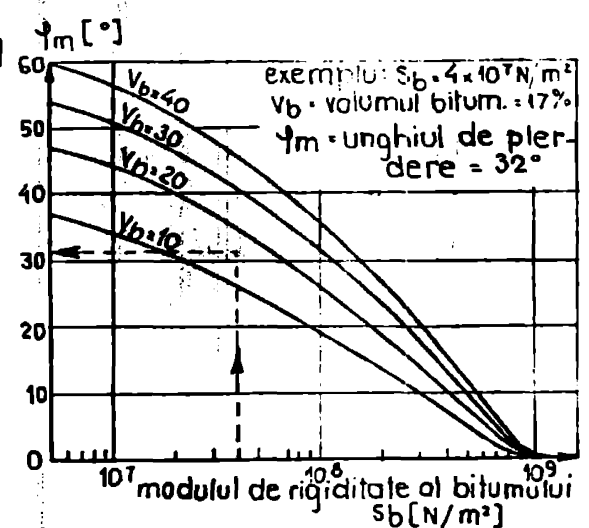


Fig. 2.9. Nomogramă pentru determinarea unghiului de pierdere φ_m .

Metodologia prezentată permite calculul modului complex al mixturilor asfaltice analitic sau cu ajutorul nomogramelor, pornind de la caracteristici accesibile, ușor de determinat prin încercările clasice. Se obțin astfel date utile în practica dimensionării complexelor

rutiere pentru determinarea stării de efort și de deformare în diferite condiții de solicitare. La asemenea se poate determina efectul pe care îl poate avea modificarea tipului de bitum sau a compoziției mixturii asfaltice asupra comportării mecanice a acesteia.

2.1.2. Rezistența la oboseală a mixturilor asfaltice

* Solicitățile din trafic generează la baza îmbrăcămintelor bi-

tuminoase întinderi orizontale repetate (fig. 2.10) care pot conduce la degradarea acestora prin oboseală [36]. În principiu, oboseala se manifestă prin reducerea în timp a modului de rigiditate al mixturilor asfaltice, datorită solicitărilor repetate. Aceasta are drept consecință creșterea deformațiilor de întindere care, în condițiile depășirii deformațiilor admisibile conduc în primă fază la fisurarea îmbrăcăminții bituminoase și în continuare, dacă nu se iau măsuri corespunzătoare de remediere, la evoluarea acestor defecțiuni în defecțiuni mai grave, de tipul faianțării (fig. 2.52).

În condiții reale de exploatare, în îmbrăcămințile bituminoase apar eforturi unitare și deformații complexe, cu caracter aleator, care practic sînt imposibil de reconstituit în condiții de laborator. Dar, în condițiile acceptării ipotezei de rupere prin oboseală datorită întinderilor orizontale repetate la baza straturilor bituminoase prin încercări de laborator se poate determina durata de exploatare a mixturilor asfaltice din îmbrăcămințile rutiere bituminoase (exprimată prin numărul de solicitări).

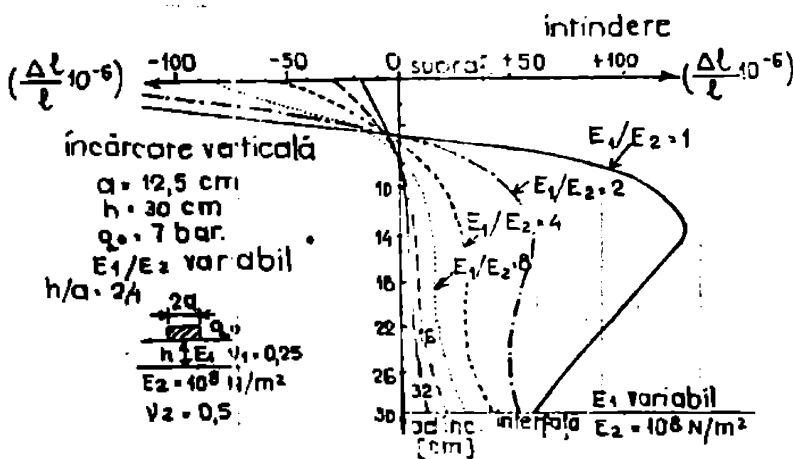


Fig. 2.10. Repartiția deformațiilor într-un bistrat, în funcție de adîncimea, pentru diferite rapoarte E_1/E_2 .

* Determinarea comportării la oboseală a mixturilor asfaltice se poate face prin încercări care rezurg la încărcarea monoaxială a epruvetelor sau prin încărcarea triaxială. În prima categorie se înscriu majoritatea încercărilor efectuate de diverși cercetători, încercări care se pot grupa în două categorii:

. încercări la încovoiere repetată pe epruvete tip

grindă simplu rezemat, consolă sau placă (în fig. 2.1 este prezentată schema încercării la încovoiere repetată a unei console trapezoidale);

. încercări de întindere-compresiune repetate.

* Din punct de vedere al solicitării, încercarea la oboseală se poate efectua în două variante:

. efort unitar cu amplitudine constantă, caz în care amplitudinea deformației crește în timpul încercării;

. deformație cu amplitudine constantă, caz în care amplitudinea efortului unitar de întindere scade în timpul încercării.

*Din figurile 2.11 și 2.12 rezultă o evoluție rapidă a distrugerii epruvetei în cazul încercării la efort unitar constant, în timp ce în al doilea caz această evoluție este mai lentă, ceea ce demonstrează că mecanismul de producere a oboselei nu este același în cele două variante ale încercării. Analiza rezultatelor experimentale au demonstrat

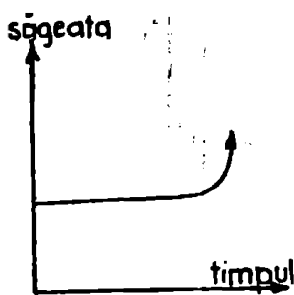


Fig. 2.11. Evoluția deformației în încercarea cu efort unitar constant.

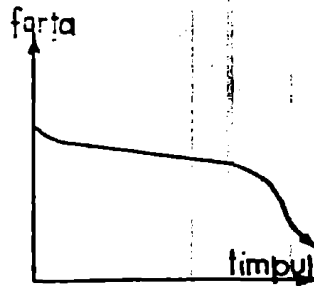


Fig. 2.12. Evoluția forței în încercarea cu deformație constantă.

că încercarea la oboseală cu efort constant este mai severă, obținându-se durate de exploatare mai mici.

* În general, legea după care se produce oboseala mixturii asfaltice este dată de relația:

$$N = K \cdot \epsilon^{-n} \quad (2.14)$$

sau

$$N = K' \cdot \sigma^{-n} \quad (2.15)$$

în care:

N este numărul de cicluri de solicitare la care se rupe epruveta;

ϵ - deformația relativă de întindere;

σ - efortul unitar de întindere;

K, K', n - parametrii de corelare statistică.

*Valorile parametrilor K și n depind de forma și dimensiunile epruvetei, tipul și compoziția mixturii asfaltice încercate, tipul bitumului și condițiile de încercare (temperatura de lucru, durata și frecvența solicitării).

Pentru un număr de solicitări $N = 10^3 \dots 10^7$, legea de comportare la oboseală 2.14 (2.15) prezintă un foarte bun coeficient de corelație cu rezultatele încercărilor de laborator.

În fig. 2.13 se prezintă un exemplu de comportare la oboseală a unei mixturii asfaltice, supusă unei solicitări cu efort unitar constant, la diferite temperaturi de încercare.

*În cadrul încercării la oboseală se poate foarte bine pune în evidență fenomenul de autoreparare a mixturilor asfaltice fisurate. Astfel, pentru mixtură asfaltică cu conținut de bitum de penetrație 80...100 (1/10 mm) relativ ridicat care favorizează acest fenomen s-a constatat [36] o recuperare totală a valorii inițiale a modulului de rigiditate după o scurtă perioadă de repos și o recuperare parțială

n duratei de exploatare în funcție de temperatura și durata de exploatării (fig. 2.14).

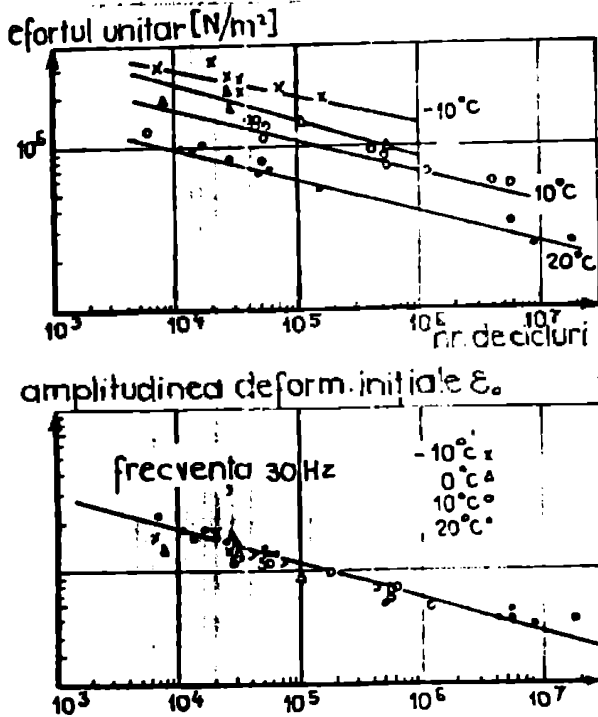


Fig. 2.13. Comportarea la oboseală cu efort unitar constant.

condiții valori ale numărului de cicluri corespunzător ruperii, de pînă la 10 ori mai mare.

Avînd în vedere starea reală de eforturi și deformații din îmbrăcămintea bituminoasă, caracterizată printr-o repartiție tridimensională, încercările la oboseală prezentate mai sus nu simulează suficient de exact condițiile reale de exploatare. În această idee s-au efectuat studii de laborator bazate pe încercarea triaxială cu solicitări repetate [28]. Încercările efectuate în regim de solicitare sinusoidală au pus în evidență dependența dintre eforturi și deformații, valoarea deformației permanente în condiții variabile de temperatură, frecvență a solicitării, timp de relaxare și compoziție a amestecului asfaltic.

2.1.3. Rezistența amestecurilor asfaltice la deformații plastice.

Creșterea sarcinii pe osie a autovehiculelor, determină apariția unor deformații plastice ale îmbrăcămintelor bituminoase sub formă de fîgase (fig. 2.52), mai ales în perioadele de vară, cu temperaturi ridicate. În consecință s-a pus problema proiectării unor amestecuri asfaltice cu rezistență sporită la deformații plastice. Pentru aceasta este necesară stabilirea corectă a amestecului asfaltic din punct de vedere al influenței diferiților factori care determină apariția deformațiilor plastice. În acest scop cercetările au fost orientate în următoarele direcții:

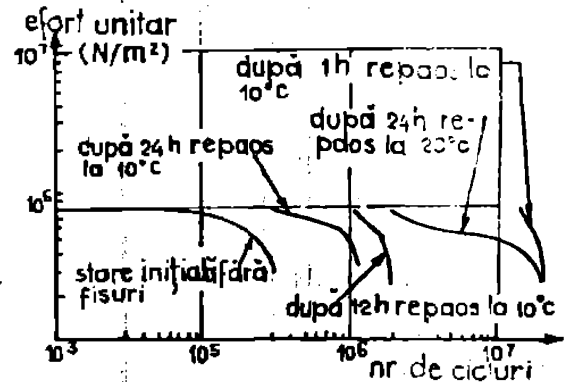


Fig. 2.14. Autorepararea în solicitare cu deformație constantă.

* De asemenea, introducerea unor timpuri de relaxare între două solicitări succesive are efect favorabil asupra duratei de exploatare a amestecului asfaltic obținîndu-se în aceste

urmărirea comportării în exploatare a diverselor tipuri de mixturi asfaltice, cât și spre studierea prin încercări a fenomenului de formare a fâgașelor. În funcție de modul de abordare a problemei, încercările pot fi grupate în două categorii:

- încercări care se bazează pe simularea traficului pe piste experimentale circulare sau rectilinii, la scară naturală sau pe modele executate la diferite scări;
- încercări pe epruvete cilindrice supuse unei solicitări dinamice, asemănătoare cu cea generată în sistemul rutier prin trecerea unei osii.

Prima categorie de încercări are avantajul de a nu avea necesar calculul stării de eforturi din stratul bituminos, obținându-se direct prin măsurători, adâncimea fâgașului care se formează, în funcție de intensitatea traficului. Dar, încercările pe piste experimentale nu asigură un control suficient de riguros asupra condițiilor de încercare, în principal asupra temperaturii de lucru care are rol foarte important. De asemenea, aprecierea globală a defecțiunilor plastice nu permite determinarea mecanismului de producere și de evoluție a acestora.

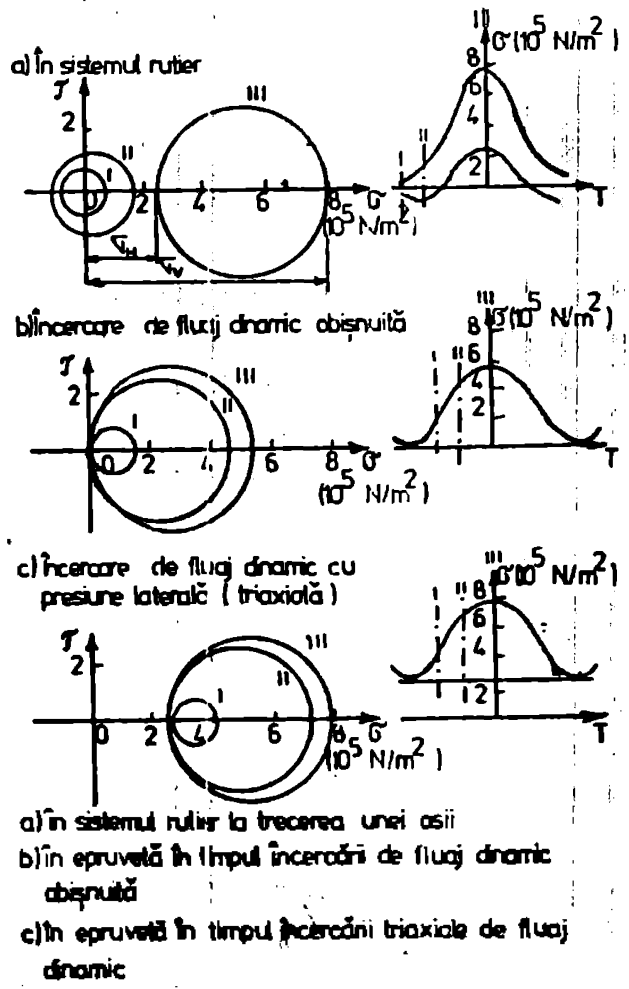


Fig. 2.15. Variația stării de eforturi.

Încercările de laborator pe epruvete cilindrice supuse unei solicitări de compresie axială sinusoidală de amplitudine și frecvență impuse permit stabilirea legii fluajului dinamic al mixturii asfaltice, funcție de frecvența solicitării și temperatura de lucru. Aceste încercări pot fi efectuate în două variante de principiu: cu presiune laterală (încercarea triaxială) și fără presiune laterală. În fig. 2.15 se prezintă cu ajutorul cercului lui Mohr starea de eforturi reală care ia naștere în stratul de bază din mixtura asfaltică, respectiv starea de eforturi dintr-o epruvetă cilindrică supusă fluajului dinamic fără și cu presiune laterală [7]. Se observă că există diferențe

între ambele variante ale încercării de fluaj dinamic și starea reală din sistemul rutier, diferență de care este necesar să se țină seama în interpretarea rezultatelor.

✱ Încercarea triaxială (fig. 2.16) permite determinarea curbei de fluaj (fig. 2.17) din care rezultă o evoluție rapidă a deformației permanente la începutul încercării, apoi o variație liniară în funcție de numărul de cicluri de solicitare.

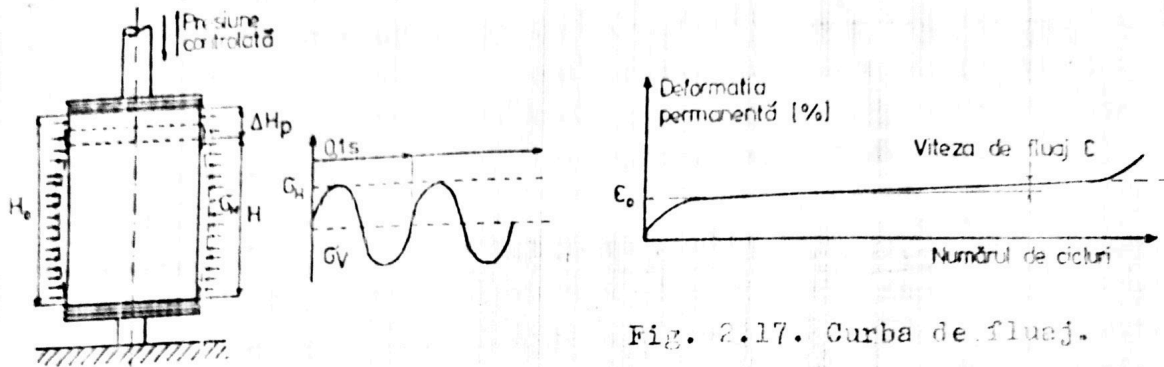


Fig. 2.16. Schema încercării triaxiale de fluaj dinamic.

Fig. 2.17. Curba de fluaj.

✱ Curba de fluaj (fig. 2.17) permite definirea și calculul a trei parametri caracteristici:

- fluajul inițial (ϵ_0);
- viteza de fluaj ($\epsilon = d\epsilon/dN$) care reprezintă panta dreptei;
- numărul de cicluri de solicitare corespunzător unei anumite deformații specifice permanente.

✱ Viteza de fluaj constituie parametrul principal care caracterizează o mixtură asfaltică, în condiții determinate de eforturi, temperatură și frecvență a solicitării. Relația 2.14 dă legea generală de fluaj dinamic pentru un anrobat bituminos cu bitum de concentrație 40...50 1/10 mm [7].

$$\lg \dot{\epsilon} = A + B \lg \bar{\sigma}_v + C \bar{\sigma}_h + D (\theta - 30) + F \lg \frac{f}{10} \quad (2.14)$$

în care:

$\dot{\epsilon}$ este viteza de fluaj, în %/milioane cicluri;

$\bar{\sigma}_v$ - presiunea verticală, în N/m^2 ;

$\bar{\sigma}_h$ - presiunea laterală, în N/m^2 ;

θ - temperatura, în $^{\circ}C$;

f - frecvența solicitării, în Hz;

A, B, C, D, F - constante de corelare statistică, specifice unui anumit tip de mixtură asfaltică (în cazul prezentat).

A = - 2,04; B = 4,33; C = - 0,72; D = 0,093; F = - 1,1

Din legea 2.14 se poate deduce că viteza de fluaj crește de 10 ori în una din situațiile:

- presiunea verticală crește cu 70%;
- presiunea laterală scade cu $1,4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$;
- temperatura de încercare crește cu 11°C ;
- frecvența solicitărilor se reduce de 7 ori.

*Legile fluajului dinamic pot fi utilizate pentru calculul mărimii fâgășelor care se formează pe o anumită structură rutieră, în condiții de temperatură, viteză și intensitate a traficului date. S-a constatat că fâgășele în straturile bituminoase nu se produc decât în zilele cu temperaturi ridicate.

Etapale de calcul sînt prezentate în schema din fig. 2.19.

În diagramele din fig. 2.20 se dau modulii dinamici pentru mixturi asfaltice de tipul anrobatalor bituminoase și betoanelor asfaltice, în funcție de temperatură și frecvența solicitării, necesari pentru calculul adîncimii fâgășelor. Frecvența solicitării depinde de viteza de circulație a vehiculelor grele, pentru calcul putîndu-se utiliza relația 2.15 [7].

$$f = \frac{V}{\epsilon} \quad , \quad [\text{Hz}] \quad (2.15)$$

în care:

f este frecvența solicitării, în Hz;

V - viteza de circulație a vehiculelor grele, în km/h.

Calculul eforturilor unitare la diferite niveluri în sistemul rutier se face utilizînd diverse metode, în funcție de caracteristicile straturilor. Valorile obținute permit calculul vitezei de fluaj ϵ (2.14).

Adîncimea fâgășului, Ω , poate fi calculată cu relația:

$$\Omega = \int_{t_0}^{t_1} \int_{y_0}^{y_1} \epsilon \frac{dN}{dt} dt dy \quad (2.16)$$

Frecvența trecerilor dN/dt poate fi considerată constantă și se exprimă în număr de osii de 13 tf.

Rezultatele calculului au scos în evidență faptul că adîncimea fâgășului depinde de tipul mixturii asfaltice, de grosimea stratului, de caracteristicile traficului și de temperatură. Se menționează faptul că o reducere a vitezei de circulație la jumătate conduce la o creștere a adîncimii fâgășului de 3...7 ori [7]. În ceea ce privește tipul mixturii asfaltice se subliniază faptul că acesta influențează adîncimea fâgășului prin conținutul și tipul de bitum, conținutul de părți fine și forma granulelor.

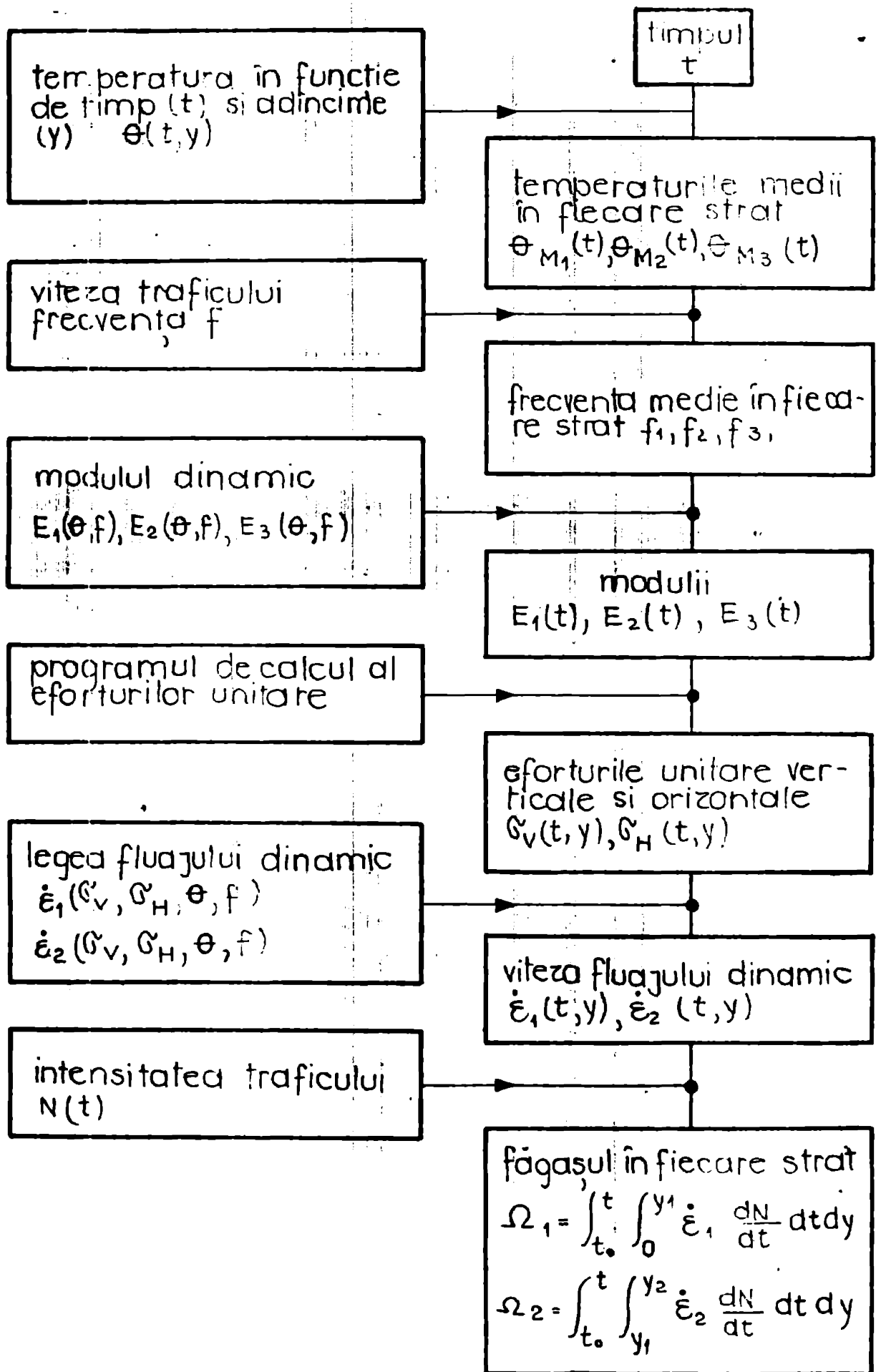


Fig. 2.19. Schema de calcul a mărimii fagăşelor din straturile bituminoase (strat 1 - îmbrăcăminte; strat 2 - strat de bază).

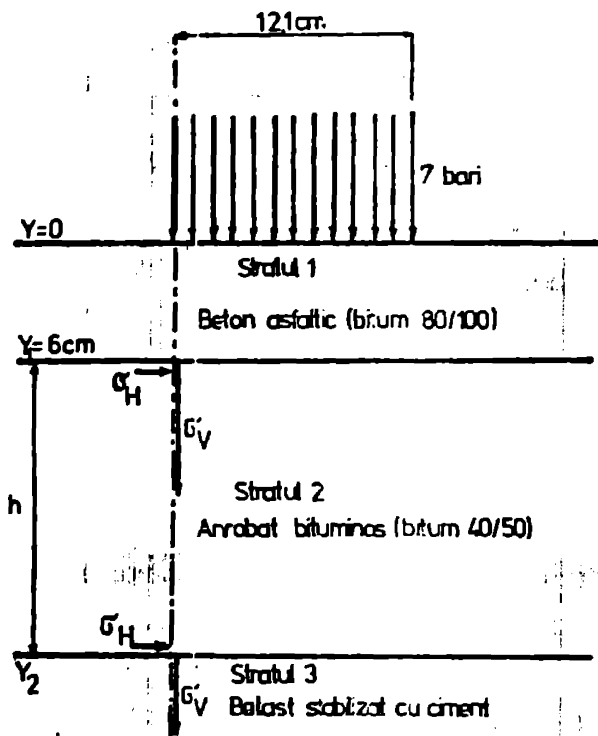


Fig. 2.18. Schema tristrat pentru calculul mărimii făgănelor.

Încercările de determinare a comportării mixturilor asfaltice la deformații plastice prin simularea traficului și măsurarea directă a mărimii făgănelor, se pot efectua pe piste experimentale care reproduc la scară naturală sau pe modele de dimensiuni mai reduse condițiile reale de solicitare. Astfel de încercări sînt destul de costisitoare, necesitînd de asemenea un timp îndelungat pentru efectuarea lor. În scopul introducerii încercărilor de comportare la deformații plastice a mixturilor asfaltice în activitate curentă a laboratoarelor de drumuri a fost conceput "simulatorul de făgăne" (fig. 2.19), cu ajutorul căruia se poate simula suficient de exact fenomenul real care are loc sub acțiunea traficului [12] [13]

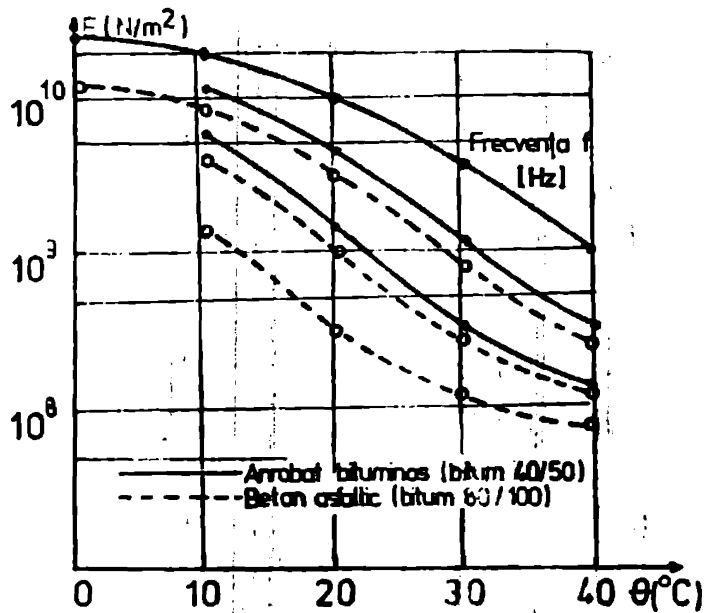


Fig. 2.20. Variația modulului dinamic cu temperatura și frecvența.

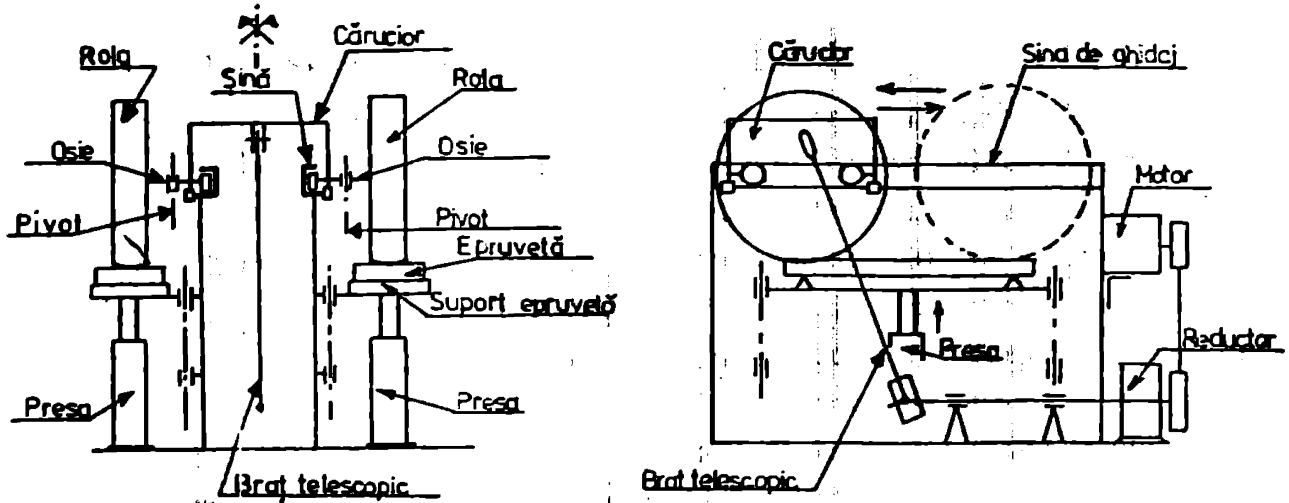


Fig. 2.21. Schema de principiu a simulatorului de fâgane LPC.

*In principiu încercarea constă în solicitarea unei epruvete prismatice din mixtură asfaltică prin trecerea repetată a unei roți, în condiții de încărcare similare cu cele date de traficul greu și temperatură corespunzătoare zilelor călduroase de vară (50...60 °C). Această solicitare generează deformări permanente ale epruvetei sub formă de fâgane (fig. 2.22), caracterizate prin adâncimea y .

*In diferite faze ale încercării, corespunzătoare unui anumit număr de solicitări se măsoară adâncimea fâganului în scopul stabilirii unei relații de dependență dintre deformare și solicitare. Relația de forma 2.17 este valabilă pentru toate tipurile de mixturi asfaltice.

$$y = A + B \lg N \quad (2.17)$$

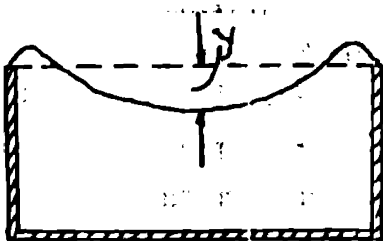


Fig. 2.22. Secțiune printr-o epruvetă supusă încercării.

În care:

y este adâncimea fâganului în mm;
 N - numărul de cicluri de solicitare;

A, B - constante de corelare care depind de tipul mizurii asfaltice și condițiile de încercare.

Cu ajutorul simulatorului de fâgane se pot efectua și încercări care să pună în evidență valoarea deformăției plastice în funcție de diverși factori, cum ar fi: tipul mizurii asfaltice, tipul agregatului, caracteristicile agregatului natural, raportul filler-bitum, capacitatea mizurii asfaltice, temperatură etc.

2.1.4. Caracteristicile bitumului

După cum s-a arătat și în paragrafele anterioare, calitatea unei mixturi asfaltice depinde în foarte mare măsură de caracteristicile bitumului. Aceste caracteristici imprimă comportării mixturilor asfaltice dependență de temperatură și durata sollicitării. Determinarea acestora se face prin încercări de laborator care necesită timp îndelungat și aparatură complexă și costisitoare (vezi: 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3). Pe baza interpretării și prelucrării statistice a rezultatelor obținute au fost deduse relații care permit determinarea caracteristicilor fundamentale ale mixturilor asfaltice (modulul complex, rezistența la oboseală, rezistența la deformații plastice) în funcție de proprietățile componentelor (bitum, agregate naturale), de compoziție și de condițiile de lucru, parametri care se pot determina curent în laboratoarele de drumuri folosind aparatura clasică.

Exactitatea calculului anumitor caracteristici ale mixturilor asfaltice depinde de corectitudinea modelului matematic, respectiv a relației de legătură stabilită prin corelare statistică a rezultatelor încercărilor experimentale de laborator (caracterizată prin intensitatea legăturii) și de corectitudinea valorilor obținute prin încercările clasice de laborator care constituie datele de intrare ale problemei. Acest din urmă aspect este determinat în mare măsură de aparatura de laborator utilizată. În acest scop, în cadrul laboratorului de drumuri al catedrei a fost studiată posibilitatea automatizării unor aparate, care să conducă la o mai mare exactitate a parametrilor care se determină, concomitent cu creșterea productivității muncii și eliminarea importului de aparatură de laborator. Astfel s-a reușit să se realizeze două aparate automate care răspund exigențelor formulate mai sus:

- aparat electronic pentru determinarea penetrației biturilor;
- aparat electronic pentru determinarea punctului de înmuiere "inel și bilă" al bitumului.

2.1.4.1. Determinarea penetrației bitumului

Penetrația bitumului este adâncimea de pătrundere în bitum a unui ac normalizat cu masa de 100 g, la temperatura de 25 °C, timp de 5 s, exprimată în zecimi de mm [93]. Aceste caracteristici se determină în mod curent în laboratoarele de drumuri, dând indicații asupra tipului de bitum, respectiv a consistenței acestuia. Pentru determinarea penetrației se folosește, de regulă, panetrometrul Richardson (fig.2.23).

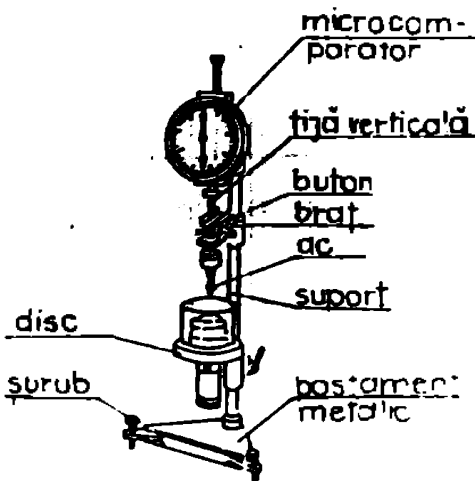


Fig.2.23. Penetrometrul Richardson.

relarea deblocării tijeii cu declanșarea cronometrului), în cadrul laboratorului de drumuri al Catedrei de drumuri, fundații și instalații în construcții a fost conceput și realizat un aparat electronic pentru determinarea penetrației bitumului (fig.2.24).

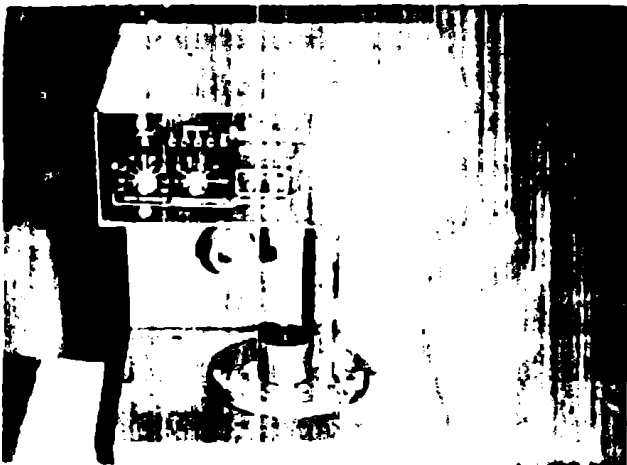


Fig.2.24. Penetrometrul electronic.

În principiu determinarea adâncimii de pătrundere se face prin deblocarea manuală de către un operator a tijeii de care este fixat acul ce pătrunde în masa bitumului, concomitent cu declanșarea unui cronometru care înregistrează timpul de pătrundere. După 5 s, tija se blochează și pe cadranul microcomparatorului se poate citi valoarea penetrației.

Pentru mărirea preciziei măsurărilor, prin controlul automat al parametrilor care influențează rezultatele măsurărilor (timp de penetrare și co-

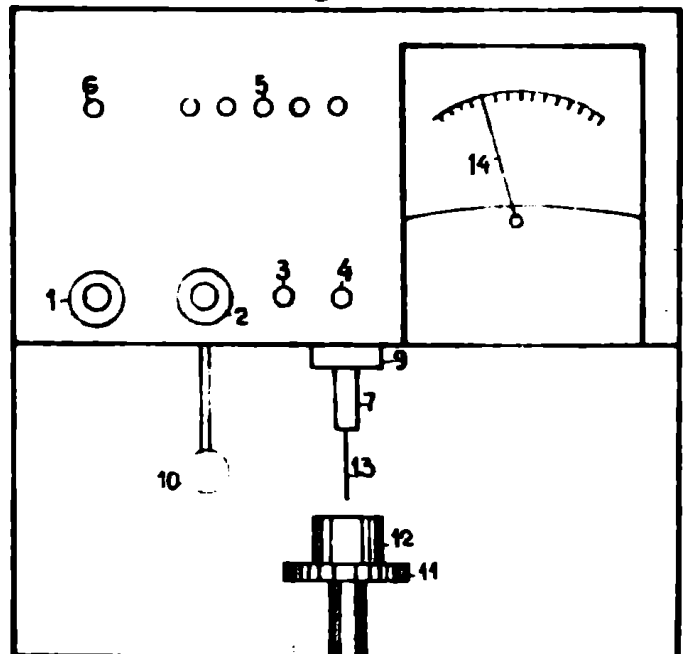


Fig.2.25. Schema panetrometrului electronic.

Acest aparat constituie obiectul unei invenții pentru care O.S.I.M. a acordat brevetul nr.87.504. De asemenea această realizare a fost apreciată favorabil cu ocazia unor manifestări științifice acordându-i-se mențiune la salonul de invenții Timișoara, iulie 1985 și premiul I în cadrul Festivalului național "Cântarea României" ediția a-7-a, 1985.

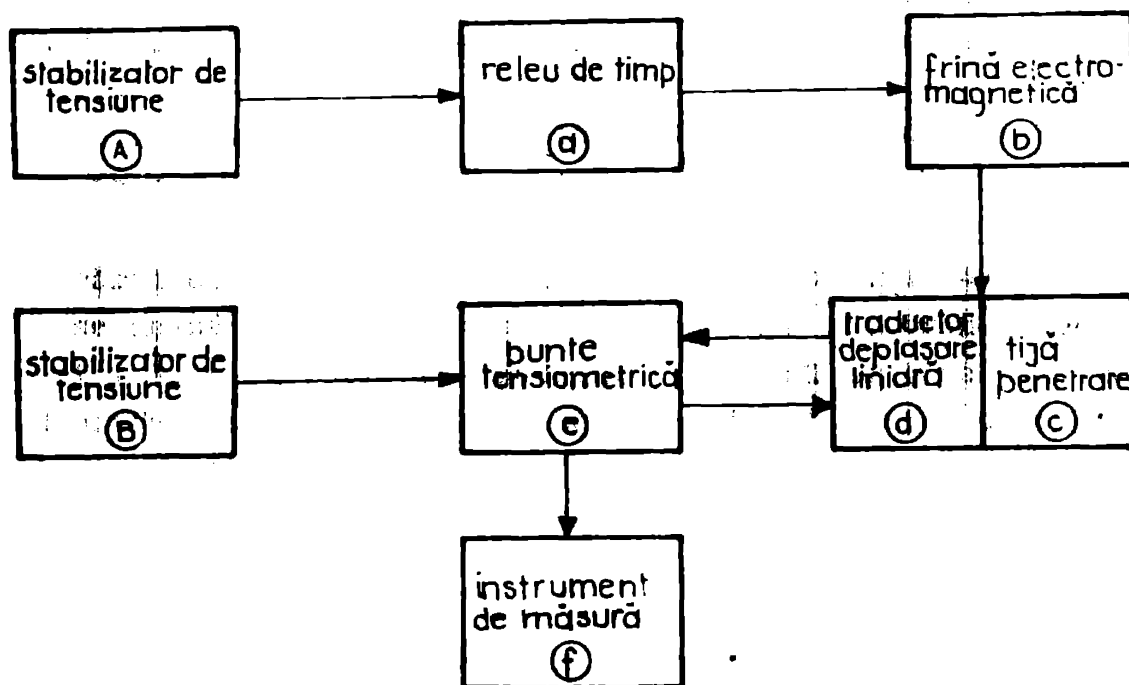


Fig.2.26. Schema bloc a penetrometrului electronic.

În fig.2.26 este prezentată schema bloc a penetrometrului electronic, pe baza căreia se prezintă în continuare principiul de funcționare a aparatului.

Blocul de tensiune stabilizată (A) alimentează releul de timp (a) care acționează frâna electromagnetică (b). Aceasta blochează și deblochează tija de penetrare (c), care are greutatea standardizată (100g) și se poate deplasa vertical, prin cădere liberă, fără frecare. Deplasarea verticală a tijei de penetrare este transmisă tijei traductorului de deplasare liniară (d), de la acesta informația fiind transmisă, prin intermediul punții tensiometrice (e), instrumentului de măsură (f) care afișează direct, în zecimi de mm adâncimea de pătrundere a acului de penetrare în proba de bitum. Blocul de alimentare B are rolul de a furniza tensiunea stabilizată pentru alimentarea punții tensiometrice (e) și prin aceasta traductorului de deplasare (d).

Fazele de efectuare a măsurării penetrației bitumului cu ajutorul penetrometrului electronic sînt următoarele (vezi fig.2.25):

- . se conectează aparatul la rețeaua electrică de 220 V;
 - . se apasă butonul "rețea" (3) pentru pornirea aparatului.
- Alimentarea cu energie electrică este indicată prin aprinderea diodei luminescente (6);
- . se ridică tija de penetrare (7) pînă la nivelul maxim, fixat de un opritor (9);
 - . se montează acul de penetrare (13) în tijă;
 - . cu ajutorul butonului (1) se reglează poziția acului instrumentului de măsură (8) în așa fel încît să corespundă cu poziția 0 a scării gradate;
 - . să fixează timpul de penetrare la 5 s cu ajutorul butonului (2) care permite reglarea acestuia la diferite valori: 4,5,6, 7 s sau la oricare alte valori mai mari (poziția ∞), caz în care oprirea penetrării se face manual prin apăsarea butonului (4);
 - . se aşază capsula cu bitum (12) pe masa penetrometrului (11) care se ridică, prin rotirea acesteia, pînă cînd acul de penetrare atinge suprafața bituzului. Verificarea poziției acului se face cu ajutorul oglinzii (10);
 - . se apasă butonul de deblocare (4) a tijei de penetrare, aceasta efectuînd o mișcare de cădere liberă fără frecare, ceea ce permite pătrunderea acului de penetrare (13) în masa bitumului. După 5 s (sau timpul pe care l-am fixat pentru penetrare), căderea liberă a tijei de penetrare este blocată automat, fără intervenția operatorului;
 - . se citește pe cadranul aparatului de măsură valoarea penetrației, arătată de un ac indicator (14). Pasul scării cadranului instrumentului de măsură este de 2 zecimi de mm. Se pot măsura penetrații cu valori între 0...200 zecimi de mm.
- Măsurătorile efectuate în paralel cu penetrometrul Richardson și cu penetrometrul electronic în vederea testării acestuia din urmă au demonstrat o precizie mai mare a rezultatelor dar mai ales o omogenitate sporită a acestora (tabelul 2.1). Pentru aprecierea omogenității rezultatelor obținute în cele două variante de măsurare s-a calculat coeficientul de variație (relația 2.18) și coeficientul de omogenitate (relația 2.21)

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} 100, \quad [\%] \quad (2.18)$$

în care:

C_v este coeficientul de variație;

$\bar{\sigma}$ - abaterea medie pătratică a șirului de valori (2.20), în 1/10 mm;

\bar{x} - valoarea medie a penetrației (2.19), în 1/10 mm.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad [1/10 \text{ mm}] \quad (2.19)$$

în care:

\bar{x}_i sînt valorile penetrației obținute prin măsurarea cu penetrometrul Richardson respectiv electronic;

n - numărul de măsurători (numărul de valori ale penetrației):

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n}}, \quad [1/10 \text{ mm}] \quad (2.20)$$

$$C_o = 1 - \frac{t \cdot C_v}{100} \quad (2.21)$$

în care:

C_o este coeficientul de omogenitate;

t - parametrul Student, care are valori în funcție de numărul de valori n ale șirului și de pragul de semnificație α cu care se face aprecierea omogenității [5].

Se poate aprecia că un coeficient de variație $C_v \leq 10\%$ indică o omogenitate bună, în timp ce un coeficient de variație de peste 20% indică lipsa omogenității populației studiate. Cu cît coeficientul de omogenitate (C_o) are valori mai apropiate de unitate, cu atît se poate afirma că omogenitatea este mai bună [5].

Tabelul 2.1.

Proba de bitum	Penetrația(1/10 mm)		Proba de bitum	Penetrația(1/10 mm)	
	Penetrometrul Richardson	Penetrometrul electronic		Penetrometrul Richardson	Penetrometrul electronic
1	41	43	24	37	41
2	43	41	25	40	41
3	39	40	26	39	39
4	43	41	27	38	40
5	38	41	28	42	41
6	35	44	29	37	38
7	44	42	30	38	40
8	40	40	31	39	41
9	38	41	32	39	39
10	43	42	33	38	39
11	39	40	34	40	42
12	39	42	35	40	39

Tabelul 2.1(continuare)

13	40	41	36	39	40
14	37	39	37	39	41
15	37	41	38	39	39
16	41	43	39	38	40
17	37	39	40	39	40
18	37	41	41	40	40
19	40	42	42	39	40
20	39	39	43	38	42
21	37	41	44	39	41
22	40	42	45	39	42
23	38	39			

Prelucrarea statistică a rezultatelor a condus la obținerea următoarelor rezultate:

- . penetrometrul Richardson: valoarea medie 39,13 l/10 mm, coeficientul de variație 4,65 %, coeficientul de omogenitate 0,906;

- . penetrometrul electronic: valoarea medie 40,62 l/10 mm, coeficientul de variație 3,16 %, coeficientul de omogenitate 0,936.

Prin caracteristicile sale, care conferă o calitate superioară rezultatelor măsurătorilor, penetrometrul electronic înlătură dezavantajele proprii determinării penetrației biturilor cu ajutorul penetrometrului Richardson, aflat în dotarea laboratoarelor de drumuri. De asemenea, acesta este superior și penetrometrului electro-optic provenit din import.

Dintre avantajele penetrometrului electronic se menționează:

- . tija cu acul de penetrare cade liber, eliberată de orice fel de frecare;

- . culegerea informației privind adâncimea de pătrundere a acului se face prin intermediul unui traductor inductiv de deplasare liniară de mare precizie, valoarea penetrației putând fi citită pe cadranul unui instrument de măsură electronic;

- . deblocarea acului și începutul pătrunderii acestuia în masa probei de bitum se face simultan cu deblocarea releului de timp prin acționarea unui singur buton;

- . blocarea tijei cu acul de penetrare se face automat, la sfârșitul timpului stabilit, a cărui mărime poate fi fixată la o valoare dorită prin intermediul butonului de blocare;

- . valoarea penetrației rămâne afișată un timp nelimitat;

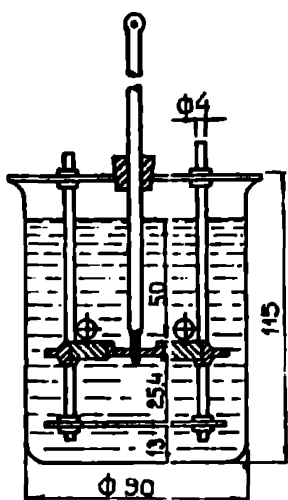
- . este realizat în totalitate numai din piese produse în țară și care pot fi procurate ușor.

Se observă că inconveniențele penetrometrului Richardson date de imposibilitatea corelării perfecte a momentului de deblocare

și blocare a tijei de penetrare cu momentul de pornire și oprire a cronometrului datorită influenței factorului subiectiv (operatorul) sînt eliminate prin introducerea în practică a acestui aparat electronic pentru determinarea penetrației bitumului. De asemenea, prin folosirea acestui aparat se elimină importul.

2.1.4.2. Determinarea punctului de înmuiere inel și bilă al bitumului

Punctul de înmuiere reprezintă temperatura la care bitumul încetează de a mai fi plastic și devine lichid. Una din metodele de determinare ale acestei temperaturi este metoda inel și bilă care constă în determinarea temperaturii la care o bilă metalică trece printr-un inel umplut cu bitum, care are diametrul interior puțin mai mare decît diametrul bilei. Încercarea se efectuează cu ajutorul aparatului din fig.2.27 [93]. Temperatura apei în care este introdus aparatul trebuie să crească în mod continuu, cu o viteză constantă egală cu $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Acest lucru este destul de dificil de realizat și necesită prezența permanentă a unui operator care să urmărească foarte atent viteza de creș-



tere a temperaturii și momentul în care se atinge temperatura corespunzătoare punctului de înmuiere, respectiv momentul în care bila de oțel a trecut prin inel și a atins placa inferioară a aparatului.

Pentru înlăturarea acestor dezavantaje, în cadrul laboratorului de drumuri al Catedrei de drumuri, fundații și instalații în construcții s-a proiectat și realizat un aparat electronic pentru determinarea punctului de înmuiere inel și bilă al bitumului (fig. 2.28, 2.29).

Aparatul a constituit obiectul unui dosar de invenție înaintat la O.S.I.B., care a acordat acestei realizări brevetul de invenție nr.88352/1985.

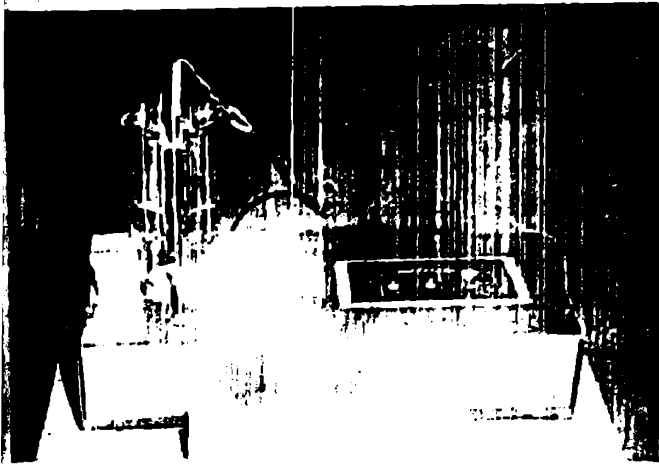


Fig.2.28. Aparat electronic
inel și bilă.

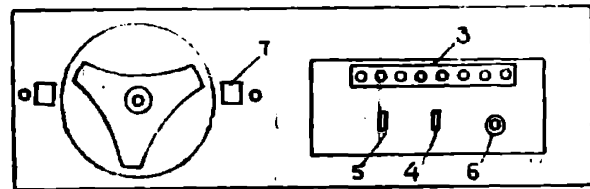
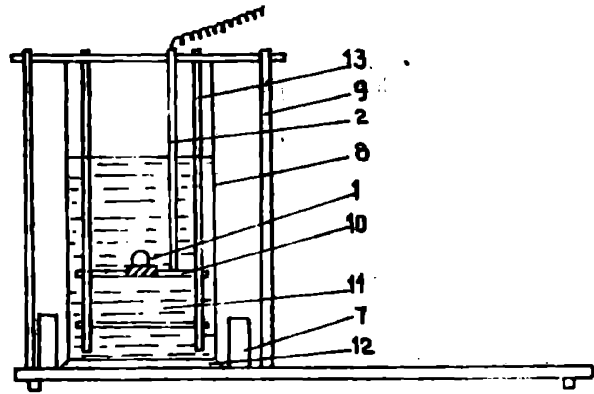


Fig.2.29. Schema aparatului elec-
tronic inel și bilă.

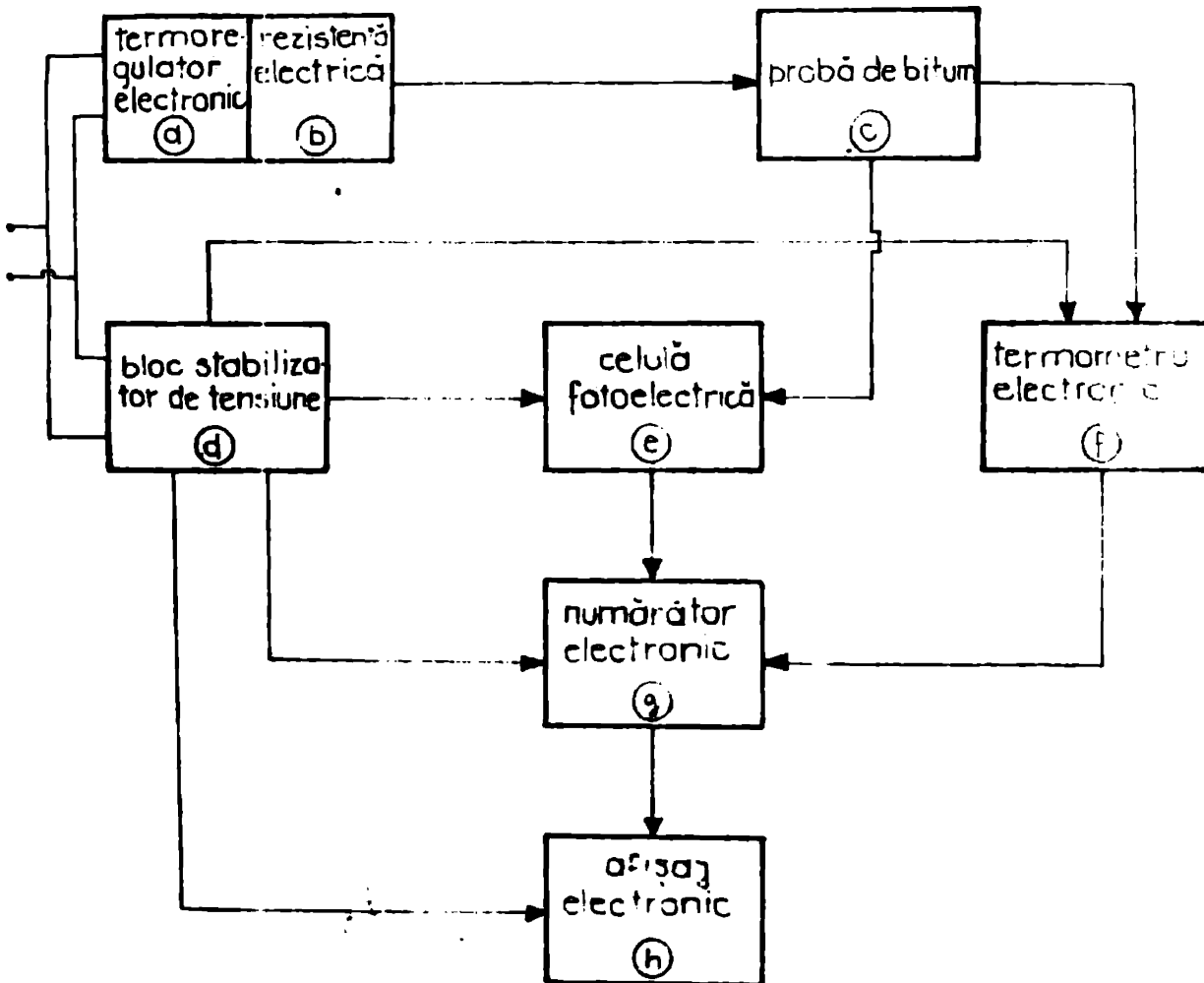


Fig.2.30. Schema bloc a aparatului electronic inel și bilă.

Termoregulatorul electronic (a) furnizează tensiune rezistenței electrice (b) astfel încât încălzirea mediului în care este plasată proba de bitum (c) să se realizeze progresiv cu viteza de 5 °C/min. Blocul de stabilizare (d) alimentează cu tensiune stabilizată blocurile funcționale e, f, g, h. Temperatura din interiorul vasului este sesizată de termometrul electronic (f) și transmisă numărătorului electronic (g), care are ca terminal blocul de afișaj electronic al temperaturii (h). Momentul când bila de oțel a trecut prin inelul cu bitum și a atins placa inferioară a aparatului este sesizat de celula fotoelectrică (e). Aceasta transmite informația numărătorului electronic (g) care se blochează împreună cu sistemul de afișaj (h), rămânând în această poziție un timp nelimitat. Temperatura la nivelul probei de bitum este afișată permanent, astfel că se poate urmări evoluția acesteia în timp, respectiv viteza de creștere.

Fazele de efectuare a determinării punctului de înmuiere inel și bilă cu ajutorul aparatului electronic sînt următoarele:

- . se fixează paharul (8) cu dispozitivul (13), avînd fixat pe suportul (10) inelul cu proba de bitum și bila (1), pe plita electrică (12) prin intermediul cadrului de prindere (9); temperatura apei din pahar este, conform prescripțiilor, egală cu 5 °C;

- . se introduce termometrul electronic (2) în vasul cu apă, fixîndu-se în lăcașul prevăzut în acest scop;

- . se conectează aparatul la rețeaua de energie electrică de 220 V;

- . cu ajutorul butonului (6) se fixează viteza de încălzire a apei (egală cu 5 °C/min conform prescripțiilor în vigoare [133]);

- . se fixează butonul (4) pe poziția "OFFSET" care indică intrarea în lucru a dispozitivului de înregistrare și afișare a temperaturii;

- . prin comutarea butonului (5) pe poziția "pornit" se pune aparatul în funcțiune, din acest moment începînd încălzirea apei din pahar cu viteza stabilită în prealabil;

- . în momentul în care se ajunge la temperatura corespunzătoare punctului de înmuiere inel și bilă, bila atinge placa inferioară (11) după ce în prealabil a străbătut proba de bitum din inel. În acest moment celula fotoelectrică (7) întrerupe automat funcționarea aparatului, temperatura efectivă, care se poate citi pe afișajul electronic (3) rămînînd înscrisă pe acesta timp nelimitat.

Incercările efectuate cu acest aparat au condus la obți-

nera unor rezultate superioare celor obținute cu aparatul clasic, din punct de vedere al omogenității acestora.

Tabelul 2.2

Proba de bitum	Punctul de inmuiere (°C)		Proba de bitum	Punctul de inmuiere(°C)	
	Aparatul clasic	Aparatul electronic		Aparatul clasic	Aparatul electronic
1	45	44	16		
2	42	43	17	40	41
3	44,5	45	18	41	42
4	46	45	19	43	43
5	47	47	20	46	45
6	46	45	21	45	44
7	49	47	22	52	44
8	47	46	23	41	42
9	46	45	24	45	45
10	46,5	44	25	44	42
11	42	43	26	40	41
12	40	41	27	39	40
13	40	40	28	45	44
14	37	38	29	43	43
15	45	45	30	41	42
				40	41

Prin prelucrarea statistică a rezultatelor s-au obținut următoarele valori:

- . aparatul clasic: valoarea medie 39,13 °C, coeficientul de variație 6,663 %, coeficientul de omogenitate 0,864;
- . aparatul electronic: valoarea medie 41,02, coeficientul de variație 4,104, coeficientul de omogenitate 0,916.

Dintre avantajele aparatului electronic inel și bilă se menționează:

- . asigură o precizie ridicată a măsurătorilor;
- . aparatul lucrează automat, asigurând creșterea cu viteză constantă a temperaturii apei din interiorul vasului, viteză care poate fi reglată la diverse valori;
- . înregistrarea temperaturii se face automat, cu ajutorul unui termometru electronic și se afișează tot timpul prin intermediul unui numărător electronic permițându-se astfel urmărirea evoluției acesteia;
- . temperatura corespunzătoare punctului de inmuiere inel și bilă rămâne afișată pe sistemul electronic un timp nelimitat, nefiind necesară prezența unui operator care să înregistreze temperatura corespunzătoare momentului în care bila de oțel a trecut prin inelul cu bitum;
- . productivitatea aparatului este superioară, nefiind necesară imobilizarea operatorului pentru urmărirea evoluției temperaturii de încercare și a momentului terminării încercării;

. aparatul prezintă o fiabilitate foarte bună.

Se remarcă faptul că inconvenientele majore ale aparatului clasic pentru determinarea punctului de înmuiere inel și bilă, adică asigurarea unei creșteri uniforme a temperaturii apei din vas și necesitatea urmăririi permanente de către un operator a desfășurării încercării, sînt contracarate prin utilizarea aparatului electronic.

2.2. Investigarea calității îmbrăcămintilor bituminoase

Calitatea îmbrăcămintilor bituminoase influențează în mod direct eficiența transporturilor rutiere, confortul și siguranța circulației. Principalele caracteristici care trebuie luate în considerare la aprecierea calității îmbrăcămintilor bituminoase, sînt uniformitatea și rugozitatea suprafeței de rulare, starea de degradare a acesteia și capacitatea portantă a complexului rutier avînd în vedere influența foarte importantă pe care aceasta o are asupra comportării în exploatare a îmbrăcămintei bituminoase. Pentru aprecierea acestor caracteristici se folosesc metode și aparate de o mare diversitate, de la țară la țară, accentul punîndu-se în ultima perioadă pe metodele de mare randament, care să ofere operativ date privind starea rețelei de drumuri.

2.2.1. Investigarea suprafeței de rulare a îmbrăcămintilor bituminoase

Calitățile suprafeței de rulare pot fi privite prin prisma parametrilor ceruți de utilizatori sau din punctul de vedere al factorilor de întreținere a drumurilor. În ceea ce privește utilizatorii, problemele care trebuie urmărite vizează comportamentul autovehiculului (rezistența la rulare, uzura mecanică a pneurilor, viteza de circulație) pe de o parte și timpul de deplasare, confortul și siguranța călătorilor sau imobilizările și pierderile la mărfurile transportate, pe de altă parte. Din punct de vedere al întreținerii drumurilor se urmărește starea suprafeței de rulare în scopul adoptării unei anumite strategii de întreținere.

În tabelul 2.3 se prezintă schematic gradul de influență al caracteristicilor suprafeței de rulare asupra cîtorva factori de exploatare și întreținere [3] .

Factori de exploatare și întreținere	Costul exploatarii vehiculelor pe km	Viteza și timpul	Confortul dinamic	Aderența pneurilor	Vizibilitatea la conducere	Formarea poaleiului	Inlăturarea poleiului și dezapezirea	Uzura suprafeței de rulare	Uzura corpului drumului
Calități ale suprafeței de rulare									
Denivelări longitudinale	**	**	**	*	*	*	*	*	*
Denivelări transv.		*		**	**	**	**	*	*
Textura suprafeței		*		**	*	*		*	
Structura suprafeței		*		**	*	*		**	**

* - influență semnificativă
** - influență importantă

Dintre caracteristicile suprafeței de rulare, uniformitatea și rugozitatea acesteia se detașează clar, prin influența importanță asupra majorității factorilor de exploatare și întreținere a drumurilor.

2.2.1.1. Investigarea uniformității suprafeței de rulare

Profilul longitudinal al unui drum se proiectează în așa fel încât circulația autovehiculelor să se desfășoare în condiții de siguranță și confort, în limitele anumitor viteze. La execuția drumului, precum și pe parcursul exploatării acestuia pot să apară o serie de diferențe între profilul real și profilul teoretic proiectat. În circulație, aceste diferențe generează mișcări verticale ale roților autovehiculelor, combinațiile dintre acestea dând naștere următoarelor mișcări (fig.2.31) [3] :

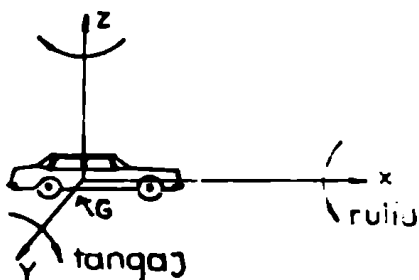


Fig.2.31. Schema mișcărilor autovehiculului.

- . o mișcare verticală, de translație a centrului de greutate al autovehiculului;
- . o mișcare de rotație în jurul axei longitudinale (ruliu);
- . o mișcare de rotație în jurul axei transversale (tangaj).

Aceste mișcări se produc cu diferite frecvențe și viteze în funcție de distribuția spațială a denivelărilor suprafeței de rulare și de viteza autovehiculului.

Uniformitatea suprafeței de rulare poate fi considerată corespunzătoare dacă pe acesta se circulă confortabil. În vederea cuantificării noțiunii de confort al circulației, prin studii teore-

tice și încercări experimentale au fost stabilite valorile pragurilor de sensibilitate la viteze, accelerații și variațiile accelerațiilor pentru corpul uman în cazul celor trei mișcări importante pe care i le transmite autovehiculul (tabelul 2.4) [3] .

Tabelul 2.4.

Mișcarea	Caracteristica mișcării	Viteza	Accelerația	Variația accelerației
Translația verticală		-	1,2 m/s ²	0,25 m/s ³
Ruliu		8 °/s	4 °/s ²	2 °/s ³
Tangaaj		12 °/s	6 °/s ²	3 °/s ³

Intre suprafața de rulare și călători este interpus autovehiculul, care poate fi asimilat cu un oscilator liniar caracterizat de mase nesuspendate (roți și osii) și mase suspendate (caroseria). Frecvențele proprii de vibrație ale maselor nesuspendate și suspendate sînt destul de puțin variabile de la un vehicul la altul, din motive constructive.

În cazul unui autovehicul care circulă pe un drum, viteza de circulație are o influență mare asupra confortului, deoarece ea constituie factorul care face legătura între frecvența în spațiu a denivelărilor suprafeței de rulare și frecvența în timp a vibrațiilor autovehiculului.

O denivelare în profil longitudinal poate fi schematizată ca în fig.2.32, fiind caracterizată de lungimea de undă, amplitudine și săgeată [3].

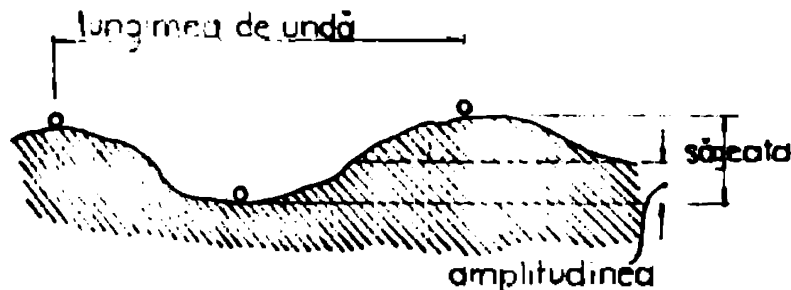


Fig.2.32. Schema unei denivelări în profil longitudinal.

Ținînd seama de frecvențele proprii de oscilație ale autovehiculelor s-au determinat lungimile de undă ale denivelărilor care generează fenomenul de rezonanță, pentru diferite viteze de circulație (tabelul 2.5).

Tabelul 2.5.

Viteza de circulație [km/h]	Lungimea de undă de rezonanță [m]	
	mase suspendate	mase nesuspendate
36	10	0,50
72	20	1,50
108	30	1,50
144	40	2,00

Fenomenul de rezonanță are influență negativă și asupra siguranței circulației rutiere, avînd în vedere variația încărcării pe fiecare dintre cele patru roți (încărcare neuniformă) cu implicații directe asupra mărimii forței de frecare dintre pneu și suprafața de rulare care poate deveni diferită pentru fiecare roată în parte.

Analizînd valorile lungimilor de undă de rezonanță din tabelul 2.5 rezultă că pentru măsurarea uniformității în profil longitudinal este necesar să se utilizeze, funcție de viteza cu care se circulă pe un anumit drum, aparatură adecvată care să permită punerea în evidență a denivelărilor care afectează negativ confortul circulației și care trebuie luate în considerare la stabilirea calității suprafeței de rulare.

Studiile de confort, de siguranță și de suprasarcini dinamice au pus în evidență necesitatea măsurării unor denivelări cu lungimi de undă de pînă la 40 m și chiar mai mari [3] ceea ce a determinat conceperea și realizarea unor aparate complexe.

Metodele de măsurare a uniformității suprafeței de rulare se pot clasifica în:

- . măsurători de nivelment;
- . măsurători de cote în raport cu punctele învecinate;
- . măsurători ale pantei locale a profilului longitudinal;
- . măsurători dinamice;
- . măsurători ale denivelărilor în profil transversal.

Măsurătorile de nivelment constau în determinarea cotelor în anumite puncte ale suprafeței de rulare prin mijloace topografice și compararea acestora cu cele prevăzute în proiecte.

Măsurătorile de cote în raport cu punctele învecinate sînt foarte frecvent întîlnite sub diferite forme, mai mult sau mai puțin perfecționate. Dintre instrumentele și aparatele cele mai des utilizate se menționează: dreptarul, rigla rulantă și viagraful în profil longitudinal, respectiv șablonul și transversoprofilograful

în profil transversal. Acestea permit determinarea cotei relative raportată la o linie medie a profilului. Funcția de transfer (H) a acestora, care reflectă modul în care aparatul redă denivelările reale ale suprafeței de rulare este prezentată în figurile 2.33 și 2.34, expresiile analitice fiind date în formula 2.22 pentru rigla rulantă de 3 m și formula 2.23 pentru viagraful [3].

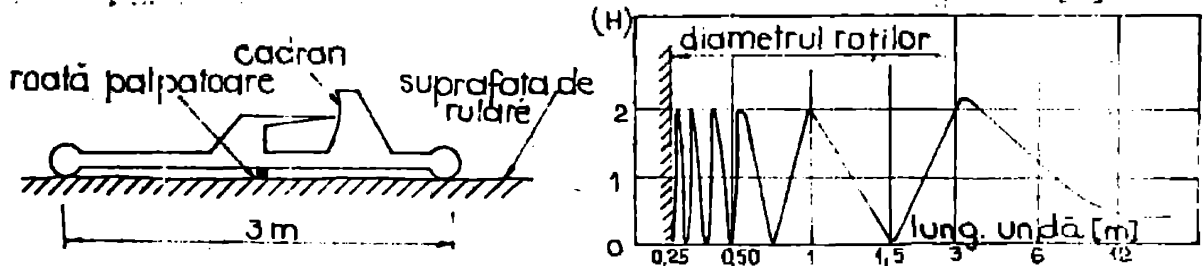


Fig.2.33. Schema de principiu și funcția de transfer a riglei rulante de 3 m.

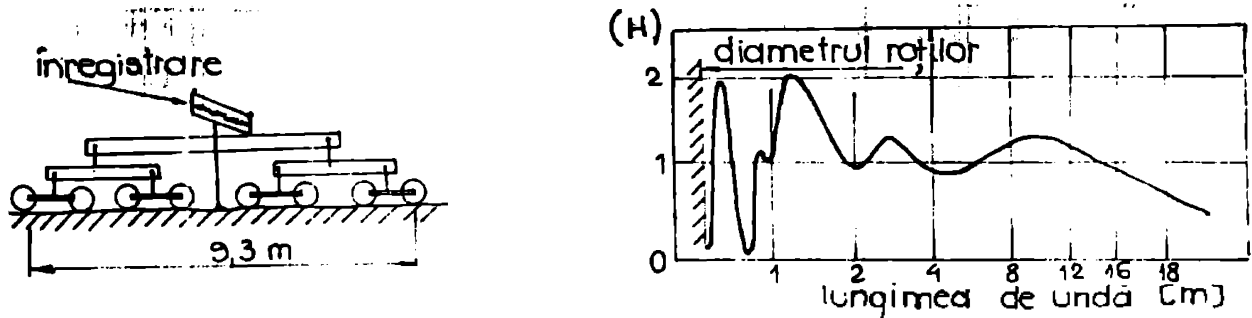


Fig.2.34. Schema de principiu și funcția de transfer a viagrafului.

$$H(l) = 1 - \cos \frac{\pi L}{l} \quad (2.22)$$

$$H(l) = 1 - \frac{1}{n} \frac{\sin\left(\frac{\pi n}{n-1} \frac{L}{l}\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{n-1} \frac{L}{l}\right)} \quad (2.23)$$

în care:

H este funcția de transfer;

L - lungimea riglei rulante, respectiv a viagrafului, în m;

l - lungimea de undă a denivelărilor;

n - numărul de roți cu care este dotat viagraful.

Valoarea 1 a funcției de transfer indică faptul că denivelările cu lungimea de undă respectivă sînt înregistrate la amplitudinea lor reală, celelalte valori indicînd coeficientul cu care amplitudinea reală este multiplicată de aparat. Din analiza func-

ției de transfer se pot trage următoarele concluzii:

. rigla (rulantă sau nu) este operațională pentru denivelări cu lungime de undă de pînă la 12 m, dar și în acest interval înregistrările sînt eronate pentru anumite lungimi de undă, obținîndu-se valori duble sau nule ale amplitudinii;

. viagraful are funcția de transfer relativ plată cu valori apropiate de 1 pentru un interval de undă cuprinsă între 1,4...15 m.

Dintre aparatele care permit măsurarea pantei locale în profil longitudinal se menționează profilometrul A.A.S.H.O. (fig.2.35) care măsoară discontinuu panta (la fiecare 0,15 m) și analizorul de profil longitudinal A.P.L. (fig.2.36) care efectuează măsurători continue ale pantei.

Funcția de transfer a analizorului de profil longitudinal (fig.2.37) este relativ plată între 0,5...20 Hz, ceea ce permite punerea în evidență a unor denivelări cu lungimi de undă, l_1 , cuprinse în intervalul dat de relația:

$$\frac{V}{20} \leq l_1 \leq \frac{V}{0,5} \quad (2.24)$$

în care V este viteza de investigare, în m/s.

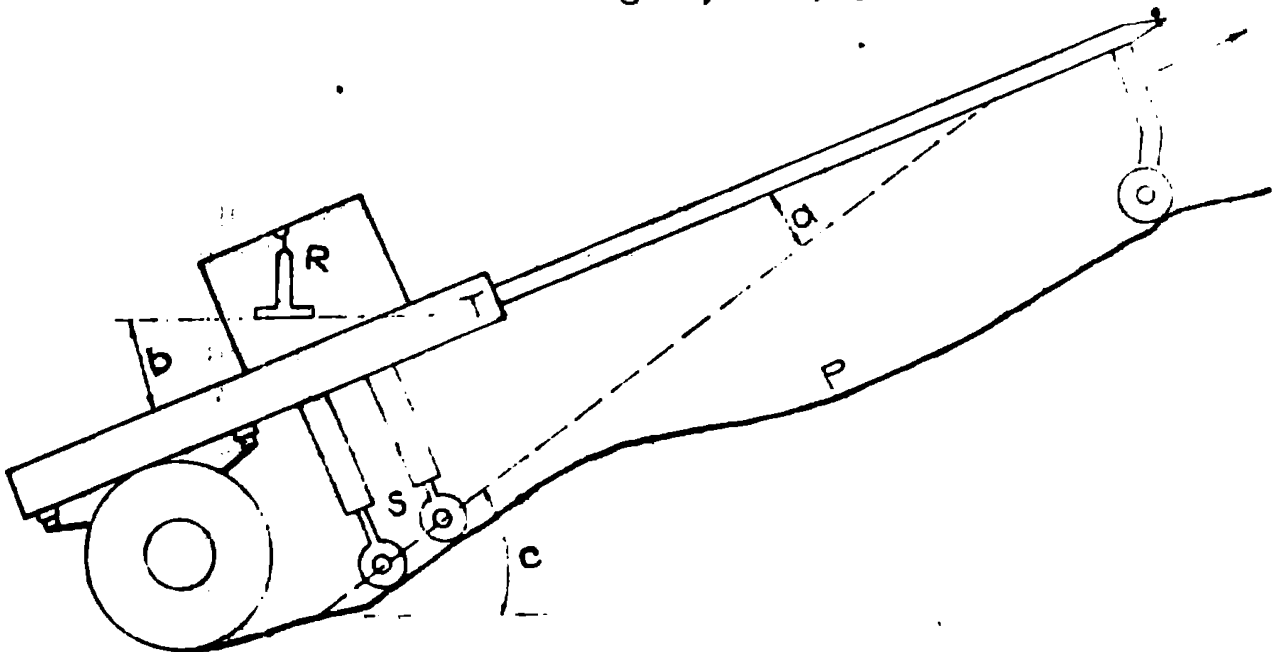


Fig.2.35. Schema profilometrului A.A.S.H.O.

La o viteză de 72 km/h (viteza curentă de lucru) sînt înregistrate denivelări cu lungimea de undă cuprinsă între 1...40 m. Viteze superioare de lucru permit înregistrarea unor denivelări cu lungimi de undă mai mari (viteza maximă de lucru este 120 km/h).

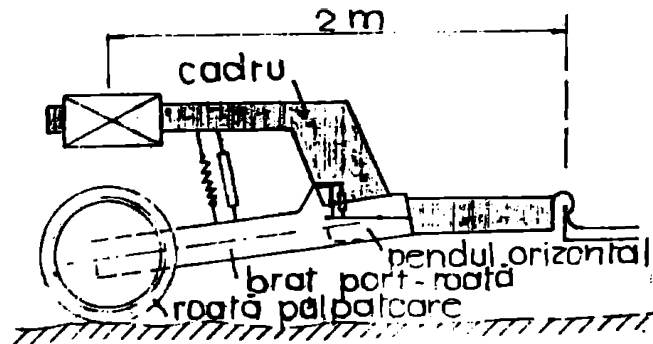


Fig.2.36. Schema analizorului de profil longitudinal A.P.L.

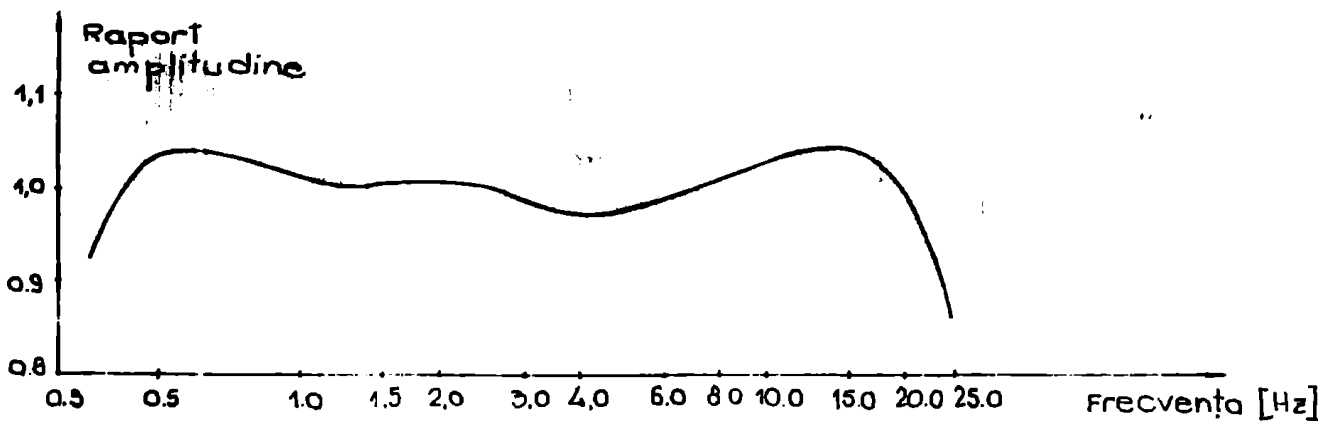


Fig.2.37. Funcția de transfer a analizorului de profil longitudinal.

Analizorul de profil longitudinal este un aparat de mare randament, dotat și cu aparatură pentru prelucrarea automată a înregistrărilor efectuate care permite cuantificarea acestora în calificative de uniformitate (note de la 1 la 10) acordate sectorului de drum investigat.

Dintre aparatele care permit efectuarea unor măsurători dinamice de uniformitate se menționează profilometrul G.M.C. (fig. 2.38). Prin măsurarea accelerațiilor masei m , a deplasării acesteia și a elongației resortului k se obțin date care permit determinarea uniformității în profil longitudinal.

Denivelările suprafeței de rulare în profil transversal se măsoară cu ajutorul unui șablon care are forma teoretică a profilului suprafeței de rulare sau cu transversoprofilograful (fig. 2.39) care permite înregistrarea grafică a profilului transversal care se compară cu cel proiectat.

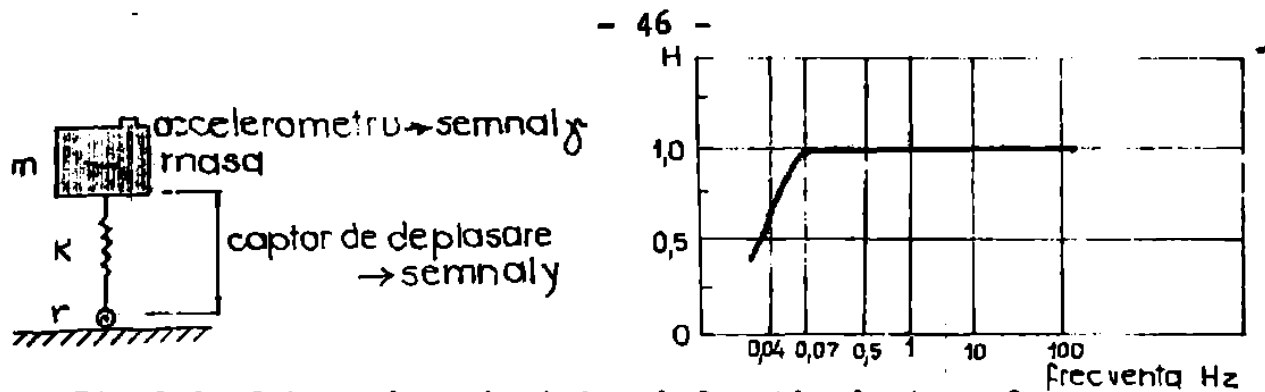


Fig.2.38. Schema de principiu și funcția de transfer a profilometrului G.M.C.

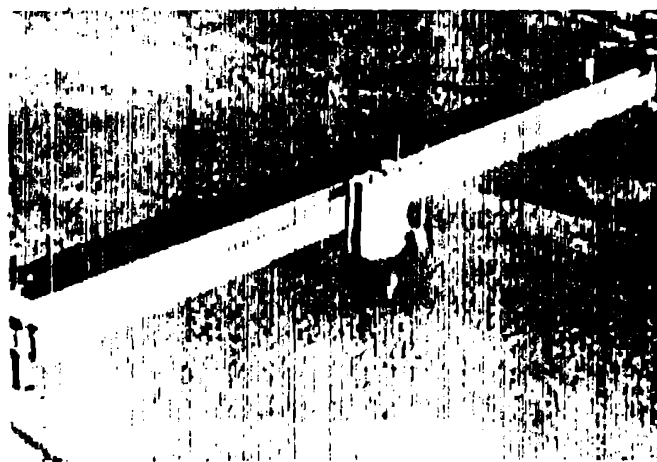


Fig.2.39. Transversoprofilograful.

Pentru a putea face aprecieri în ceea ce privește starea suprafeței de rulare, din punct de vedere al uniformității, este necesar ca datele obținute prin măsurători, de orice fel ar fi ele, să fie transpuse în indici de calitate, care cuantifică starea drumului (vezi paragraful 2.2.4).

Experiențele ergonomice efectuate în cadrul L.C.P.C. din Paris au pus în evidență zonele de confort în funcție de accelerațiile verticale și frecvența în timp a denivelărilor (fig.2.40) [84].

2.2.1.2. Investigarea rugozității suprafeței de rulare

Rugozitatea suprafeței de rulare este un factor care influențează în foarte mare măsură siguranța circulației prin generarea forței de aderență la nivelul contactului între pneu și suprafața de rulare care asigură stabilitatea autovehiculului la derapaj și oprirea acestuia prin frânare în cazul apariției unui obstacol pe partea carosabilă.

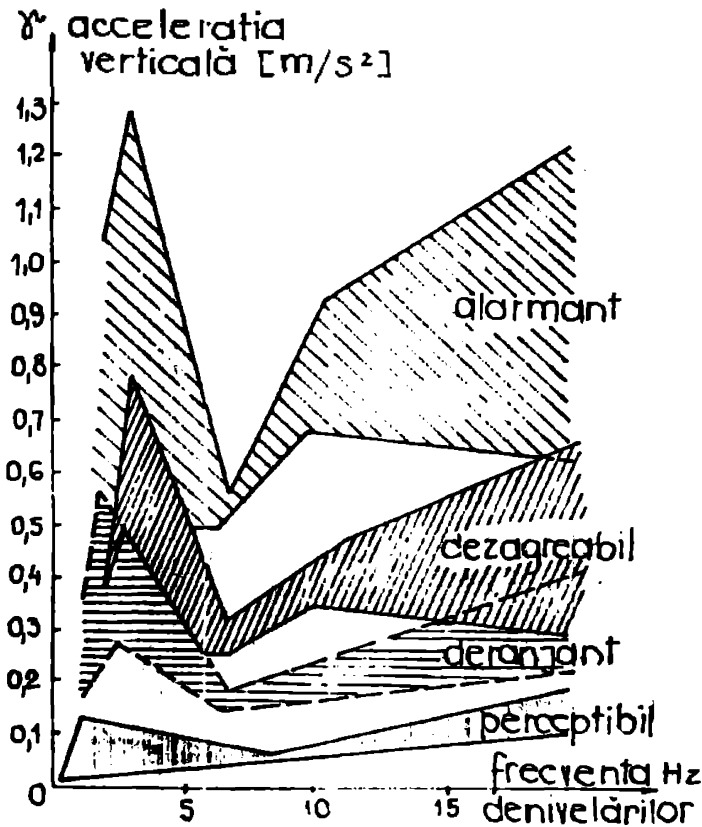


Fig.2.40. Influența uniformității asupra confortului.

autovehiculelor în circulație.

Cu ajutorul stradografului se poate determina, în regim normal de viteză (până la 150 km/h) atât coeficientul de frecare longitudinal, cât și coeficientul de frecare transversal prin înclinarea roților de măsură cu un anumit unghi față de direcția de circulație.

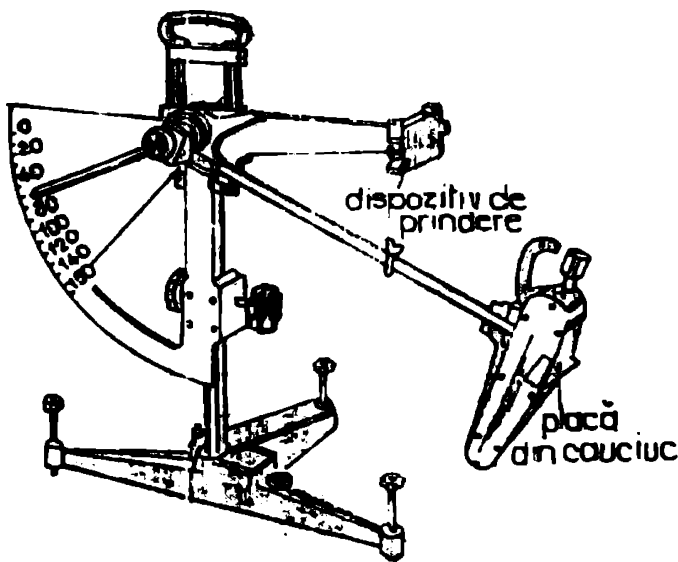


Fig.2.41. Pendulul S.R.T.

Aprecierea rugozității se face prin măsurarea rugozității geometrice a suprafeței de rulare (prin metoda înălțimii de nisip) sau a coeficientului de frecare dintre pneu și suprafața îmbrăcăminte.

În ceea ce privește coeficientul de frecare, acesta poate fi determinat cu diverse aparate dintre care se menționează pendulul S.R.T. (fig.2.41), utilizat și la noi în țară și stradograful (fig.2.42) aparat de mare randament care permite efectuarea de măsurători în condiții care simulează foarte bine comportarea reală a au-

În general, coeficientul de frecare este influențat de o serie de factori dintre care se amintesc:

- . tipul îmbrăcăminte sistemului rutier;
- . viteza de circulație;
- . condițiile de circulație (suprafață umedă, polei, mizgă etc);
- . temperatura mediului ambiant;
- . suspensia autovehiculului;

- . încărcarea pe roată;
- . structura pneului și geometria suprafeței sale
- . ponderea alunecării.

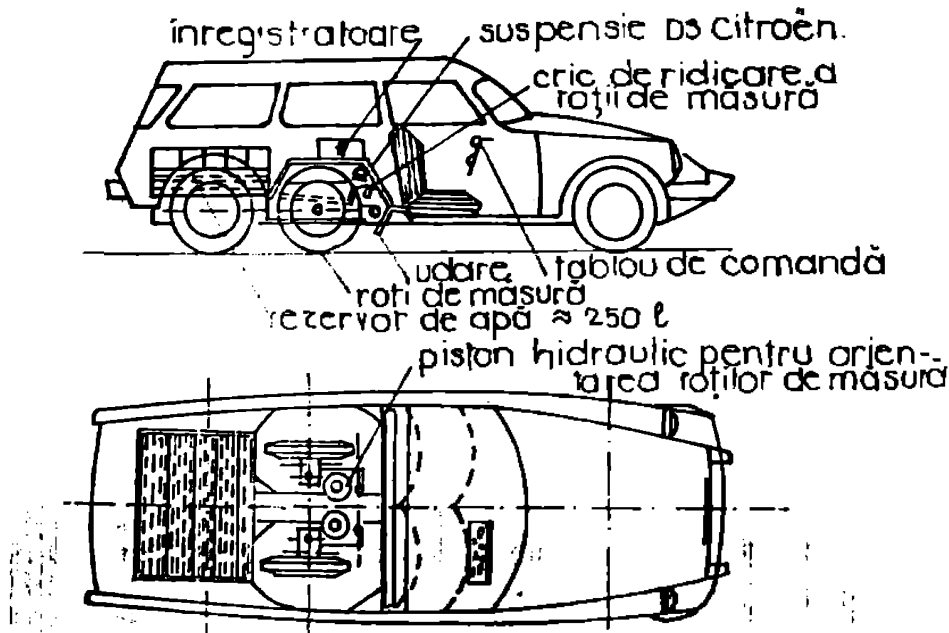


Fig.2.42. Stradograful.

În fig.2.43-2.45 se prezintă variația coeficientului de frecare longitudinal pentru diferite tipuri de îmbrăcăminti rutiere, în funcție de viteză de circulație, grosimea filmului de apă și adâncimea sculpturilor de pe suprafața pneului.

În ceea ce privește ponderea frecării prin alunecare în totalul frecării se menționează că aceasta trebuie să fie de circa 10...20% pentru a se obține o forță de frecare maximă. În cazul blocării roților coeficientul de frecare scade sensibil față de valoarea sa maximă (cu circa 0,2).

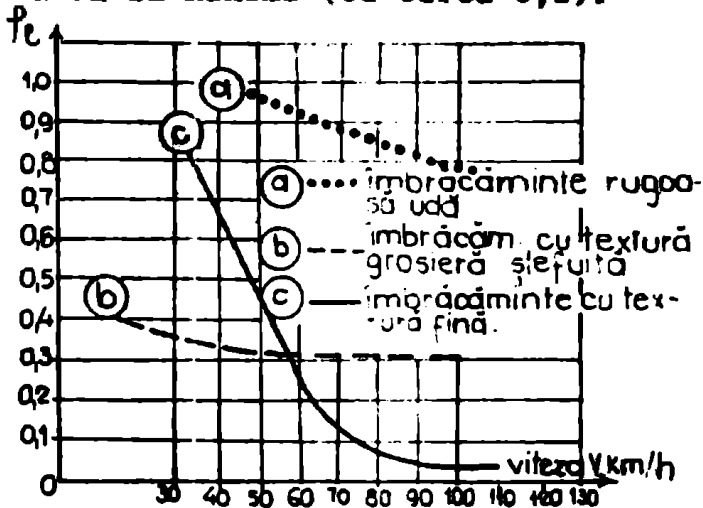


Fig.2.43. Influența vitezei de circulație asupra coeficientului de frecare longitudinal.

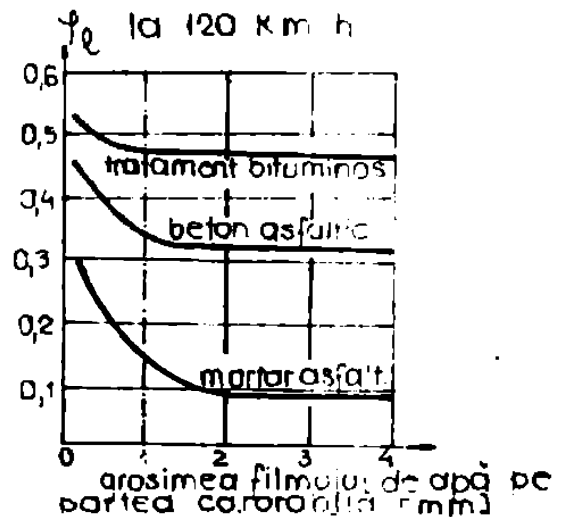


Fig.2.44. Influența grosimii filmului de apă asupra coeficientului de frecare long.

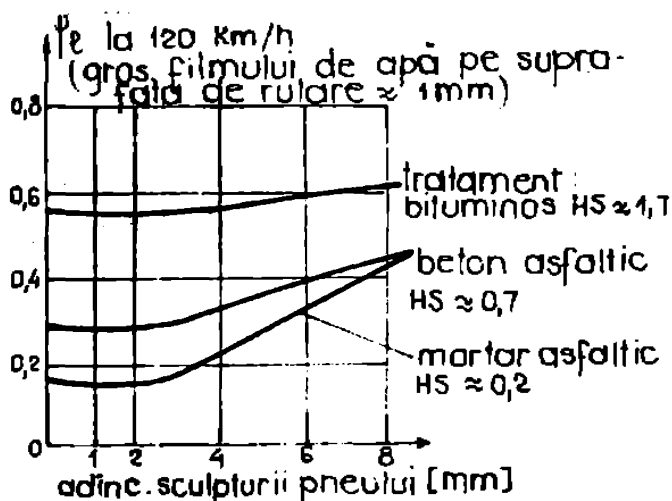


Fig. 2.45. Influența sculpturii pneului asupra coeficientului de frecare longitudinal.

Coeficientul de frecare transversal are valori mai mici decît coeficientul de frecare longitudinal, valoare acestuia depinzînd de același factori cu excepția vitezei, care îl influențează foarte puțin. În plus, apare influența foarte importantă a unghiului de viraj (unghiul de rotire al roții față de direcția de deplasare), valoarea maximă a coeficientului de frecare obținîndu-se pentru unghiuri de viraj de circa 10° .

2.2.2. Investigarea capacității portante a complexelor rutiere nerigide

Capacitatea portantă a unui complex rutier se apreciază prin determinarea unor caracteristici cum ar fi deformația acestuia sub acțiunea unei încărcări sau modulul de deformație echivalent, prin diverse metode și utilizînd aparatură specifică.

Cu ajutorul deflectometrului Benkelman (fig. 2.46) se măsoară deformația elastică a complexului rutier sub acțiunea unei anumite încărcări, pe baza valorilor obținute determinîndu-se deformația elastică, caracteristică [138]. Comparînd valoarea obținută cu deformația elastică admisibilă sub acțiunea traficului se pot trage concluzii referitoare la capacitatea portantă a complexului rutier. Valorile acestor deformații servesc și la dimensionarea grosimii straturilor de ranforsare.

Deflectograful Lacroix (fig. 2.47) permite măsurarea deflexiunilor totale ale complexului rutier la fiecare 3,20 m și înregistrarea automată a acestora pe banda de hîrtie fotografică, bandă magnetică sau bandă de hîrtie perforată. Prin prelucrarea automată a datelor se obține deflexiunea caracteristică a complexului rutier care reflectă capacitatea portantă a acestuia [114].

Pentru completarea datelor măsurătorilor de deflexiuni se determină și raza de curbură a suprafeței deformată sub acțiunea încărcării, care pune în evidență rigiditatea relativă a siste-

mului rutier în raport cu terenul de fundație.

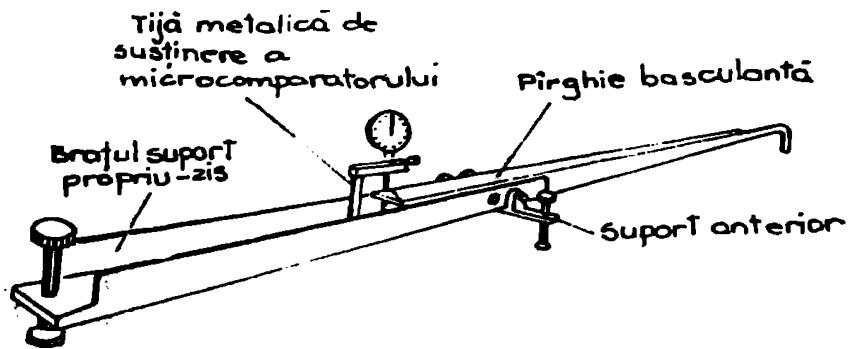


Fig.2.46. Deflectometrul Benkelmann.

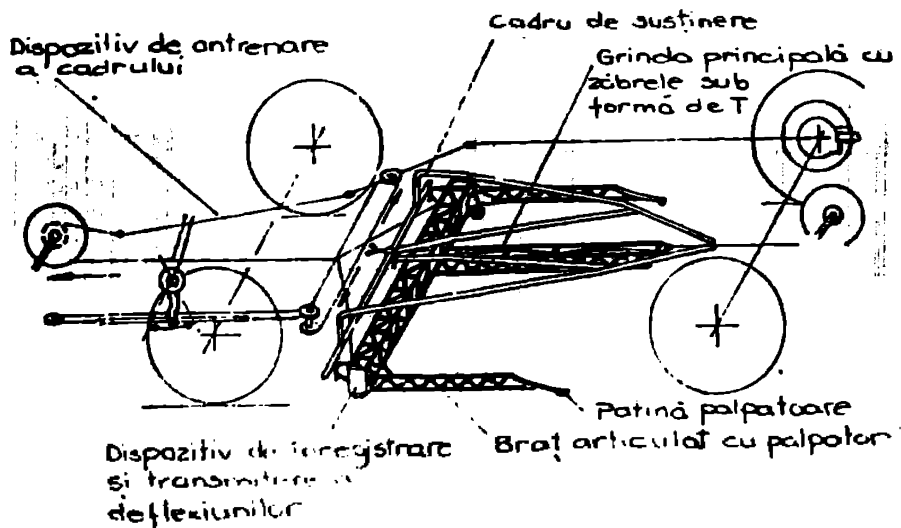


Fig.2.47. Schema de principiu a deflectografului Lacroix.

În fig.2.48 se prezintă linia de influență a deflexiunii înregistrată în punctul O, care se poate obține prin înregistrarea valorii deflexiunii în timpul deplasării sarcinii față de punctul de măsurare.

În vîrfurile acestei curbe, deformația complexului rutier este caracterizată prin raza de curbură R care se obține cu ajutorul relației 2.25, asimilînd linia de influență cu o curbă de ecuația $y = f(x)$ (2.26).

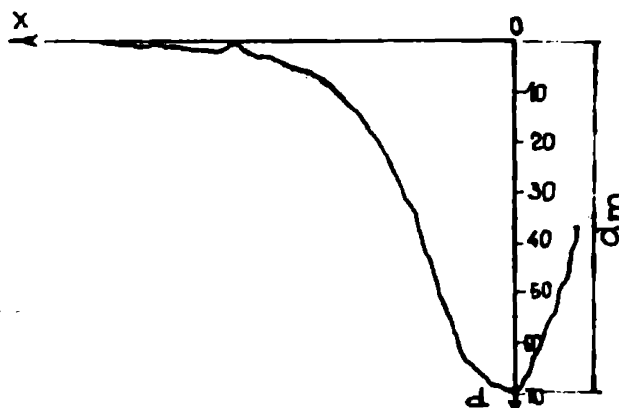


Fig.2.48. Linia de influență a deflexiunii.

$$R = \frac{1}{y''(0)} \quad (2.25)$$

$$y = \frac{d_0}{1+kx^2} \quad (2.26)$$

în care:

- d_0 este deflexiunea maximă;
- x - distanța față de punctul corespunzător deflexiunii maxime;
- k - coeficient.

În funcție de valoarea produsului Rd se poate aprecia capacitatea portantă a complexului rutier. Pentru sistemele rutiere nerigide, o valoare $Rd > 5\ 500$ ne indică o capacitate portantă corespunzătoare.

2.2.2.1. Prelucrarea automată a măsurărilor efectuate cu deflectograful Lacroix

Aparatul de mare randament în determinarea portanței complexelor rutiere care este deflectograful Lacroix, impune adoptarea unor metode de prelucrare a datelor obținute bazate pe metode matematice capabile să asigure corectitudinea necesară unei juste evaluări a acestora. Metodologia actuală presupune împărțirea drumului investigat în sectoare "omogene" de o anumită lungime, pentru care urmează a se calcula deflexiunea caracteristică, respectiv ceilalți parametri care caracterizează deformabilitatea complexului rutier.

Având în vedere caracterul aleator al valorilor deflexiunilor înregistrate cu ajutorul deflectografului Lacroix și numărul mare al acestor valori, se impune utilizarea unor metode probabiliste în prelucrarea lor. Studiile efectuate în acest sens au scos în evidență faptul că valorile deflexiunilor urmează o distribuție normală (tip Gauss) [87]. Variația valorilor deflexiunilor este aleatoare, ea depinzând de mai mulți factori (structura și grosimea sistemului rutier, drenarea corpului drumului, încărcarea pe osie, temperatura în timpul înregistrării etc.). Pentru ca rezultatele obținute să fie cât mai reprezentative este necesar ca prelucrarea datelor să se facă pe sectoare omogene din punct de vedere al valorilor. Metodologia propusă pentru prelucrarea datelor cuprinde două etape semnificative, și anume:

. împărțirea tronsonului de drum investigat în sectoare omogene din punct de vedere al valorii deflexiunilor;

. determinarea valorii deflexiunii caracteristice și a coeficientului de variație.

Impărțirea tronsonului de drum investigat în sectoare omogene se face cu ajutorul testului de omogenitate von Neumann (Kent-Bellinson-Hart) bazat pe media pătratică a diferențelor succesive [60], dată de relația:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i)^2 \quad (2.27)$$

în care:

σ^2 este media pătratică a diferențelor succesive;

x_i - valorile deflexiunilor, în 1/100mm;

n - numărul total de valori înregistrate pe tronsonul de drum.

Se calculează dispersia de selecție, cu relația 2.28.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.28)$$

în care:

s^2 este dispersia de selecție;

\bar{x} - valoarea medie a valorilor înregistrate (relația 2.29).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.29)$$

În funcție de numărul valorilor deflexiunilor se procedează în continuare la calculul unei valori statistice pe baza căreia se determină omogenitatea populației statistice (valorile deflexiunilor).

Dacă $n \leq 25$ se calculează statistica:

$$M = \sigma^2 / s^2 \quad (2.30)$$

care se compară cu valorile critice (α - cuantilele inferioare și superioare), tabelate de Hart (1942) pentru probabilități $\alpha = 0,01$ și $\alpha = 0,05$ (tabelul 2.6).

Tabelul 2.6

n	α - cuantila inferioară	$M_{1-\alpha; n}$	α - cuantila superioară	$M_{\alpha; n}$
	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
4	0,78	0,63	3,22	2,37
5	0,82	0,54	3,18	3,46
6	0,89	0,56	3,11	3,44
7	0,94	0,61	3,06	3,39
8	0,98	0,66	3,02	3,34
9	1,02	0,71	2,98	3,29
10	1,06	0,75	2,94	3,25
11	1,10	0,79	2,90	3,21
12	1,13	0,83	2,87	3,17
15	1,21	0,92	2,79	3,08
20	1,30	1,04	2,70	2,96
25	1,37	1,13	2,63	2,87

Dacă este îndeplinită condiția 2.31 populația se consideră omogenă (acceptînd riscul α).

$$M_{1-\alpha; n} < M < M_{\alpha; n} \quad (2.31)$$

Dacă $n > 25$ se calculează statistica M_1 (relația 2.32) care se compară cu valoarea critică $r_{\alpha; n}$ (relația 2.33).

$$M_1 = \frac{\sum^2}{2B^2} \quad (2.32)$$

$$r_{\alpha; n} = 1 - z_{\alpha} \sqrt{\frac{n-2}{n^2-1}} \quad (2.33)$$

în care z este α - cuantila legii normale reduse $N(0,1)$ ($z_{0,05} = 1,645$, $z_{0,01} = 2,327$) [57]

Populația se consideră omogenă dacă este îndeplinită relația

$$M_1 < r_{\alpha; n} \quad (2.34)$$

În ambele situații ($n \leq 25$ sau $n > 25$) dacă rezultă că populația este neomogenă, aceasta urmează a fi împărțită în două subpopulații, care urmează a fi testate din punct de vedere al omogenității după această metodologie. Considerînd o împărțire a terenului studiat în două zone, a căror poziție de delimitare este marcată de punctul 1 (fig. 2.49), se poate demonstra matematic faptul că punct-

tul i este caracterizat prin valoarea maximă a funcției dată de expresia 2.35 care se calculează corespunzător fiecărui punct în care s-a înregistrat deflexiunea.

$$g(i) = \frac{n}{i(n-i)} \left[\sum_{j=1}^i (x_j - \bar{x}) \right]^2 \quad (2.35)$$

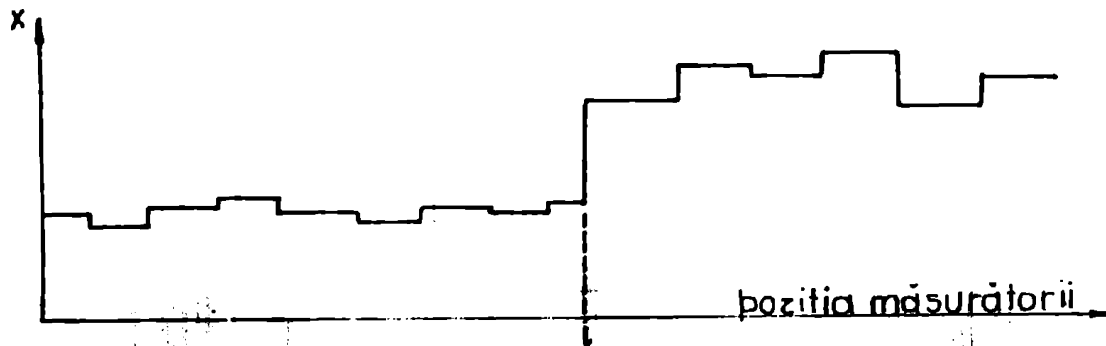


Fig.2.49. Schema de împărțire în două sectoare a tronsonului investigat.

Ținând seama de cele prezentate, se poate rezuma că algoritmul de împărțire a tronsonului de drum în sectoare omogene cuprinde 3 etape, și anume:

. etapa I: aplicarea testului de omogenitate. Dacă valorile sînt omogene se trece la calculul caracteristicilor de deformabilitate, dacă nu, se trece la etapa a II-a;

. etapa a II-a: se calculează funcțiile $g(i)$ (vezi relația 2.35), ceea ce permite împărțirea tronsonului investigat în două sectoare;

. etapa a III-a: se aplică testul de omogenitate a celor două sectoare. Dacă acestea sînt omogene se calculează caracteristicile de deformabilitate, în caz contrar revenindu-se la etapa a II-a pentru a subîmpărți în continuare sectoarele obținute.

Pe baza algoritmului prezentat s-a întocmit un program de calcul în limbaj FORTRAN, care permite testarea unui număr de pînă la 600 înregistrări (acest număr se poate mări fără probleme) ceea ce corespunde la o lungime investigată de aproximativ 2 km. Lungimea minimă a sectoarelor omogene a fost limitată inferior la circa 50 m (15 valori consecutive de deflexiuni).

Schema bloc de calcul este prezentată în fig.2.50, iar schema logică în fig.2.51.

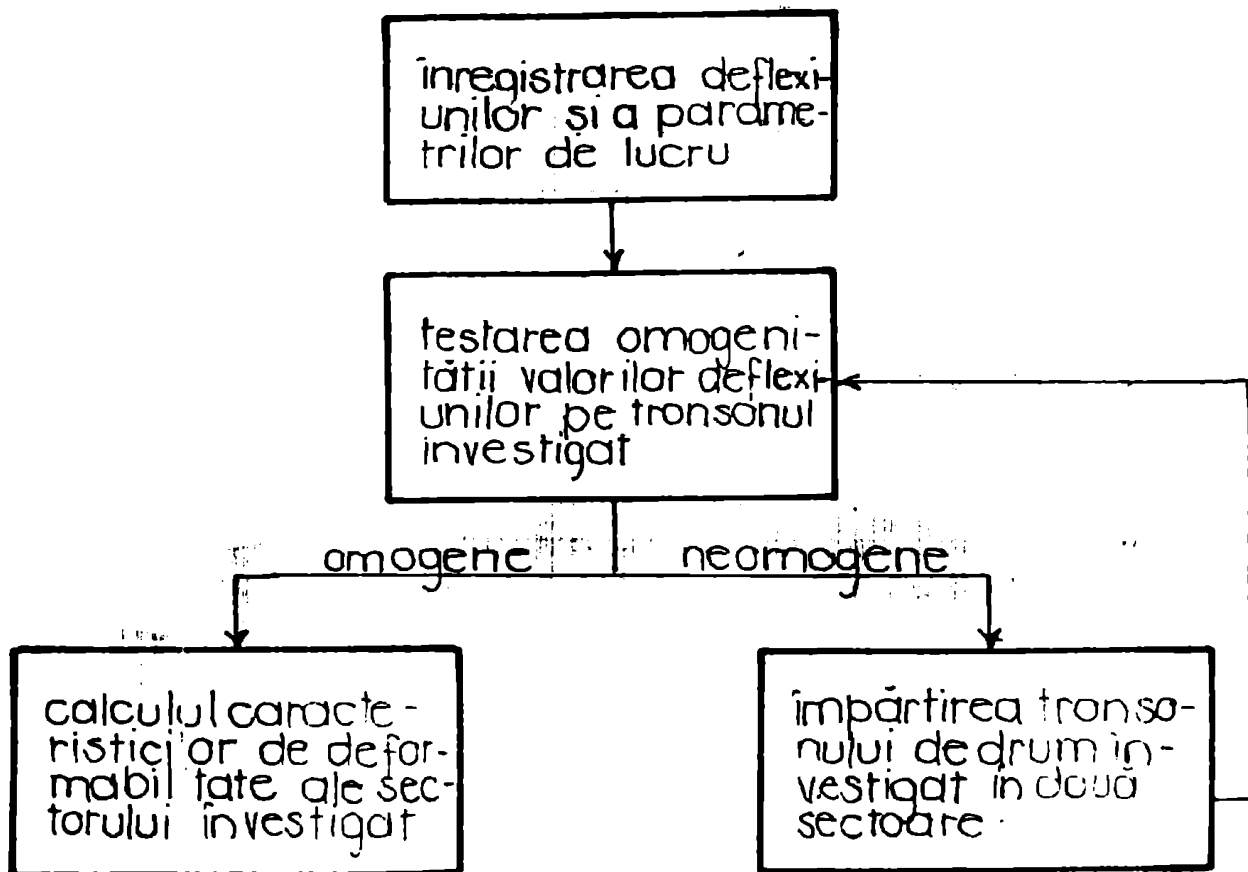


Fig.2.50. Schema bloc pentru prelucrarea automată a deflexiunilor înregistrate cu deflectograful Lacroix.

2.2.3. Unele defecțiuni ale îmbrăcăminților bituminoase

Pe parcursul exploatării, în îmbrăcămințile bituminoase apar o serie de defecțiuni [130] datorate în special următoarelor grupe de factori:

- . trafic;
- . capacitatea portantă a complexului rutier;
- . calitatea materialelor;
- . execuția lucrărilor;
- . condiții de exploatare și mediu înconjurător;
- . lucrări de întreținere.

În funcție de locul de apariție, defecțiunile îmbrăcăminților bituminoase se clasifică în patru grupe [130], conform tabelului 2.7.

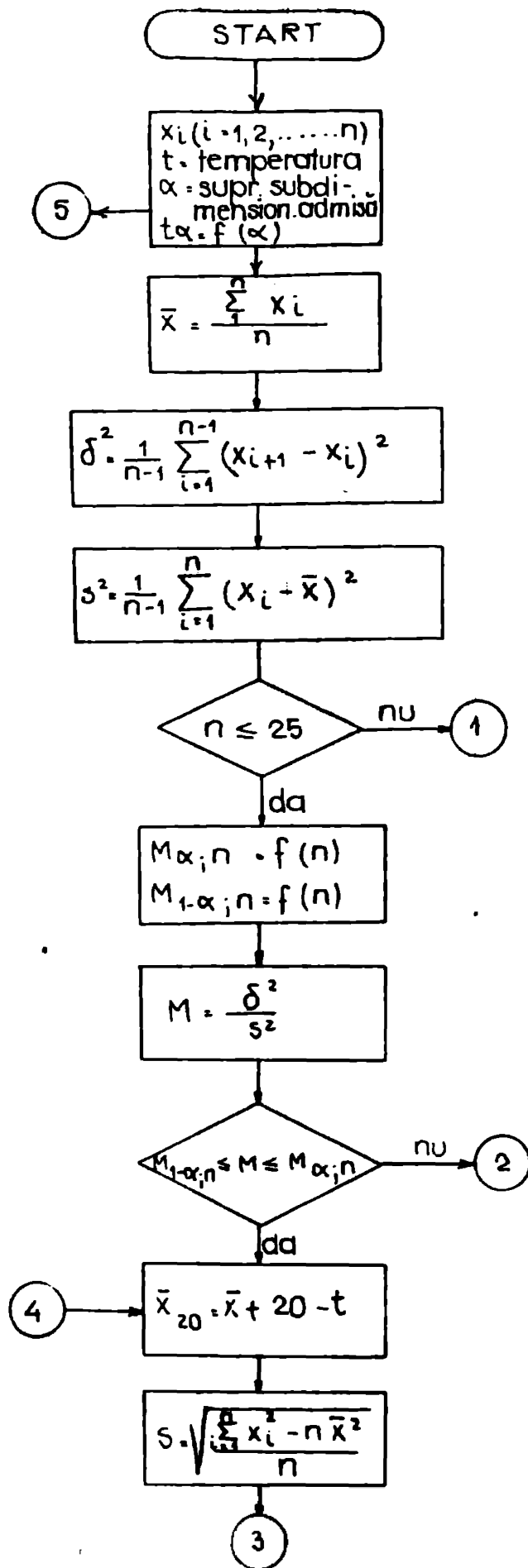
Tabelul 2.7.

Nr. crt.	Grupa defecțiunilor	Tipul defecțiunii
1	Defecțiuni ale suprafeței de rulare	Suprafață șlefuită Suprafață exsudată Suprafață șirșită
2	Defecțiuni ale îmbrăcămintei sistemului rutier	Peladă Văluriri și refulări Suprafață poroasă Suprafață cu ciupituri Suprafață încrêțită Praguri Rupturi de margine
3	Defecțiuni ale structurii sistemului rutier	Fisuri și crăpături Faianțări Făgașe longitudinale Gropi
4	Defecțiuni ale complexului rutier	Degradări din îngheț-dezghet Tasări locale

Avînd în vedere faptul că un anumit tip de defecțiune afectează într-o anumită măsură desfășurarea normală a traficului rutier din punct de vedere al confortului și siguranței, acestea au fost clasificate în trei grupe (tabelul 2.8) ținînd seama de urgențele de remediere [130]. La această grupare s-a luat în considerare și efectul pe care un anumit tip de defecțiune îl are asupra comportării ulterioare în exploatare a complexului rutier.

Influența diverșilor factori asupra apariției defecțiunilor este mai mult sau mai puțin importantă, cunoșterea acestora avînd un rol deosebit în abordarea studiului acestora și mai ales în luarea unor măsuri eficiente pentru prevenirea apariției și dezvoltării defecțiunilor. În acest sens a fost stabilit gradul de importanță al fiecărei cauze în generarea defecțiunilor îmbrăcămintelor bituminose (tabelul 2.9).

Din tabelul 2.9 se poate trage concluzia că grupele de factori: calitatea materialelor, execuția lucrărilor și lucrările de întreținere au o influență mai mult sau mai puțin importantă asupra majorității tipurilor de defecțiuni. Pentru prevenirea apari-



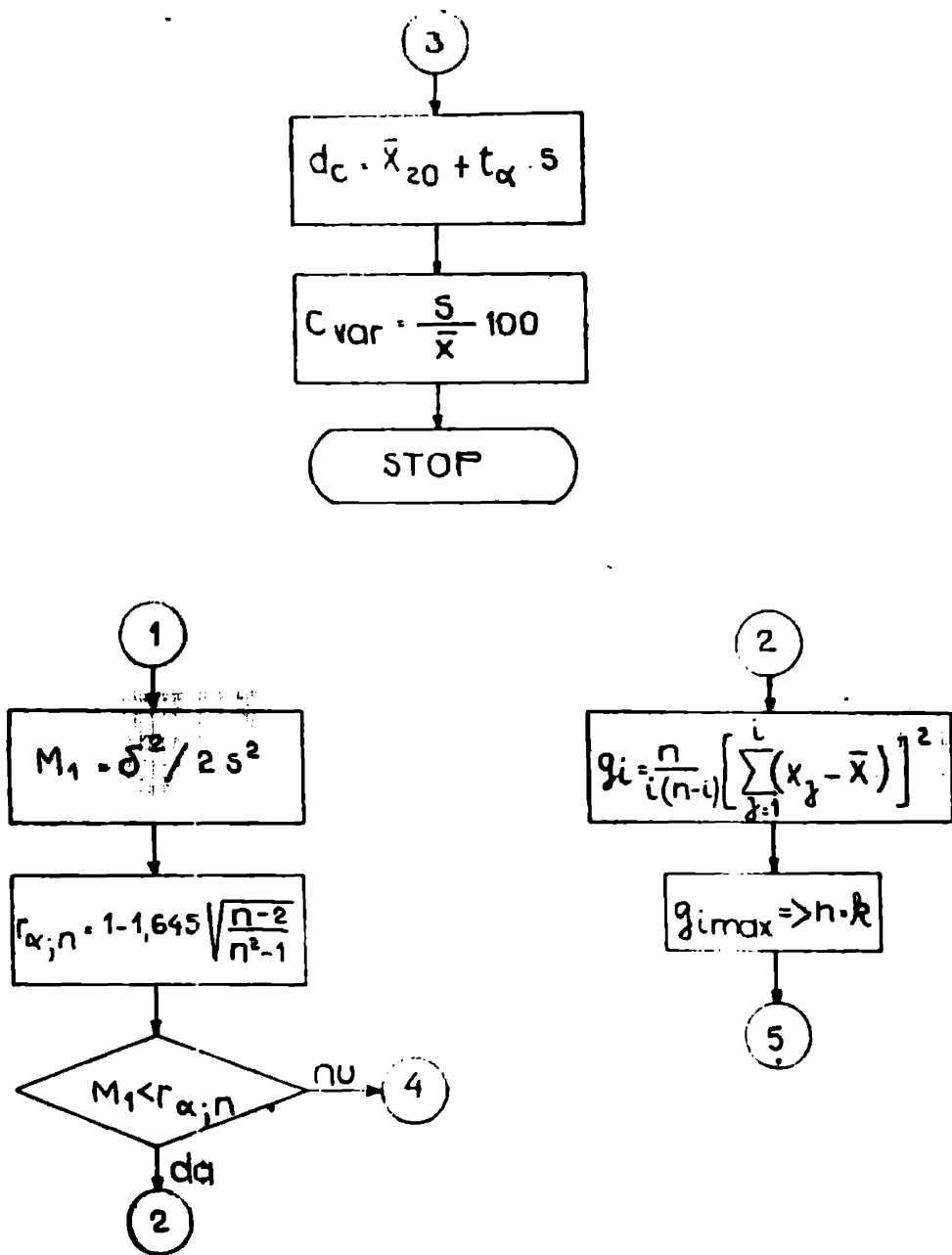


fig. 2.51 Schema logică de calcul pentru prelucrarea automată a deflexiunilor înregistrate cu deflectograful Lacroix

ției defecțiunilor la îmbrăcămintile rutiere bituminose, în scopul asigurării unei viabilități corespunzătoare, se impune ca la construcția și întreținerea drumurilor să se urmărească:

- . utilizarea unor materiale cu caracteristici corespunzătoare, conform normativelor în vigoare;
- . executarea unor lucrări de foarte bună calitate, cu respectarea strictă a tehnologiilor prescrise și a parametrilor prevăzuți în proiecte;
- . întreținerea drumurilor prin lucrări de calitate, executate la timp, urmărindu-se asigurarea unui caracter preventiv activității de întreținere.

Tabelul 2.8.

Urgența remedierii	Gradul defecțiunii	Tipul defecțiunii
I	Defecțiuni grave	Gropi Văluriri și refulări mari Degradări din îngheț-dezghet Tasări locale Praguri Peladă Faianțări
II	Defecțiuni mijlocii	Suprafață șlefuită Suprafață încrețită Văluriri și refulări în stare incipientă Suprafață exsudată Fisuri și crăpături Rupturi de margine Păgașe longitudinale
III	Defecțiuni ușoare	Suprafață cu ciupituri Suprafață poroasă Suprafață șiroită Peladă la tratamente bituminose

În ceea ce privește grupurile de factori: trafic, capacitate portantă și condiții de exploatare și mediu înconjurător se remarcă influența acestora, îndeosebi asupra defecțiunilor structurii sistemului rutier și ale complexului rutier. Pentru prevenirea degradării drumurilor datorită acțiunii acestor factori se impune:

- . dimensionarea corespunzătoare a complexului rutier pentru preluarea în bune condiții a sarcinilor de trafic, în special din traficul greu în condițiile de exploatare date;

- . protejarea structurilor rutiere și a pământului din patul drumului împotriva acțiunii apelor prin luarea de măsuri necesare pentru evacuarea acestora și etanșarea îmbrăcămintei;

- . asigurarea la îngheț-dezghet;

- ranforsarea complexelor rutiere cu durată de exploatare depășită;

În etapa actuală s-a constatat o sporire importantă a sarcinii pe osie a autovehiculelor grele ceea ce determină apariția unor defecțiuni caracteristice ale sistemelor rutiere cum ar fi fâșiașele longitudinale, faianțurile, văluririle și refulările, fisurile și crăpăturile îmbrăcămintei. Aceste tipuri de defecțiuni, aparute în principal datorită încălcării capacității portante necesare a complexului rutier în condițiile traficului greu, precum și datorită "oboselii" straturilor rutiere datorită solicitărilor repetate, apar tot mai frecvent pe drumurile cu îmbrăcăminți bituminosase.

Fâșiașele longitudinale (fig. 2.52) apar de regulă pe sectoarele de drum cu trafic intens și greu, ele fiind amplasate în profil transversal în zonele cele mai mult solicitate de traficul greu care se desfășoară de regulă pe același urme (canalizat).

Apariția fâșiașelor este favorizată de subdimensionarea complexului rutier, insuficienta compactare a structurilor rutiere, utilizarea la construcția sistemului rutier a unor mixturi nefăcșoare cu bitum de consistență prea usă sau în exces, precum și a unor condiții naturale cu unghi de înclinare interioară prea mic.

Analiza în laborator a mixturilor asfaltice prelevate din îmbrăcămințile bituminosase cu fâșiașe au arătat o compoziție granulometrică necorespunzătoare a mixturilor rezultate atât pentru straturile de uzură (fig. 2.53) cât și pentru straturile de legătură (fig. 2.54).

Excesul de liant în straturile de uzură, corelat cu compoziția granulometrică necorespunzătoare constituie cauza rezistenței la compresione redusă a straturilor asfaltice.

Tabelul 2.2

Grupă cauză	Tip de creștere	Defecțiuni ale sistemului rutier			Defecțiuni ale îmbrăcămîntului			Defecțiuni ale struct. sist. rutier			Def. alc. compl.rut.								
		Defecțiuni ale mîinii și refulării	Defecțiuni ale gîndirii	Defecțiuni ale mîinii și refulării	Defecțiuni ale gîndirii	Defecțiuni ale mîinii și refulării	Defecțiuni ale gîndirii	Defecțiuni ale mîinii și refulării	Defecțiuni ale gîndirii	Defecțiuni ale mîinii și refulării	Defecțiuni ale gîndirii	Defecțiuni ale mîinii și refulării							
Grupă cauză	Factori	1. Suprafața gîndirii	2. Suprafața gîndirii	3. Suprafața gîndirii	4. Suprafața gîndirii	5. Suprafața gîndirii	6. Suprafața gîndirii	7. Suprafața gîndirii	8. Suprafața gîndirii	9. Suprafața gîndirii	10. Praguri	11. Defecțiuni ale mîinii și refulării	12. Defecțiuni ale mîinii și refulării	13. Defecțiuni ale mîinii și refulării	14. Defecțiuni ale mîinii și refulării	15. Defecțiuni ale mîinii și refulării	16. Defecțiuni ale mîinii și refulării	17. Defecțiuni ale mîinii și refulării	
		Trafic greu	Trafic canalizat	Capacitate portanță redusă	Capacitate portanță normală	Capacitate portanță normală	Capacitate portanță normală	Capacitate portanță normală	Capacitate portanță normală	Capacitate portanță normală	Capacitate portanță normală	Capacitate portanță normală	Capacitate portanță normală	Capacitate portanță normală	Capacitate portanță normală	Capacitate portanță normală	Capacitate portanță normală	Capacitate portanță normală	
		Calitate	Calitate	Calitate	Calitate	Calitate	Calitate	Calitate	Calitate	Calitate	Calitate	Calitate	Calitate	Calitate	Calitate	Calitate	Calitate	Calitate	
		Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	
		Proiectare	Proiectare	Proiectare	Proiectare	Proiectare	Proiectare	Proiectare	Proiectare	Proiectare	Proiectare	Proiectare	Proiectare	Proiectare	Proiectare	Proiectare	Proiectare	Proiectare	Proiectare
		Instalații	Instalații	Instalații	Instalații	Instalații	Instalații	Instalații	Instalații	Instalații	Instalații	Instalații	Instalații	Instalații	Instalații	Instalații	Instalații	Instalații	Instalații
		Manoperă	Manoperă	Manoperă	Manoperă	Manoperă	Manoperă	Manoperă	Manoperă	Manoperă	Manoperă	Manoperă	Manoperă	Manoperă	Manoperă	Manoperă	Manoperă	Manoperă	Manoperă
		Supraveghere	Supraveghere	Supraveghere	Supraveghere	Supraveghere	Supraveghere	Supraveghere	Supraveghere	Supraveghere	Supraveghere	Supraveghere	Supraveghere	Supraveghere	Supraveghere	Supraveghere	Supraveghere	Supraveghere	Supraveghere
		Proceduri	Proceduri	Proceduri	Proceduri	Proceduri	Proceduri	Proceduri	Proceduri	Proceduri	Proceduri	Proceduri	Proceduri	Proceduri	Proceduri	Proceduri	Proceduri	Proceduri	Proceduri
		Norme	Norme	Norme	Norme	Norme	Norme	Norme	Norme	Norme	Norme	Norme	Norme	Norme	Norme	Norme	Norme	Norme	Norme
		Legislație	Legislație	Legislație	Legislație	Legislație	Legislație	Legislație	Legislație	Legislație	Legislație	Legislație	Legislație	Legislație	Legislație	Legislație	Legislație	Legislație	Legislație

C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2000000000																		
Bitum arsi																		
Impozit asupra																		
Defectiuni ale patului																		
dormitului																		
Leziunile de excentricitate																		
temperatura ambiant																		
Puterea explozivă în pite																		
lobostol																		
Contingenta funcționari																		
CONTINGINȚA CU ARSIZIA																		
Stangcitate în imbricmintei																		
Salutatea neoro. unuzi. mare																		
de lucratorilor de fabricație																		
Amplasarea lucratorilor de in-																		
trezirea																		

MP Influența în...

* Influența în...

Vălurile și refulările îmbrăcămintei bituminose (Fig. 2.52) apar frecvent pe sectoarele de drum cu trafic intens și greu, situate



Fig. 2.52. Făgașe longitudinale.

în zone în care apar eforturi orizontale relativ mari datorită frînării și accelerării și mai ales la îmbrăcămintele bituminose executate din mixturi asfaltice cu asfal bituminos care conțin bitum cu consistență redusă. Încercările efectuate, ale căror rezultate sunt prezentate în tabelul 2.11 au condus la formularea următoarelor cauze care determină apariția vălurilor și refulărilor [34][130]:

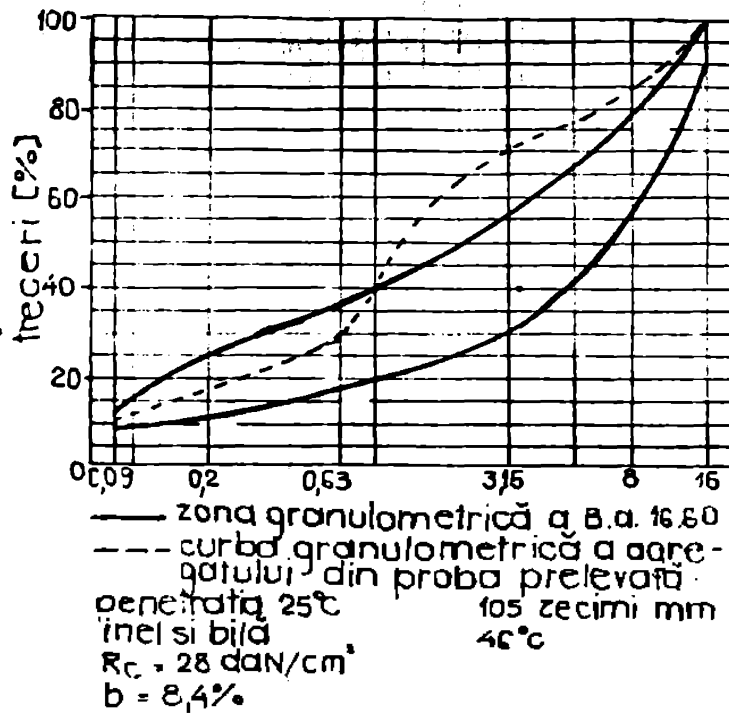
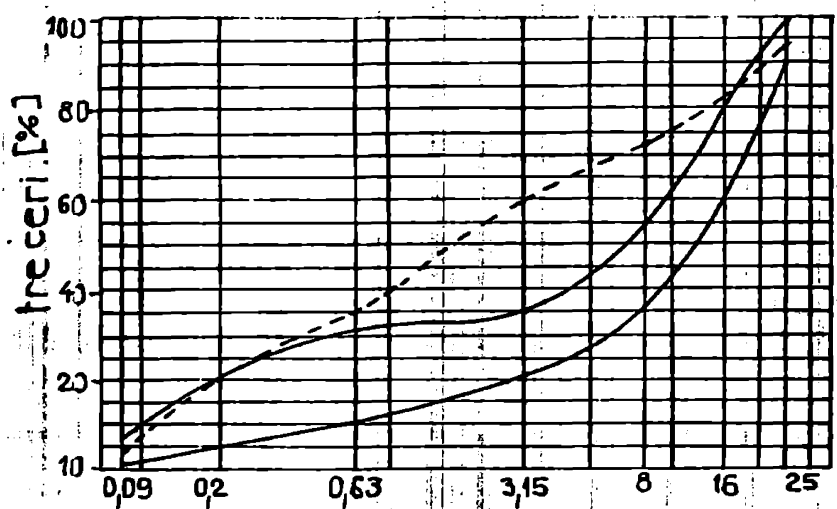


Fig. 2.53. Caracteristicile mixturii asfaltice din stratul de uzură (B.a.16).

- exces de bitum în masa mixturii asfaltice;
- consistența redusă a bitumului (penetrație peste $100 \text{ l}/10^2 \text{ mm}$);
- schelet mineral slab al mixturii asfaltice.

Le regulă, vălurile apar în perioadele cu temperaturi ridicate ale mediului ambiant și se accentuează rapid sub acțiunea traficului.



— zona granulometrică pt. Ba 25.80
 - - - curba granulometrică a agregatului din probă prelevată.

$R_c = 25 \text{ daN/cm}^2$; $b = 5,0 \%$

Fig. 2.54. Caracteristicile mixturii asfaltice din stratul de legătură (3.a.25).

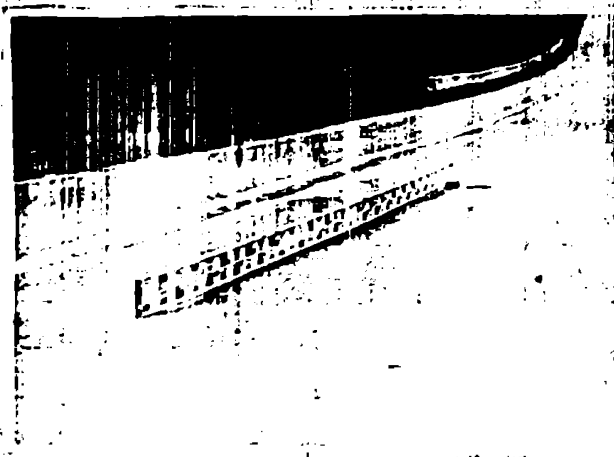


Fig. 2.55. Văluriri ale îmbrăcămintei bituminose.

Tabelul 2.10

Caracteristici	U.M.	Proba					
		1	2	3	4	5	6
0	1	2	3	4	5	6	7
Conținut de bitum	%	8,3	7,5	7,8	8,0	7,0	9,0
Fracțiunea 3...15 mm	%	27,5	29,8	29,3	28,3	22,0	23,0
Fracțiunea 0,09...3 mm	%	55,5	51,6	45,3	52,7	54,7	58,0
Fracțiunea sub 0,09 mm	%	17,0	17,6	25,4	16,0	18,3	19,0
Punct de înmiere bitum	°C	32,0	36,0	27,0	28,0	28,0	31,1
Rezistența la compresiune la 22 °C	N/mm ²	1,42	2,40	1,00	1,25	1,24	1,1
Rezistența la compresiune la 50 °C	N/mm ²	0,60	1,40	-	0,73	0,44	0,43

0	1	2	3	4	5	6	7
Densitatea aparentă	g/cm ³	2,24	2,21	2,27	2,22	2,30	2,26
Absorbție de apă volumetrică		3,0	5,0	2,9	2,4	2,5	1,0
Aspectul sectorului	-	vălu- riri	vălu- riri	vălu- riri mari	vălu- riri mari	vălu- riri mari	vălu- riri și ref. 5-6c

Având în vedere că în etapa actuală, în special în vederea țării se folosește pe scară largă nisipul bituminos la prepararea mixturilor asfaltice se menționează cauzele care conduc la obținerea unei vâscozități reduse a bitumului din mixturile asfaltice cu nisip bituminos [94].

. defecțiuni în procesul tehnologic, care se manifestă prin nerealizarea temperaturii de 160...180 °C la ieșirea din uscător a amestecului de agregate naturale cu nisip bituminos. Aceasta influențează nefavorabil calitatea mixturii asfaltice prin faptul că în uscător nu are loc fenomenul de oxidare-polimerizare parțială a uleiurilor din bitumul conținut de nisipul bituminos și deci liantul care se obține în final, prin amestecarea cu bitum industrial dur în malaxor are o vâscozitate prea mică, ceea ce determină o insuficientă stabilitate termică a mixturii asfaltice;

. umiditate ridicată a materialelor folosite la producerea mixturilor asfaltice, determinată de păstrarea acestora în depozite neacoperite. În aceste condiții, în uscător se consumă o bună parte din energia calorică pentru uscarea materialelor, iar fenomenul de oxidare-polimerizare a bitumului din nisipul bituminos se realizează doar pe ultima secțiune a uscătorului, într-o măsură insuficientă. Astfel, deci se obține la ieșirea din uscător o temperatură corespunzătoare (160...180 °C), vâscozitatea liantului din nisipul bituminos se modifică foarte puțin sau deloc, determinând obținerea unei mixturi asfaltice susceptibilă la văluriri;

. realizarea unui dozaj incorect al bitumului, determinată de modificarea conținutului de bitum al nisipului bituminos fără ca aceasta să fie luată în considerare la calculul adaosului de bitum dur (în sensul că nisipul bituminos conține mai mult bitum decât s-a luat în considerare la calculul dozajului). În acest fel se modifică raportul dintre bitumul natural din nisipul bituminos și adaosul de bitum dur, obținându-se în final un liant cu vâscozitate redusă.

Faianțările îmbrăcăminte bituminoase (fig. 2.56) apar de obicei pe sectoarele de drum unde capacitatea portantă a complexului rutier este depășită. Cauzele care determină faianțarea îmbrăcăminte sînt:

- . capacitatea portantă insuficientă a complexului rutier;
- . infiltrarea apelor pluviale în corpul căii;
- . realizarea necorespunzătoare a încadrării părții carosabile;
- . acțiunea traficului greu și repetat;
- . contaminarea cu argilă a straturilor de fundație;
- . acțiunea îngheț-dezghetului.

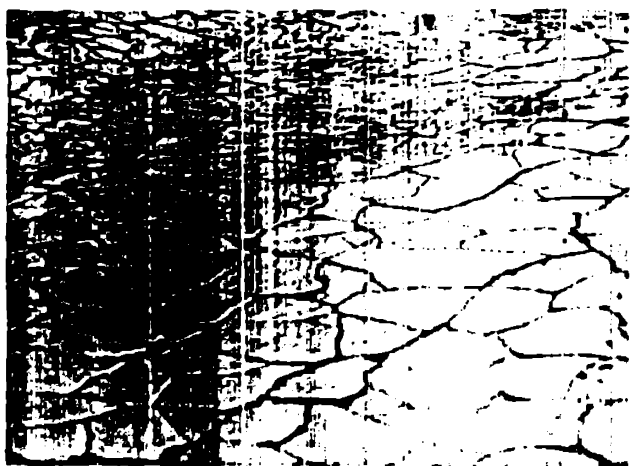


Fig. 2.56. Faianțări ale îmbrăcăminte bituminoase.

În general frecvența de apariție a faianțărilor este mult mai mare la marginea părții carosabile datorită solicitării mai accentuate a traficului greu în condițiile favorizării infiltrării apelor la nivelul patului drumului. Se subliniază necesitatea remedierii acestui tip de defecțiune prin decuparea întregului sistem rutier, inclusiv a pământului din patul drumului și înlocuirea acestora cu materiale corespunzătoare.

Fisurile și crăpăturile îmbrăcăminte bituminoase (fig. 2.57) de diverse tipuri (transversale, longitudinale, multiple pe direcții diferite și unidirecționale multiple) sînt influențate de majoritatea cauzelor prezentate în tabelul 2.B. Se subliniază în

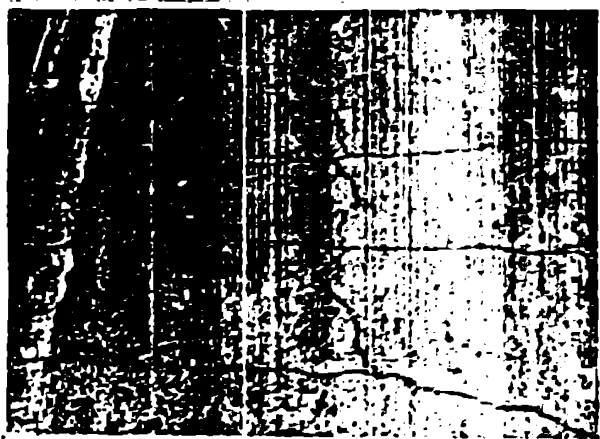


Fig. 2.57. Fisurarea îmbrăcăminte bituminoase,

mod deosebit influența traficului, a capacității portante a complexului rutier, a calității execuției lucrărilor precum și a condițiilor de exploatare și mediu înconjurător.

Avînd în vedere multitudinea cauzelor care pot genera fisurarea îmbrăcăminte bituminoase se

impune studierea aprofundată, de la caz la caz, a acestui tip de defecțiune pentru a se putea adopta cele mai bune soluții în vederea remedierii acestora.

Fisurarea îmbrăcămintei bituminoase pe suprafețe întinse denotă oboseala acestora sub acțiunea traficului și a factorilor climaterici, deci o capacitate portantă depășită, ceea ce implică neapărat o ranforsare a complexului rutier.

Apariția defecțiunilor îmbrăcămintelor bituminoase poate fi preîntâmpinată prin:

- . proiectarea sistemelor rutiere ținând seama de solicitările reale din trafic și de factorii climaterici, caracteristicile reale ale materialelor ce urmează a fi utilizate, comportarea reologică a diverselor materiale (mixturele asfaltice de exemplu) precum și de evoluția în timp a unor caracteristici ale materialelor (îmbătrânirea bitumului de exemplu);

- . execuția lucrărilor de construcție a sistemelor rutiere la parametri proiectași și ținând seama de prescripțiile tehnice în vigoare;

- . urmărirea permanentă a comportării în exploatare a complexelor rutiere și a evoluției parametrilor de solicitare a acestora;

- . execuția promptă a lucrărilor de întreținere care se impun ținând seama de evoluția stării drumului și de solicitarea complexului rutier.

Printr-o întreținere preventivă a drumurilor se poate asigura o viabilitate corespunzătoare a acestora în condiții avantajoase din punct de vedere al cheltuielilor și al consumului de energie.

2.2.4. Indicii de stare ai drumurilor

În scopul raționalizării strategiei de întreținere a drumurilor este necesar să se cunoască în orice moment starea acestora pentru a se putea stabili pe baze științifice concrete tehnologiile ce urmează a fi aplicate pentru îmbunătățirea stării de viabilitate a drumurilor, precum și momentul optim de intervenție.

Pe plan mondial se remarcă frecvența mare a preocupărilor specialiștilor din sectorul rutier în direcția cuantificării stării drumurilor prin diverși indici care să permită aprecierea la un moment dat a calității drumurilor precum și urmărirea evoluției acestora în timp. Acești indici se referă la o anumită caracteristică a drumului sau reflectă, printr-un indice global, ansamblul caracteristicilor care determină starea de viabilitate a acestuia.

De asemenea indicii de stare pot fi concepuți prin metoda

măsurii în care sînt îndeplinite anumite funcții ale drumului (siguranță, confort, eficiență) precum și din punct de vedere al beneficiarului (utilizatorului), respectiv al proprietarului (unității care îl administrează).

În urma încercărilor de mare anvergură A.A.S.H.O. Road Test [29] a fost elaborat indicele de viabilitate care cuantifică starea drumului la un moment dat prin note de la 5 (drum foarte bun) la 0 (drum foarte rău). Expresia acestui indice (2.36) a fost dedusă prin prelucrarea statistică a datelor experimentale ținînd seama de principalii parametri care influențează starea drumului.

$$p = 5,03 - 1,91 \lg(1 + \overline{SV}) - 0,01 \sqrt{C+P} - 1,38 \overline{KB}^2 \quad (2,36)$$

în care:

p este indicele de viabilitate;

\overline{SV} - variația pantei în profil longitudinal (vezi relația 2.37);

C - procentajul suprafețelor figurate în total suprafață carosabilă;

P - procentajul suprafețelor reparate în total suprafață carosabilă;

\overline{KB} - adîncimea medie a fâgașelor longitudinale, în pouce.

$$\overline{SV} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{1} - \frac{1}{n} \left(\frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{1} \right)^2}{n - 1} \quad (2,37)$$

în care:

α_i - panta măsurată în punctul i ;

n - numărul total de măsurători.

Pentru măsurarea pantei în profil longitudinal (α_i) se utilizează profilometrul A.A.S.H.O. care permite înregistrarea valorii acesteia la fiecare 0,15 m.

În ceea ce privește valorile indicelui de viabilitate corelate cu comportarea sectoarelor experimentale sub circulația de trafic menționează următoarele:

• în momentul dării în circulație, drumul a prezentat un indice de viabilitate $p=4,2$;

• cînd indicele de viabilitate a avut valoarea $p = 1,5$ s-a constatat că este necesar să se efectueze unele reparații;

• pentru un indice de viabilitate $p = 1,5$ sistemul rutier a fost practic distrus.

Avînd în vedere necesitatea introducerii și la noi în țară a indicilor de stare a drumurilor, INCHITRANS București în colaborare cu Institutul Politehnic Timișoara. Catedra de drumuri și autostrăzi

și instalații în construcții și cu Direcția Drumuri și Poduri Timișoara, au elaborat instrucțiuni tehnice pentru determinarea acestor indici [12B]. Conform acestor instrucțiuni, caracteristicile de stare ale drumurilor modernizate sunt exprimate prin următorii indici de stare:

- . indicele I_{hv}, care caracterizează planeitatea suprafeței de rulare în profil longitudinal;
- . rugozitatea SRT sau înălțimea de nisip HS, care caracterizează rugozitatea suprafeței de rulare;
- . deformația elastică caracteristică d_c a complexului rutier care caracterizează deformabilitatea sub sarcină a structurii rutiere;
- . indicele de degradare al îmbrăcămintei rutiere ID, care caracterizează starea de degradare a acesteia.

Caracteristicile menționate mai sus s-au avut în vedere la elaborarea indicilor de stare, având în vedere faptul că acestea concurează la definirea calității drumului, adică a capacității acestuia de a îndeplini funcția sa principală de a prelua sollicitările din trafic fără degradări în condițiile asigurării confortului și siguranței circulației cu cheltuieli minime pentru utilizatori.

Indicii de stare ai drumurilor pot fi utilizați în următoarele scopuri:

- . stabilirea în momentul determinării lor a indicatorilor de calitate ai drumurilor;
 - . stabilirea evoluției în timp a indicatorilor de calitate ai drumurilor;
 - . studierea cauzelor degradării îmbrăcămintelor rutiere;
 - . stabilirea strategiei optime de întreținere preventivă și reparație coordonată și planificarea lucrărilor de întreținere;
 - . întocmirea și completarea periodică a bazei de date rutiere.
- În vederea determinării indicilor de stare ai drumurilor, tronsonul cercetat se împarte în secțiuni omogene caracterizate prin aceleași date referitoare la:
- . anul modernizării drumului sau al efectuării ultimei reparații;
 - . tipul sistemului rutier;
 - . caracteristicile traficului.

Indicii de stare ai drumului se determină la data în exploatare a drumului și periodic, în funcție de clasa tehnică a drumului pentru a putea urmări evoluția în timp a calității drumului. Se re-

comandă determinarea tuturor indicilor în aceeași campanie de măsurare.

Pentru aprecierea caracteristicilor de stare ale drumurilor se utilizează 5 calificative de calitate, conform tabelului 2.11.

Tabelul 2.11. Aprecierea caracte-

Aprecierea drumului din punct de vedere al unei caracteristici de stare	Calificativul de calitate
excelent	5
bun	4
satisfăcător	3
nesatisfăcător	2
rău	1

risticilor de stare ale drumurilor se efectuează în funcție de mărimea raportului dintre valoarea măsurată a indicelui de stare și valoarea admisibilă a acestuia (indice relativ de stare).

Se vor face în continuare referiri la determinarea indicilor de stare pentru drumuri cu sisteme rutiere nerigide și semirigide (cu straturi stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici și îmbrăcăminte bituminoasă).

Indicele I_{hv} care caracterizează planeitatea suprafeței de rulare se determina cu ajutorul aparatului Viagraf conform instrucțiunilor în vigoare [132]. Planeitatea sectorului de măsurare se determină separat pentru fiecare bandă de circulație, în final calculându-se o valoare medie a acestuia cu ajutorul relației 2.38.

$$I_{hv_m} = \frac{100 \sum_{i=1}^n I_{hv_i}}{L}, \quad [\text{mm}/100 \text{ m}] \quad (2.38)$$

în care:

I_{hv_m} este indicatorul hectometric viagraf mediu pentru o bandă de circulație a sectorului de măsurare, în mm/100 m;

I_{hv_i} - indicatorul hectometric viagraf corespunzător porțiunii i în lungime de 100 m a unei benzi de circulație, în mm/100 m;

n - numărul porțiunilor de 100 m pe o bandă de circulație corespunzător sectorului de măsurare;

L - lungimea sectorului de măsurare, în m.

Valoarea maximă admisibilă a indicilor I_{hv} este dată în tabelul 2.12 în funcție de categorie drumului și de intensitatea medie zilnică anuală a traficului în vehicule fizice.

Planeitatea suprafeței de rulare se clasifică în funcție de indicele de planeitate (indicatorul hectometric viagraf relativ)

I_{plan}^{Ihv} (formula 2.39), conform tabelului 2.13.

Tabelul 2.12.

Categoria drumului	Autostrăzi și drumuri cu 4 benzi de circulație	Drumuri cu 2 benzi de circulație cu M.Z.A.	
		Veh/24 ore	
		≥ 3000	< 3000
$I_{hv adm.}$ mm/100 m	20	30	60

$$I_{plan}^{Ihv} = \frac{I_{hv}}{I_{hv adm}} \quad (2.39)$$

Tabelul 2.13.

I_{plan}^{Ihv}	Calificativul sectorului de drum din punct de vedere al planeității
$< 1,00$	5
1,00...1,50	4
1,51...2,00	3
2,01...3,00	2
$> 3,00$	1

Rugozitatea SRT, respectiv înălțimea de nisip HS se determină conform standardului în vigoare [133]. Pozițiile profilurilor transversale în care se efectuează măsurătorile se stabilesc în puncte cât mai reprezentative pentru suprafața de rulare a părții carosabile, conform instrucțiunilor [128]. Pe baza valorilor medii efective obținute prin măsurare se calculează indicii de rugozitate cu ajutorul relațiilor 2.40 și 2.41.

$$I_{rug}^{SRT} = \frac{SRTm}{70} \quad (2.40)$$

$$I_{rug}^{HS} = \frac{HSm}{0,6} \quad (2.41)$$

în care:

I_{rug}^{SRT} , I_{rug}^{HS} sunt indicii de rugozitate corespunzător rugozității SRT, respectiv HS;

SRTm - valoarea medie efectivă a rugozității SRT măsurată pe sectorul de drum studiat, în unități SRT;

HSm - valoarea medie efectivă a rugozității geometrice dată de înălțimea de nisip, în mm.

Aprecierea calității drumului din punct de vedere al rugozității suprafeței de rulare se face în funcție de limitele prevăzute pentru indicii de rugozitate, conform tabelului 2.14.

Tabelul 2.14

I_{SRT} rug	I_{HS} rug	Calificativul sectorului de drum din punct de vedere al rugozității
> 1,00	> 1,00	5
0,91...1,00	0,86...1,00	4
0,81...0,90	0,73...0,65	3
0,70 ...0,80	< 0,33	2
< 0,70	< 0,33	1

Deformația elastică caracteristică ce se determină cu deflecometrul cu pîrghie Benkelmann, deflecometrul Soiltest sau cu deflectograful Lacroix, conform metodologiei cunoscute, pentru osie de 100 kN. Pe baza acesteia și a deformației elastice admisibile se determină indicele de deformabilitate cu relația 2.42.

$$I_{def} = \frac{d_c}{d_a} \quad (2.42)$$

în care:

I_{def} este indicele de deformabilitate;

d_c - deformația elastică caracteristică, în 1/100 mm;

d_a - deformația elastică admisibilă, în 1/100 mm.

Deformația elastică admisibilă se calculează în funcție de volumul de trafic (dat prin numărul de treceri ale osiei etalon de 100 kN corespunzător perioadei de perspectivă pe o bandă de circulație) de tipul sistemului rutier, utilizînd diagrama din fig. 2.58.

Aprecierea calității drumului din punct de vedere al deformabilității se face în funcție de valorile indicelui de deformabilitate, conform tabelului 2.15.

Tabelul 2.15.

I_{def}	Calificativul sectorului de drum din punct de vedere al deformabilității
< 1,00	5
1,00...1,49	4
1,50...1,99	3
2,00...3,00	2
> 3,00	1

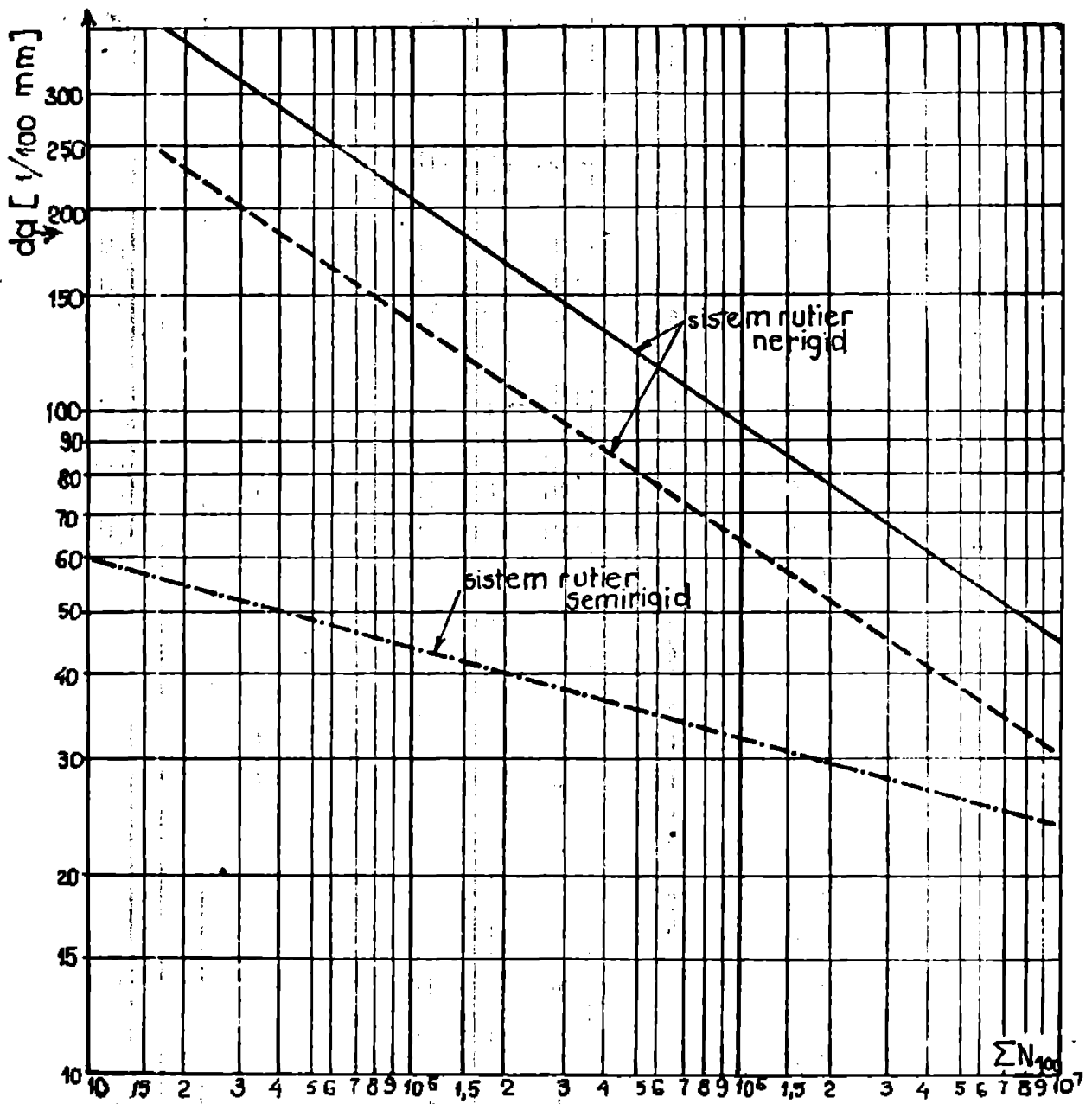


Fig. 2.58. Diagramă pentru determinarea deformației elastice admisibile.

Indicele de degradare al îmbrăcămintei rutiere se determină în funcție de mărimea suprafeței cu defecțiuni, respectiv a suprafeței totale a benzii de circulație de pe sectorul studiat.

$$ID = \frac{S_{def}}{S} \quad (2.43)$$

În care: ID este indicele de degradare al îmbrăcămintei rutiere;
 S_{def} - suprafață cu defecțiuni, în m²;
 S - suprafața totală a benzii de circulație, în m².

Suprafața cu defecțiuni se calculează cu ajutorul relației 2.44 ținând seama de tipul defecțiunii și de influența pe care acestea o au asupra calității drumului din punct de vedere al stării de degradare.

$$S_{def} = D_1 + 0,7 \cdot D_2 + 0,7 \cdot 0,5 \cdot D_3 + 0,2 \cdot D_4 + D_5 \quad [m^2] \quad (2.44)$$

în care:

- D_1 - este suprafața cu gropi (inclusiv cele plombate), în m^2 ;
- D_2 - suprafața cu defecțiuni de tipul faianțurilor, fisurilor și crăpăturilor multiple pe direcții diferite, în m^2 ;
- D_3 - lungimea defecțiunilor de tipul fisurilor și crăpăturilor transversale și longitudinale și rupturilor de margine, în m;
- D_4 - suprafața cu defecțiuni de tipul suprafeței poroase, suprafeței cu ciupituri, suprafeței încrețite, suprafeței șiroite și suprafeței exsudate, în m^2 ;
- D_5 - lungimea defecțiunilor de tipul fâgagelor longitudinale, în m.

Aprecierea calității drumului din punct de vedere al stării de degradare se face în funcție de indicii de degradare, conform tabelului 2.16.

Tabelul 2.16.

ID	Calificativul sectorului de drum din punct de vedere al stării de degradare
< 0,01	5
0,01...0,10	4
0,11...0,20	3
0,21...0,30	2
> 0,30	1

Ținând seama de calificativele acordate unui anumit tronson de drum se poate trage o concluzie reală privind starea de viabilitate a acestuia. În cazul în care rezultă o stare necorespunzătoare, urmează a se lua măsuri care să conducă la îmbunătățirea condițiilor de circulație.

2.3. Concluzii și propuneri

Aspectele prezentate în acest capitol referitor la studiul calității mixturilor asfaltice și al îmbrăcăminților bituminoase permit formularea unor concluzii și propuneri.

În legătură cu studiul mixturilor asfaltice se menționează:

- . caracteristicile mixturilor asfaltice influențează hotărâtor asupra calității lucrărilor, asupra comportării în exploatare a straturilor rutiere executate folosind aceste materiale, în principal asupra condițiilor de confort și siguranță oferite participanților la circulație și a cheltuielilor de transport;

- . în condițiile actualei crize energetice și de materii prime se impune proiectarea judicioasă a mixturilor asfaltice în funcție de solicitările reale precum și respectarea cu strictețe a condițiilor de calitate impuse de prescripțiile tehnice;

- . pentru cunoașterea comportării reale a mixturilor asfaltice este necesar să se efectueze încercări de laborator complexe care să simuleze cât mai corect condițiile reale de solicitare, ținând seama de caracterul reologic al comportării acestora. Astfel se impune necesitatea determinării modulului complex al mixturilor asfaltice, comportarea acestora la oboseală și la formarea deformațiilor plastice sub acțiunea repetată a traficului rutier, în special a traficului greu;

- . având în vedere că aparatura necesară pentru determinarea caracteristicilor fundamentale ale mixturilor asfaltice este complexă, costisitoare și provine din import este necesară asimilarea în țară a unor astfel de aparate cu care să fie dotate laboratoarele rutiere de cercetare; timpul relativ îndelungat, necesar pentru efectuarea acestor încercări nu permite utilizarea lor în activitatea curentă de producție;

- . între caracteristicile fundamentale ale mixturilor asfaltice, caracteristicile clasice determinate curent în laborator, prin metodologii operative, parametrii de compoziție ai mixturilor asfaltice și condițiile de exploatare specifice se pot stabili relații de corelare statistică pe baza cărora se pot determina în mod indirect anumite caracteristici;

- . caracteristicile mixturilor asfaltice depind în foarte mare măsură de compoziția acestora și de proprietățile materialelor utilizate la prepararea acestora, în special de calitățile bitumului;

- . pentru determinarea cât mai exactă a caracteristicilor bitu

mului, care pot fi utilizate pentru determinarea indirectă a calității mixturii asfaltice, au fost concepute și realizate în cadrul laboratorului de drumuri al Catedrei de drumuri, fundații și instalații în construcții, două aparate cu caracteristici superioare: penetrometrul electronic și aparatul electronic pentru determinarea punctului de înmuiere înel și bilă. Utilizarea acestor aparate în laboratorul de drumuri permite obținerea unor rezultate superioare calitativ din punct de vedere al preciziei și omogenității;

. realizarea acestor aparate conduce la creșterea productivității în activitatea de laborator, în condițiile unei calități superioare și a eliminării importului; în consecință, se propune introducerea penetrometrului electronic și a aparatului electronic înel și bilă la toate laboratoarele de drumuri;

. aceste aparate se pot realiza în întregime cu piese din țară, la prețuri inferioare celor cu care se achiziționează aparatele din import;

. pentru fiecare dintre cele două aparate prezentate a fost obținut brevet de invenție;

. aparatele sînt în curs de asimilare de către IMEC București în vederea producerii lor în serie și generalizarea în activitatea curentă a laboratoarelor rutiere.

In ceea ce privește îmbrăcămintile bituminoase se subliniază următoarele aspecte:

. calitatea îmbrăcămintilor bituminoase influențează în mod direct eficiența transporturilor rutiere, confortul și siguranța circulației;

. principalele caracteristici care trebuie luate în considerare la aprecierea calității îmbrăcămintilor bituminoase sînt: uniformitatea și rugozitatea suprafeței de rulare, starea de degradare a îmbrăcămintei bituminoase și capacitatea portantă a complexului rutier;

. pentru determinarea acestor caracteristici există o gamă foarte mare de instrumente și aparate care permit redarea cuantificată, mai mult sau mai puțin exactă a stării reale;

. avînd în vedere stadiul actual pe plan mondial privind mijloacele de investigare a suprafeței de rulare (uniformitate și rugozitate) și a capacității portante a complexelor rutiere se impun eforturi susținute din partea specialiștilor pentru asimilarea unor metode și aparate moderne de investigare, de mare randament.

Aceasta deoarece starea tehnică a rețelei de drumuri influențează direct eficiența economică și energetică a transporturilor rutiere și deciziile privind lucrările ce trebuie executate pentru îmbunătățirea stării de viabilitate a drumurilor pot fi luate corect și aplicate eficient numai pe baza unor date reale și suficiente privind situația existentă;

Starea de degradare a îmbrăcămintelor bituminose poate fi apreciată numai pornind de la existența unui catalog al defecțiunilor acestora. În acest scop s-au reactualizat "Instrucțiunile tehnice departamentale privind prevenirea și remedierea defecțiunilor îmbrăcămintelor rutiere moderne", care cuprind și un capitol referit la defecțiunile îmbrăcămintelor bituminose. Pe baza rezultatelor cercetărilor au fost tratate defecțiunile care au ca și cauză, printre altele, traficul greu, având în vedere ponderea tot mai mare a acestuia în totalul traficului și efectul accentuat distructiv asupra complexului rutier. În cadrul instrucțiunilor s-a reconsiderat clasificarea defecțiunilor în funcție de locul de apariție, precum și gruparea lor în funcție de gravitate și urgența de remediere, ținând seama nu numai de influența momentana a unui anumit tip de defecțiune asupra confortului, siguranței și eficienței transporturilor rutiere ci și de implicațiile pe care aceasta o are asupra evoluției ulterioare, în timp, a stării drumului. Având în vedere faptul că diverși factori influențează mai mult sau mai puțin apariția unui anumit tip de defecțiune se impune cunoașterea acestei influențe pentru abordarea corectă a studiului defecțiunilor și mai ales pentru luarea unor măsuri eficiente de prevenire sau de remediere a acestora. În acest scop s-a întocmit un tabel în care este prezentat gradul de importanță al diverselor cauze în generarea unui anumit tip de defecțiune;

Se consideră necesară urmărirea în continuare a procesului de apariție a defecțiunilor, în special a celor generate de traficul greu, în corelație cu simularea producerii acestor defecțiuni în condiții de laborator (de exemplu formarea fâgașelor longitudinale);

Se constată, pe plan mondial, frecvențe mare a preocupărilor specialiștilor din sectorul rutier în direcția cuantificării stării drumurilor prin diverși indici care să permită aprecierea la un moment dat a calității drumurilor, precum și urmărirea evoluției acesteia în timp. Acești indici se referă la o anumită ca-

racteristică a drumului sau reflectă, global, ansamblul caracteristicilor care determină starea de viabilitate a acestora;

. pentru aprecierea stării tehnice a drumurilor, au fost elaborate pentru prima dată în țara noastră instrucțiuni tehnice pentru determinarea indicilor de stare ai drumurilor modernizate și cu îmbrăcăminti bituminoase ușoare care se referă la uniformitatea suprafeței de rulare, rugozitatea acesteia, deformabilitatea complexului rutier și starea de degradare a îmbrăcăminte. Metodologia propusă pentru determinarea acestora ține seama de dotarea cu aparatură a unităților de drumuri din producție, proiectare și cercetare. De asemenea s-a avut în vedere ediția revizuită a instrucțiunilor pentru prevenirea și remedierea defecțiunilor îmbrăcămintelor rutiere. Sînt prevăzute diferite niveluri de calitate pentru fiecare indice, ținînd seama de implicațiile pe care caracteristica respectivă le are asupra confortului, siguranței și eficienței transporturilor sau a comportării sub acțiunea traficului a complexului rutier;

. indicii de stare ai drumurilor pot fi utilizați pentru stabilirea viabilității drumului la un moment dat, a evoluției în timp a acesteia, studiul cauzelor defecțiunilor îmbrăcămintelor rutiere, stabilirea strategiei optime de întreținere preventivă și reparație coordonată și planificarea lucrărilor de întreținere, precum și pentru întocmirea și completarea bîncii de date rutiere;

. se apreciază ca necesară continuarea cercetărilor în scopul determinării unui indice global care să reflecte printr-un singur calificativ starea drumului prin prisma funcțiilor pe care acesta trebuie să le satisfacă: confort, siguranță și eficiență.

Calitatea nixturilor asfaltice și a îmbrăcămintelor bituminoase este unul dintre factorii de bază care influențează în mod direct siguranța și confortul circulației, precum și eficiența transporturilor rutiere.

Cap. III. Mixturi asfaltice speciale

Mixturile asfaltice speciale au, de regulă, o utilizare mai restrânsă, însă prezintă o serie de caracteristici deosebite de ale mixturilor asfaltice clasice datorită condițiilor speciale în care acestea se realizează. Aceste condiții sînt determinate de materialele utilizate sau de compoziția adoptată care conferă mixturii asfaltice proprietăți superioare din anumite puncte de vedere.

Studiul și realizarea unor mixturi asfaltice speciale, cu performanțe superioare au drept scop executarea unor straturi rutiere cu caracteristici deosebite și întrebuințări bine definite, dintre care se menționează [9], [53], [64]:

- obținerea unor mixturi asfaltice care să poată fi puse în operă în straturi subțiri, cu suprafețe rugoase, utilizate îndeosebi în activitatea de întreținere a drumurilor;

- realizarea unor mixturi asfaltice capabile de a suporta deformații mari, sub eforturi repetate, care ar urma să fie utilizate pentru:

- acoperirea cu straturi bituminosase subțiri (3...5 cm) a îmbrăcăminților uzate ce prezintă fisuri de contracție, fisurări datorită obosealii materialului etc.;
- ranforțarea sistemelor rutiere existente, mai ales în orașe unde nu este posibil să se aplice straturi groase peste îmbrăcămintea existentă;
- îmbrăcăminți rezistente pentru șalea pe poduri;
- întreținerea îmbrăcăminților existente prin aplicarea unor covoare asfaltice de grosime redusă;

- aplicarea unor covoare asfaltice pe îmbrăcăminți din beton de ciment fisurate, realizate cu mixturi asfaltice speciale.

O mare parte dintre mixturile asfaltice speciale sînt realizate utilizînd lianți bituminoși modificați, obținuți cu diverse adaosuri cum ar fi: polimeri, cauciuc, rășini termoplastice, săli

etc. Prin această metodă, de "îmbunătățire" a liantului bituminos se urmărește obținerea unor mixturi asfaltice a căror caracteristici mecanice să fie asigurate în mai mare măsură de liant și nu de scheletul mineral, ceea ce dă o libertate mai mare în formularea compoziției mixturilor asfaltice (de exemplu utilizarea unor mixturi asfaltice mai puțin compacte, fără riscul de apariție a fâșagelor).

De asemenea în categoria mixturilor asfaltice speciale se includ și cele realizate cu materiale și cu compoziții deosebite de cele practicate în mod curent pe șantierele de drumuri. Astfel sînt mixturile asfaltice cu granolit, mixturile asfaltice cu agregate naturale cu granulometrie discontinuă, mixturile asfaltice colorate sau mixturile asfaltice realizate la rece cu emulsie bituminoasă cationică etc.

3.1. Mixturi asfaltice cu bitum-sulf

În ultimii ani, în multe țări s-a studiat posibilitatea folosirii sulfului ca adnos în bitum. Prepararea mixturilor asfaltice cu bitum-sulf are dublu scop: de a îmbunătăți proprietățile bitumului și implicit ale mixturilor asfaltice și de a substitui o parte din bitum. De regulă, sulful provine din industria minieră, a gazului metan sau a petrolului [91], [124].

Studiile de laborator și experimentările pe diverse sectoare de drum au urmărit să evidențieze proprietățile deosebite ale mixturilor asfaltice cu bitum-sulf, precum și avantajele economice care rezultă din înlocuirea parțială a bitumului cu sulf.

Pentru prepararea mixturilor asfaltice, sulful poate fi introdus fie direct în malaxor, fie în bitum pentru a forma liantul bitum-sulf. Prima variantă se aplică în cazurile în care se lucrează cu procentaje mari de sulf. Prepararea liantului bitum-sulf se face în instalații speciale care permit obținerea unei dispersii foarte fine a sulfului în bitum (particule cu diametrul de ordinul micronilor), ceea ce favorizează obținerea unui material omogen. Dacă proporția de sulf în bitum este mai mică de 15%, acesta se dizolvă în mătenele din bitum. La proporții mai mari, o parte din sulf este dispersată în masa bitumului. Viscositatea foarte redusă a sulfului face ca acesta să joace un rol de fluidifiant în bitum, liantul bitum-sulf avînd o vîscozitate mai redusă decît a bitumului de bază (fig. 3.1) [30]. La temperatura ambiantă, dacă este proaspăt, liantul bitum-sulf este mai moale decît bitumul.

În timp, penetrația bitumului-sulf, care este o măsură a vîscozității acestuia, evoluează, datorită recristalizării sulfului. Această evoluție depinde de temperatura de conservare (fig. 3.2). Rigidizarea liantului bitum-sulf este reversibilă, prin încălzire la 130 °C, proba avînd o penetrație superioară bitumului de referință (fig. 3.3).

Trebuie avut în vedere faptul că sulful poate să reacționeze

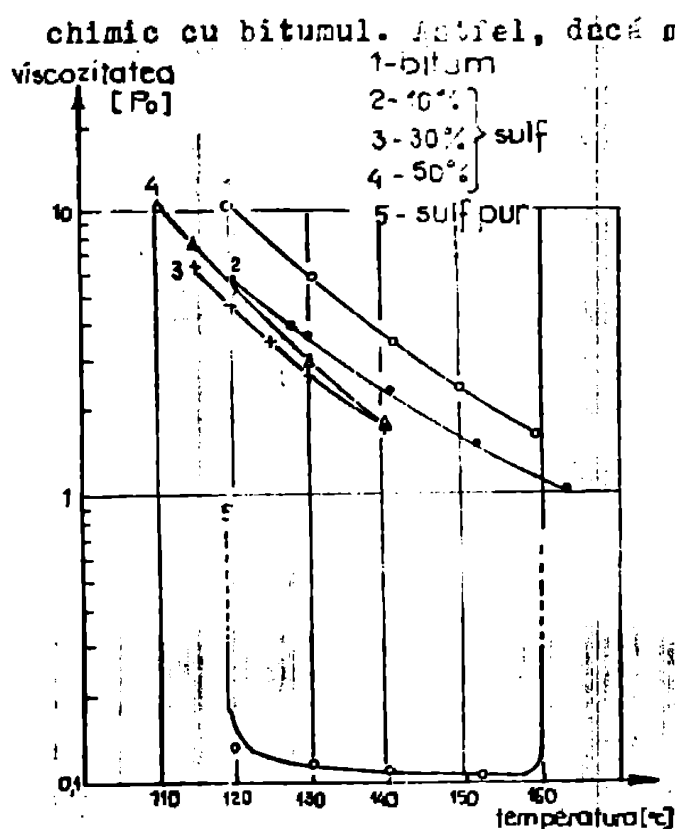


Fig. 3.1. Viscositatea bitumului, sulfului și a diverselor amestecuri bitum-sulf.

un amestec bitum-sulf, sulful se combină cu bitumul sub formă de polisulfuri, obținându-se un liant mai rigid. Dacă temperatura depășește 150 °C se observă o degajare de hidrogen sulfurat (H_2S). În practică se evită aceste reacții, menținând temperatura de stocare strict sub 150 °C.

Studiile și experimentările efectuate au scos în evidență faptul că proporția optimă de sulf este de 30%, raportată la bitum (proporții volumice) [91], [3], [124].

Mixturile asfaltice preparate cu bitum-sulf au o rezistență la compresiune inițială inferioară celor preparate cu bitum pur, însă această rezistență crește în timp, devenind în final mai mare.

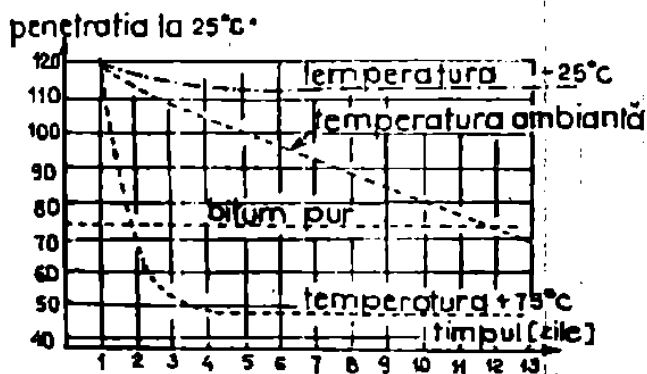


Fig. 3.2. Evoluția penetrației bitumului-sulf în funcție de temperatura de conservare.

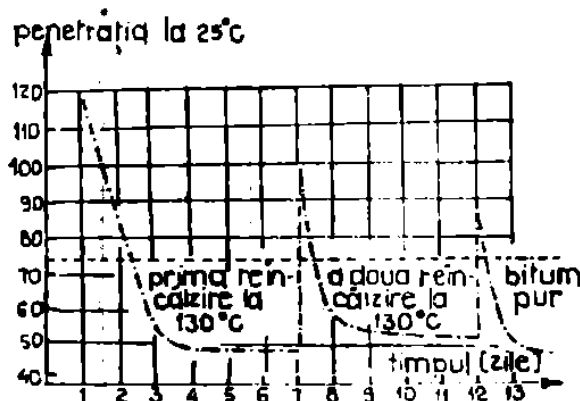


Fig. 3.3. Reversibilitatea evoluției penetrației liantului bitum-sulf.

Această evoluție, datorată recristalizării sulfului este, în funcție de dozajul de liant, de proporție de sulf și de temperatura de conservare. În fig. 3.4. se prezintă un exemplu de evoluție în timp a rezistenței la compresiune a unei mixturi asfaltice cu bitum-sulf, comparativ cu cea a unei mixturi asfaltice cu bitum pur [33]. În condiții normale de încercare s-a constatat o rezistență

bună la acțiunea apei a acestor tipuri de mixturi asfaltice. La încercări prelungite însă, aceste rezistențe sînt puțin mai mici decît în cazul mixturilor asfaltice cu bitum pur.

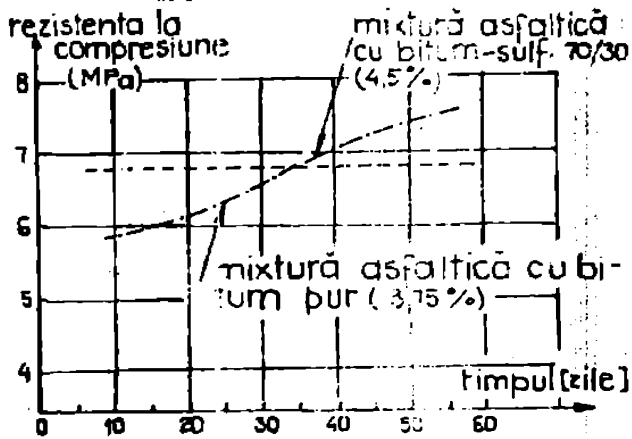


Fig. 3.4. Evoluția rezistenței la compresiune a mixturii asfaltice cu bitum-sulf.

În ceea ce privește modulul de elasticitate, determinat pe epruvete cilindrice supuse la întindere directă, s-a observat efectul de rigidizare al sulfului. Astfel mixturile asfaltice realizate cu bitum-sulf (30% sulf, 70% bitum 80/100) au atestat caracteristici asemănătoare unor mixturi asfaltice realizate cu

bitum 40/50 sau chier cu bitum 20/30, pentru timpi de solicitare mai mari și temperaturi ridicate (fig. 3.5).

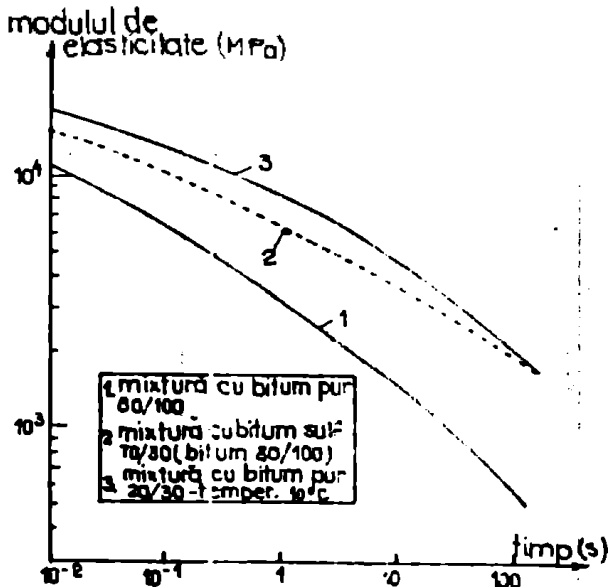


Fig. 3.5. Efectul de rigidizare al sulfului asupra mixturii asfaltice.

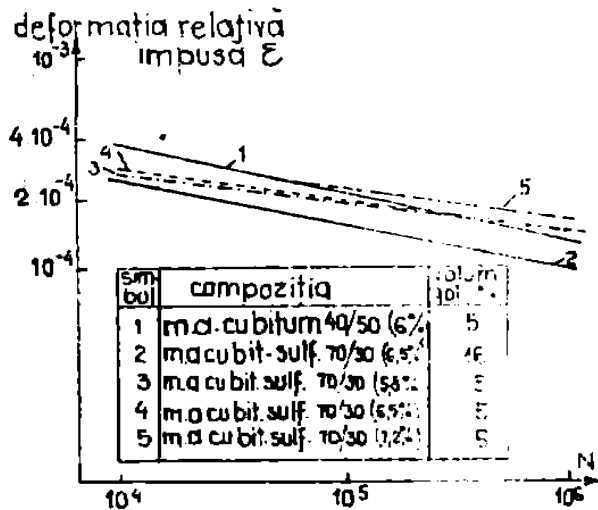


Fig. 3.6. Rezistența la oboseală a mixturii asfaltice cu bitum-sulf.

Avînd în vedere faptul că, de regulă, o creștere a rigidității mixturilor asfaltice determină o reducere a rezistenței la oboseală, au fost supuse încercării la oboseală o serie de epruvete realizate din mixturi asfaltice cu bitum-sulf cu diverse dozaje. Rezultatele obținute au atestat o comportare la oboseală relativ similară cu cea a mixturilor asfaltice preparate cu bitum pur, ceea ce este avantajos din punct de vedere tehnic, al comportării acestora

sub acțiunea repetată a traficului greu.

Deosebit de interesantă și de favorabilă este influența sulfurii asupra comportării amixturilor asfaltice la formarea deformațiilor plastice (făgașe). Dacă pentru amixturi asfaltice cu agregate concasate diferențele de comportare sînt relativ mici, aceste diferențe devin foarte importante în cazul utilizării la prepararea amixturilor asfaltice a agregatelor de balastieră (fig. 3.7). Aceasta prezintă o deosebită importanță practică, avînd în vedere creșterea riscului de formare a deformațiilor plastice în etapa actuală datorită traficului greu.

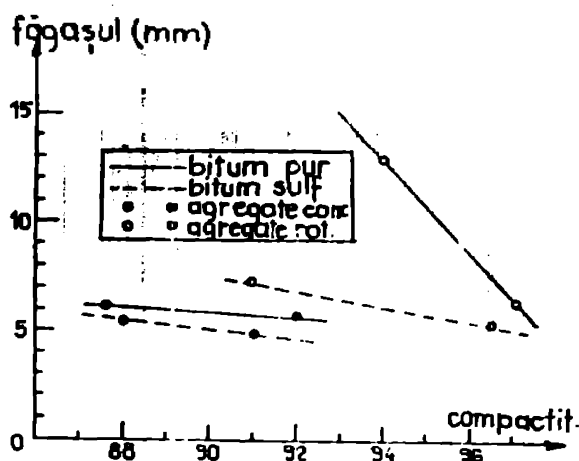


Fig. 3.7. Comportarea amixturilor asfaltice cu bitum-sulf la formarea făgașelor.

Liantul bitum-sulf a fost de asemenea experimentat la prepararea asfaltului turnat, prin înlocuirea unei părți a fillerului cu un volum egal de sulf. Compoziția optimă a rezultat pentru: 50% criblură 3-10; 28% nisip natural, 16% filer, 5,7% sulf și 7,3% bitum [56].

Rezultatele obținute în realizarea amixturilor asfaltice cu bitum-sulf atestă o serie de avantaje pe care le prezintă această tehnologie, dintre care se menționează:

- realizarea unor importante economii de bitum;
- îmbunătățirea comportării mecanice a amixturilor asfaltice;
- reducerea temperaturii de lucru la prepararea amixturilor asfaltice sub 150 °C, ceea ce determină economii de combustibil;
- lucrabilitate superioară a amixturilor asfaltice, realizîndu-se astfel o comportare mai bună în condițiile aceluiași lucru mecanic de compactare.

În procesul tehnologic de preparare a amixturilor asfaltice cu bitum-sulf trebuie urmărit să nu se depășească temperatura de 150 °C, pentru a evita degajarea unor gaze toxice (hidrogen sulfurat și bioxid de carbon).

În ceea ce privește eficiența economică a amixturilor asfaltice cu bitum-sulf, aceasta este direct legată de prețul sulfurii care diferă de la țară la țară. Cricum, în contextul actuali crize de bitum, tehnologia prezintă interes prin crearea posibilității

producerii unor cantități suplimentare de mixturi asfaltice necesare pentru întreținerea rețelei rutiere existente și construcția unor drumuri noi, inclusiv modernizarea celor existente.

3.2. Mixturi asfaltice cu bitum-polimeri

În ultimii ani, în scopul îmbunătățirii caracteristicilor mixturilor asfaltice, în special în ceea ce privește comportarea la formarea deformațiilor plastice și la oboseală, s-au experimentat soluții care utilizează pentru adrobarea agregatelor naturale, lianți hidrocarbonați cu adaosuri de polimeri de diverse tipuri [9], [12], [86], [12].

Dintre soluțiile experimentate pe plan mondial și care au dat rezultate bune se menționează mixturile asfaltice tip "Routoflex" [6], tip "Gripflex" [86] și cele de tip "Accorex" [12].

Mixturile asfaltice tip "Routoflex" se realizează pe baza unui liant bituminos compus din:

- bitum D 40/50 sau D 60/70 (în mod excepțional D 80/100);
- un elastomer cu greutate moleculară mică;
- un copolimer de natură elastotermoplastică.

Elastomerul conferă bitumului suplețe, plasticitate și flexibilitate, efectul acestuia resimțindu-se mai ales la temperaturi scăzute (sub - 5 °C).

Copolimerul îmbunătățește proprietățile bitumului din punct de vedere al consistenței, coeziunii și adhezivității.

În tabelul 3.2 se prezintă caracteristicile liantului "Routoflex", comparativ cu ale bitumului de penetrație 40/50 [9], [6].

Tabelul 3.2.

Caracteristici	Bitum 40/50	Liant "Routoflex"
Penetrația la 25 °C. [1/10 mm]	46	58
Susceptibilitatea termică $A = \frac{\lg P_1 - \lg P_2}{T_1 + T_2}$ <p>P_1 și P_2 sînt penetrațiile măsurate la temperaturile T_1 și T_2.</p>	0,0419	0,0314
Indicele de penetrație $IP = \frac{20 - 500 A}{1 + 50 A}$	-0,30	+1,67

1	2	3
Punctul de rupere în frasa, °C	-14	-27
Intervalul de plasticitate, °C	68,6	86,1
Vîscozitatea dinamică la:, cP		
. 140 °C	600	722
. 160 °C	263	297
. 180 °C	122	142
Incercarea de reținere a filmului de liant (adezivitate), după 16 h de imersare în apă,		
. suprafață dezanrobată la 20 °C	10	0
. suprafață dezanrobată la 60 °C	90	25

Proportia totală de polimeri în bitum este cuprinsă între 10...15%, în greutate, în general adăosurile de polimeri în bitum fiind eficiente pentru procentaje mai mari de 5%. În ceea ce privește amestecul componentilor, acesta se face în instalații speciale, o atenție deosebită trebuind acordată temperaturilor de malaxare. În cazul liantului "Routoflex", la temperaturi sub 170 °C s-a constatat o dispersie neomogenă a polimerilor în masa bitumului, iar începînd de la 180 °C s-a observat o oarecare degradare a polimerilor. Stocarea acestui liant se face în condiții similare cu cele necesare pentru bitumul obișnuit.

Se poate afirma că liantul "Routoflex" prezintă trăsăturile caracteristice, comparativ cu bitumul de penetrație 40/50:

- . interval de plasticitate mai mare;
- . flexibilitate la temperaturi scăzute;
- . susceptibilitate termică foarte redusă;
- . rezistența bună a agregatelor anrobate la acțiunea apei.

Mixturile asfaltice preparate pe baza acestui liant au fost supuse încercărilor de laborator în vederea determinării caracteristicilor mecanice, precum și a comportării acestora la oboseală și la formarea deformațiilor plastice. Încercările pentru determinarea modulului complex au atestat o foarte bună corelare a rezultatelor, ceea ce denotă o comportare elastoplastică reprezentativă a acestor mixturi asfaltice. Modulul de rigiditate are valori superioare față de cel corespunzător mixturilor asfaltice cu bitum 40/50 pentru temperaturi ridicate, respectiv valori inferioare pentru temperaturi scăzute (fig. 3.8), ceea ce reflectă o mai bună comportare la întreaga gamă de temperaturi.

În ceea ce privește rezistența la oboseală, aceasta este de

asemeni superioară (fig. 3.9), rezultatele obținute arătând o

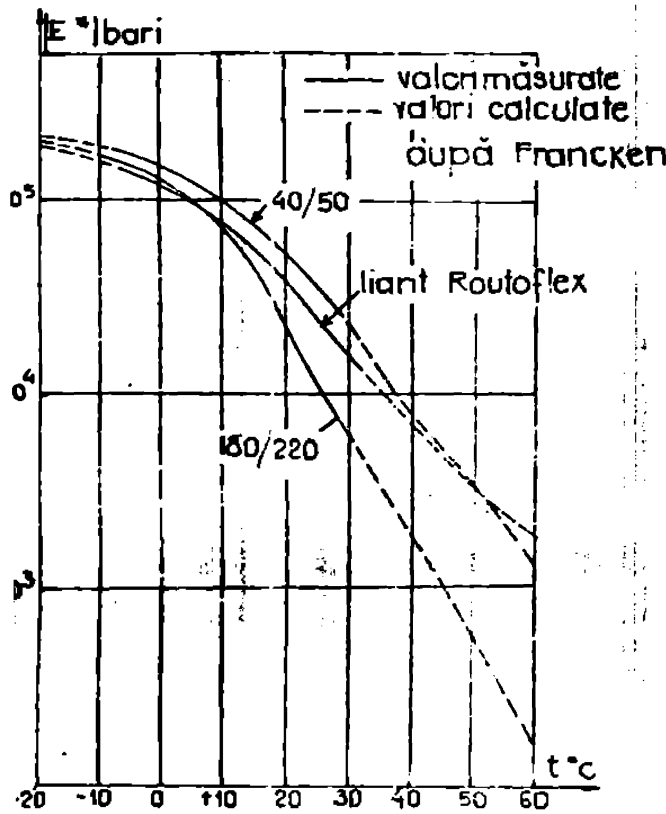


Fig. 3.8. Modulul de rigiditate al mixturilor asfaltice tip "Routoflex".

creștere a duratei de exploatare a îmbrăcăminților executate cu astfel de mixturi asfaltice sau, posibilitatea preluării unor deformații mai mari în condițiile unei aceleiași durate de exploatare.

Incercările efectuate cu simulatorul de fâgășe pentru determinarea comportării la formarea defectiunilor plastice au atestat o comportare net superioară a mixturilor asfaltice tip "Routoflex", concretizată printr-o reducere de cca 40% a adâncimii fâgășului corespunzătoare aceleiași solicitări (fig. 3.10).

Lianții bituminoși tip "Gripflex" s-au obținut din bitum de penetrație 80/100 sau 60/70, cu elastomeri termoplastici și diferiți aditivi [3]. Elastomerii au rolul de a îmbunătăți comportarea bitumului, atât la temperaturi joase, cât și la temperaturi ridicate, iar aditivii asigură dispersia elastomerilor în bitum și stabilitatea amestecului. S-au obținut rezultate bune pentru proporții de elastomeri peste 7%.

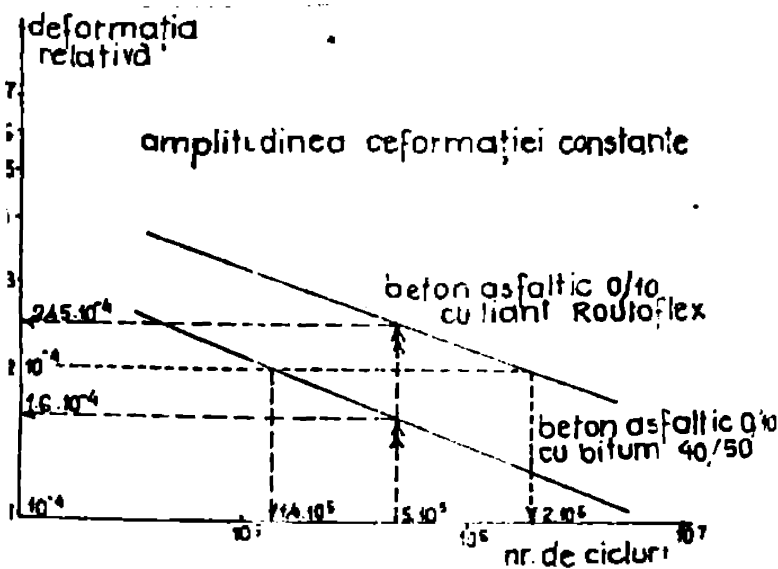


Fig. 3.9. Comportarea la oboseală a mixturilor asfaltice tip "Routoflex".

Incercările efectuate asupra acestui tip de liant și asupra mixturilor asfaltice preparate pe baza acestuia arată prin-

cipal aceleași particularități cu liantul "Routoflex", și anume:

- îmbunătățirea comportării la temperaturi joase, respectiv ridicate;

- rezistența la oboseală foarte bună;

- rezistență superioară la formarea deformațiilor plastice.

• dozaj mixtură

- criblură 8-14 70,0%
- nisip 0-2 26,5%
- filler de calcar 3,5%
- liant/agregat 5,5%

• condiții de încercare

- temperatura 60°C
- încărcare 500 daN
- epruvele 50 x 18 x 5 cm

• rezultate

adâncimea fâgășului [mm]		
nr. de cicluri	bitum 40/50	liant Routoflex pe bază bitum
100	2,60	1,70
1000	3,60	2,50
10000	5,50	3,20
30000	6,20	3,60
100000	6,80	4,00

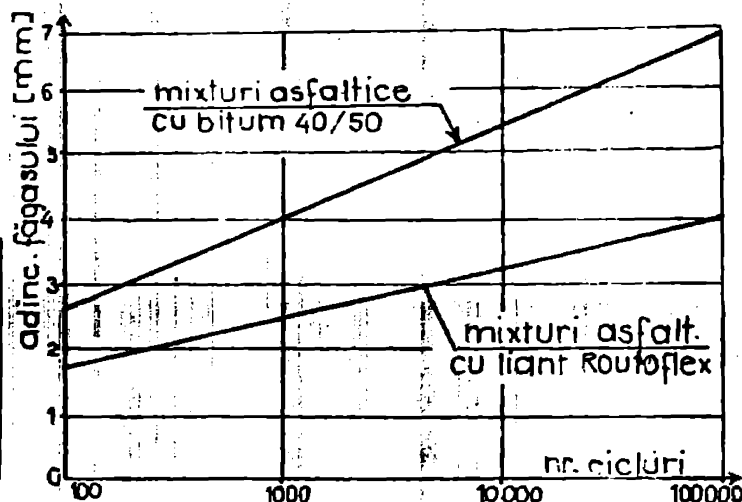


Fig. 3.10. Rezultatele încercării cu simulatorul de răgașe.

O tehnologie aparte, procedeul "Accorex", constă în realizarea de mixturi asfaltice prin dublă malaxare, în prima fază amestecându-se cu agregatele naturale un amestec de substanțe organice sub formă de praf, în faza a doua introducându-se liantul bituminos obișnuit [12]. Mixturile asfaltice obținute prezintă următoarele avantaje:

- lucrabilitate superioară;

- susceptibilitate termică mai redusă, deci o mai bună rezistență la formarea fâgășelor;

- performanțe mecanice superioare pentru temperaturi ridicate și păstrarea acestora la fel cu ale mixturilor asfaltice obișnuite pentru temperaturi scăzute;

- rezistență la oboseală superioară.

În general proporția de bitum este cuprinsă între 6,75... 12%, din greutatea agregatului natural.

Având în vedere caracteristicile pe care le prezintă mixturile asfaltice realizate cu bitum-polimeri, acestea se recomandă pentru executarea unor lucrări în condiții deosebite, ca de exemplu:

- îmbrăcămintă rutiere pe drumuri supuse unor condiții climatice foarte severe (variații de temperatură iarnă-vară foarte mari);

- covoare asfaltice de grosime redusă (3-4 cm) aşternute chiar pe un strat suport deformabil, faianţat sau îmbătrinit;
- straturi de uzură pe străzi, în localităţile urbane, puternic solicitate de traficul greu;
- ranforsarea complexelor rutiere existente;
- îmbrăcăminţi pentru calea pe poduri.

3.3. Mixturi asfaltice colorate

Mixturile asfaltice colorate se produc în scopul realizării unor îmbrăcăminţi bituminosase speciale, pe plan mondial constatându-se două tendinţe în acest domeniu: una de "albire" şi alta de "colorare" a suprafeţei îmbrăcăminţii bituminosase [56].

Obţinerea mixturilor asfaltice de culoare deschisă se realizează pe baza unor dozaje speciale, utilizând agregate naturale de culoare deschisă, agregate sintetice, bitumuri de culoare deschisă sau diverse adaosuri cum ar fi: pulbere sau granule de aluminiu, deşeuri de porţelen, hauxită calcinată etc. Imbrăcăminţile bituminosase de culoare deschisă care se obţin prezintă avantaje din punct de vedere al vizibilităţii, fiind recomandate pe sectoare de drum situate în tuneluri, pasaje subterane sau acolo unde intensitatea traficului pe timp de noapte este mare [91], [56].

În ceea ce priveşte realizarea mixturilor asfaltice de diferite culori se menţionează utilizarea unor pigmenţi alături de agregatele naturale colorate. De asemenea se subliniază faptul că utilizarea răşinilor sintetice permite obţinerea unei largi game cromatice, acestea putând în acelaşi timp să îndeplinească şi rolul de liant. Se menţionează rezultatele obţinute la I.P. Iasi [56] în direcţia realizării mixturilor asfaltice de culoare roşie, care au fost preparate din criblură roşie obţinută dintr-un porfir roşu, nisip natural, filer de calcar, oxid roşu de fier şi bitum D 80/120. S-a preparat un beton asfaltic cu agregat mărunţ bozat în criblură, cu compoziţia scheletului mineral din tabelul 3.3.

Tabelul 3.3.

Material	Procentaj, [%]
criblură 3-8	65
nisip natural 0-7	20
filer de calcar	10
oxid roşu de fier	5

Ca liant s-a folosit bitumul D 80/120 în proporţie de 7,5% din masa mixturii asfaltice. Caracteristicile fizico-mecanice obţinute au fost corespunzătoare, remarcându-se stabilitatea Marshall indicată (1500 daN),

indicele de curgere 4,2 mm și rezistența la compresiune la 22 °C egală cu 50 daN/cm².

Procesul tehnologic aplicat este cel clasic, cu mențiunea că filerul și oxidul roșu de fier se introduc în malaxor. Timpul de malaxare a fost de 1,5...2 min, iar temperatura mixturii asfaltice la ieșirea din malaxor de 165...170 °C. Așternerea și punerea în operă nu creează dificultăți, culoarea suprafeței astfel realizată este uniformă și distinctă față de cea obișnuită [91], [38].

Pentru prepararea unor mixturi asfaltice de alte culcri se pot folosi ca substanță, oxizi metalici care prezintă o stabilitate ridicată la acțiunea luminii și a factorilor atmosferici. Astfel, pentru culoarea galbenă se pot folosi oxizii galbeni de fier și de crom, pentru culoarea verde oxizii verzi de crom, pentru culoarea albă bioxidul de titan. Procentele în care se folosesc acești pigmenți sunt în general cuprinse între 3...8% în funcție de bitumul folosit, culoarea agregatelor naturale și de metoda de preparare utilizată [36].

Îmbăcămintele bituminose din mixturi asfaltice colorate se execută în scopul creării unor avantaje din punct de vedere al vizibilității, pentru executarea unor benzi pe secțiunile de trecere ale intersecțiilor (benzi de viraj), pentru realizarea unor secțiuni unde este necesară atragerea atenției participanților la trafic (pasaje de nivel, intersecții, vîrfuri de rampă etc.).

De regulă costul mixturilor asfaltice colorate este mai mare decât al celor obișnuite (pentru mixtura asfaltică de culoare roșie cu compoziția prezentată mai sus depășirea este de cea 70%), ceea ce nu permite generalizarea folosirii lor la executarea îmbăcămintelor bituminose.

3.4. Mixturi asfaltice cu bitum-cauciuc

Ideea introducerii cauciucului sub formă de pudră în bitum a avut inițial drept scop îmbunătățirea proprietăților liantului. Utilizarea liantului bitum-cauciuc permite obținerea unor mixturi asfaltice cu o elasticitate sporită, deci cu o mare capacitate de deformare și cu rezistența la oboseală îmbunătățită. De menționat că sporirea capacității de deformare nu afectează negativ rezistența la deformații plastice (formarea fâșeșelor) [46].

În contextul actualei crize de bitum, utilizarea pudreței de cauciuc conduce, pe lângă îmbunătățirea performanțelor mixturilor asfaltice și la realizarea unor importante economii de bitum.

Pudreța de cauciuc se obține ca degeu în întreprinderile care realizează diverse produse pe bază de cauciuc, prin măcinarea

cauciucului recuperat din anvelopele uzate sau ca deșeu la prelucrarea anvelopelor uzate în vederea resapării.

În diverse țări au fost experimentate o serie de variante de realizare a liantului bitum-cauciuc, care au pus în evidență factorii care influențează calitatea amestecului, și anume [46]:

- temperatura de amestecare;
- natura pudreței de cauciuc, finețea acesteia și procentajul în masa bitumului;
- adăugarea unui editiv, de regulă un ulei emolient, cu caracter aromatic, care are rolul de a facilita amestecul.

Efectul conjugat al temperaturii de amestec și al celui permițând umflarea particulelor de cauciuc, obținându-se în final un gel bitum-cauciuc. Procesul fizico-chimic schematic este prezentat în fig. 3.11. Rezultate bune au fost obținute în laborator [46]

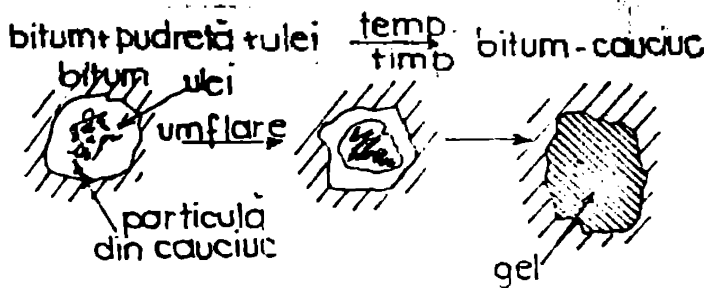


Fig. 3.11. Schema de obținere a liantului bitum-cauciuc.

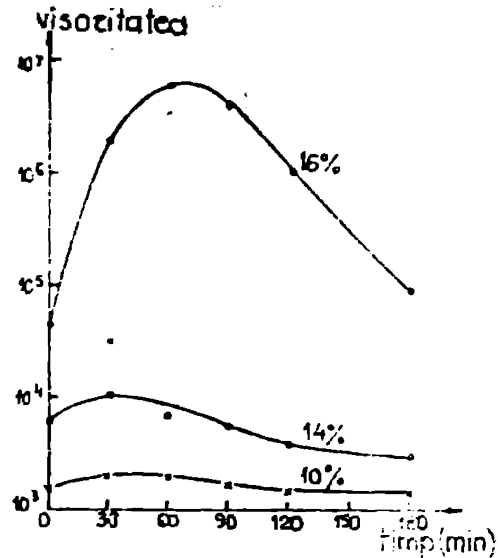


Fig. 3.12. Evoluția viscozității dinamice a bitumului-cauciuc în timpul amestecării.

prin aplicarea următoarei tehnologii:

- amestecarea bitumului cu uleiul la temperatura de 150 °C;
- introducerea progresivă a pudreței de cauciuc, în timp de aproximativ 20 minute, concomitent efectuându-se amestecarea componentelor;
- menținerea temperaturii timp de trei ore, perioadă în care se continuă amestecarea ușoară.

Evoluția viscozității dinamice pe durata amestecării este dată în fig. 3.12, pentru diferite proporții de cauciuc.

Încercările de laborator au scos în evidență avantajele pe care le prezintă liantul bitum-cauciuc, și anume:

. alungire la rupere, determinat prin tracțiune directă net superioară, de regulă peste 300% (fig. 3.13);

. viteza de reducere a efortului unitar indus în epruveta de liant (prin încercare de relaxare), mult mai redusă (fig. 3.14);

. adhezivitate mult superioară a liantului la temperaturi scăzute, determinată prin încercarea cu aparatul Vialit (fig. 3.15).

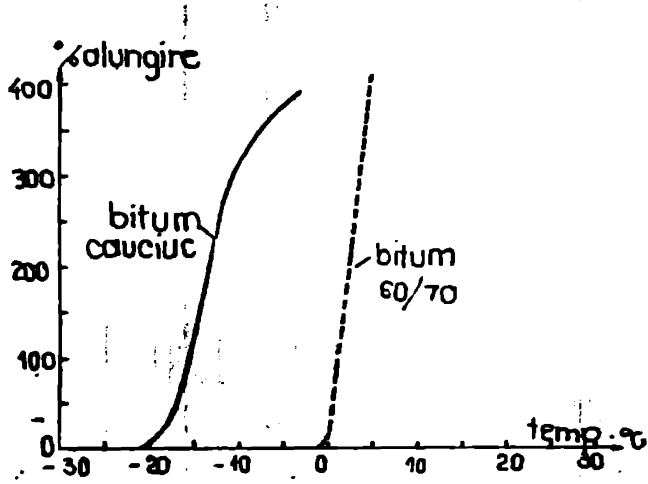


Fig. 3.13. Alungirea la rupere în funcție de temperatură.

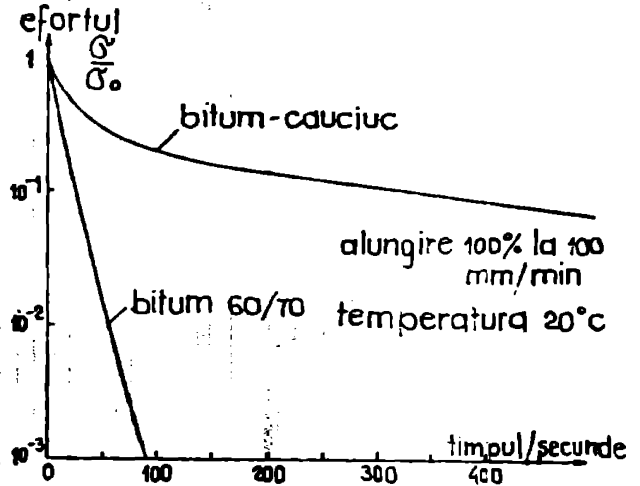


Fig. 3.14. Curbele de relaxare pentru bitum-cauciuc și bitum.

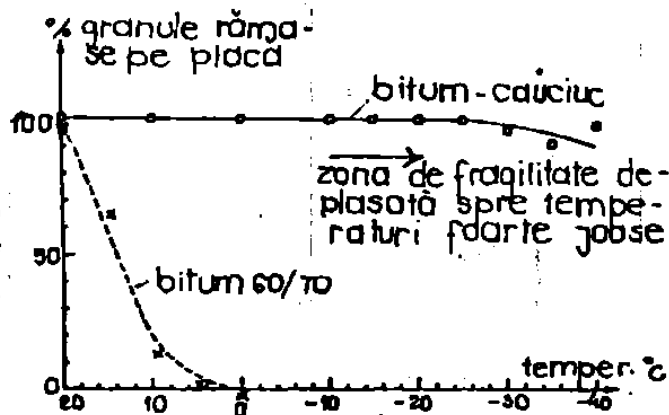


Fig. 3.15. Adezivitatea în funcție de temperatură.

Rezultatele încercărilor de laborator recomandă valoarea de 16% pentru conținutul de pudră de cauciuc în bitum.

Pentru prepararea liantului bitum-cauciuc se poate folosi instalația din fig. 3.16. În amestecul bitum-ulei, încălzit la 180°C se introduce progresiv pudră de cauciuc (de granulozitate 0-1 mm), malaxarea cu ajutorul unui arbore cu palete duble permițând o repartiție omogenă a particulelor de cauciuc. Produsul obținut este încălzit și amestecat în continuare în cuva de preparare [46].

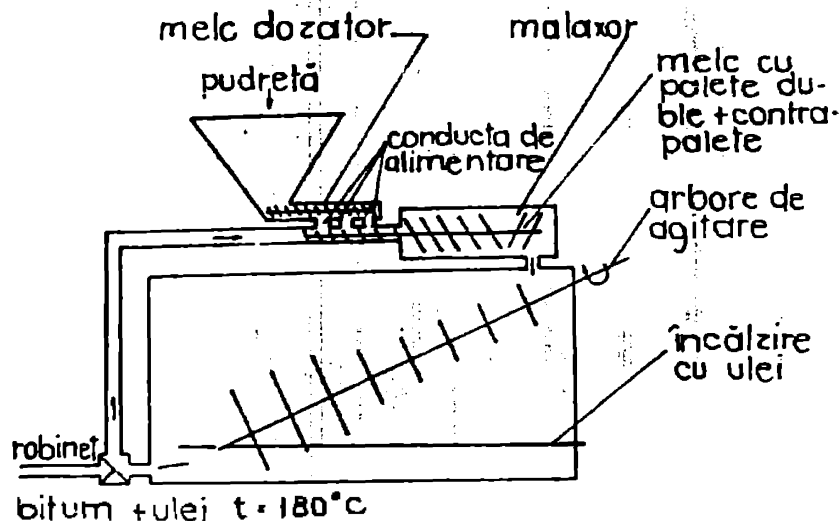


Fig. 3.16. Schema instalației pentru prepararea liantului bitum-calcium.

Liantul bitum-calcium a fost utilizat cu bune rezultate la executarea de tratamente bituminoase și de membrane contra transmiterii igrăziilor din straturile afectate de astfel de defecțiuni.

De asemenea s-a început utilizarea acestuia și la prepararea amestecurilor asfaltice. Studiile au pus în evidență o comportare superioară la oboselă a amestecurilor asfaltice preparate cu bitum-calcium (fig. 3.17), [86], [111].

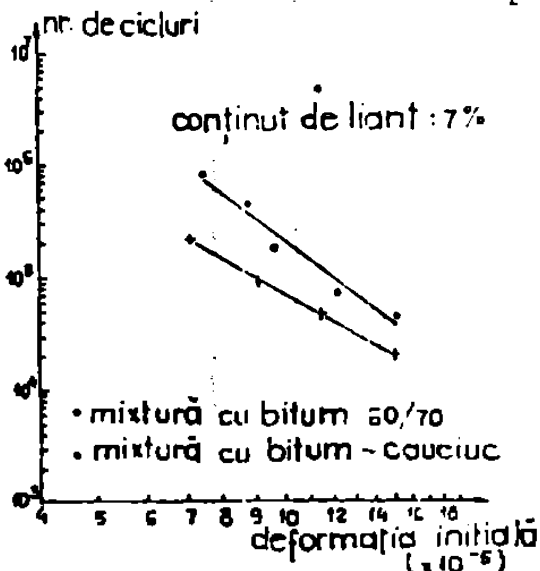


Fig. 3.17. Curbele de oboselă comparative.

Pornind de la rezultatele bune obținute pe plan mondial în utilizarea liantului bitum-calcium în cadrul laboratorului de drumuri al cauciucului s-au studiat diverse variante de utilizare a deșeurilor de cauciuc de la Întreprinderea "Lermatina" Timișoara la prepararea amestecurilor asfaltice [74]. Aceste deșuri de cauciuc provin din procesul de fabricare a mănunchilor și se prezintă sub formă de pudră cu granulozitatea din tabelul 3.6.

În prima etapă s-a urmărit determinarea influenței pe care o are adăosul de pudră de cauciuc, în diferite proporții, asupra caracteristicilor bitumului.

Pentru studiu s-a utilizat un bitum neparafinos pentru drumuri tip D: 60/120 (punct de înmuiere înel și bilă 44 °C, penetrația 84 1/10 mm, ductilitatea peste 100 cm și adhezivitatea 100%). În bitumul încălzit în prealabil în 160 °C s-a adăugat treptat pudră de cauciuc, în diferite proporții, efectuându-se în tot

timpul introducerii acestuia o amestecare continuă. Determinările făcute privind valorile punctului de înmuiere înel și bilă au atestat o creștere sensibilă a consistenței liantului (tabelul 3.5)

Tabelul 3.4.

Diametrul sitei mm	Treceri [%]
3,15	100
0,63	36
0,2	29,6
0,09	5,6

Cu proporții peste 18% pudră de cauciuc în masa bitumului nu au putut fi realizate amestecuri omogene.

În continuare s-a trecut la prepararea epruvetelor de mixtură asfaltică pe baza celor trei variante de liant bitum-cauciuc. S-a calculat doza-
jul pentru o mixtură asfaltică tip

Tabelul 3.5

Dozajul	Proportia de pudră de cauciuc în masa bitumului [%]	Punctul de înmuiere I.B. al liantului bitum-cauciuc [°C]
I	5	46
II	11	48
III	18	55

L.a.16, agregatul natural prezentînd granulozitatea din fig. 3.18.

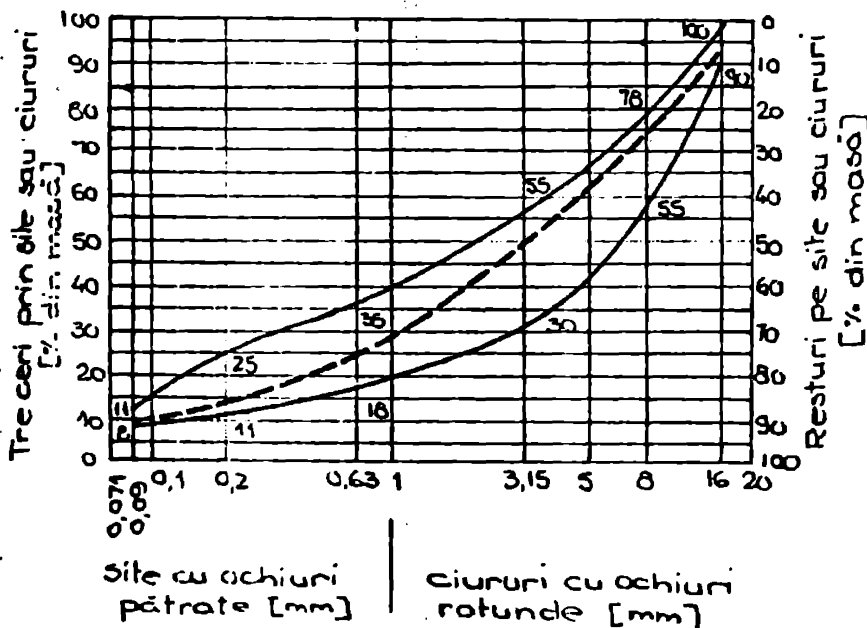


Fig. 3.18. Granulozitatea agregatului natural.

S-au utilizat criburile 3-3 și 3-16, nisip natural 0-2, nisip de concasaj 0-3 și filer de Kurfaltlar.

Dozajul de liant s-a calculat prin metoda suprafeței specifice, rezultînd un necesar de 6,5%, raportat la masa de nisip

asfaltice. Proporțiile de materiale, corespunzătoare celor trei variante de liant bitum-cauciuc sînt prezentate în tabelul 3.6.

Tabelul 3.6

Materiale	Dozaj, [%]		
	I (5% cauciuc)	II (11% cauciuc)	III (18% cauciuc)
criblură 8-16	31	31	31
criblură 3-8	23,2	23,2	23,2
nisip de concasă	15,0	15,0	15,0
nisip natural	15,0	15,0	15,0
filer	9,3	9,3	9,3
bitum.	6,1	5,8	5,33
puștă de cauciuc	0,4	0,7	1,17
Total	100,0	100,0	100,0

Prepararea mixturilor asfaltice în laborator s-a făcut după procedeul clasic, puștă de cauciuc adăugîndu-se în prealabil în bitumul încălzit la 160 °C. S-au preparat epruvete cubice și cilindrice tip Marshall în vederea determinării caracteristicilor fizico-mecanice. Încercările efectuate pe probele de laborator au condus la obținerea caracteristicilor prezentate în tabelul 3.7.

Tabelul 3.7

Caracteristici	U.M.	Dozaj			Valori normate STAS 174-83
		I	II	III	
Rezistența la compresiune	N/mm ²				
- la 22 °C		4,6	4,0	3,9	3,0...5,2
- la 50 °C		1,2	1,8	1,7	0,7...1,6
Densitatea aparentă	g/cm ³	2,2	2,2	2,2	2,25
Absorbția de apă volumică	%	8,0	9,0	12,0	7...6
Stabilitatea Marshall, S	daN	810	945	935	500...1500
Indicele de flux, I	mm	3,10	3,0	2,20	1,5...4,5
Report S/I	daN/mm	261	315	425	100...300
Umflarea volumetrică	%	3,9	4,8	4,0	max 7,0
Reducerea rezistenței la compresiune la 22 °C după 28 zile păstrare în apă	%	65	68	71	max 50

Analiza rezultatelor scoate în evidență faptul că, în general, caracteristicile mecanice corespund prevederilor normativelor. Se remarcă faptul că stabilitatea mixturii asfaltice este superioară celei corespunzătoare mixturilor asfaltice cu bitum, proprietate confirmată și de rezistența la compresiune la 50 °C mare. Aceasta recomandă mixturile asfaltice cu bitum cauciuc la execuția straturilor rutiere în care apar solicitări mari datorită traficului greu. Absorbția de apă prezintă valori peste limitele admise, ceea ce determină și valorile mari ale umflării volumetrice și ale reducerii rezistenței la compresiune la 22 °C după 28 de zile păstrare în apă. Acest lucru rezultă și din literatură de specialitate [46],[111] care recomandă bitumul-cauciuc pentru proiectarea straturilor asfaltice drenante, cu volume de goluri ridicate și mare capacitate de absorbție și drenare a apei.

Pe baza dozașilor elaborate în laborator s-a trecut la realizarea unor probe experimentale, în colaborare cu I.J.I.P. Timișoara, pe EC 147 Recaș - Chevereșu Mare, în vara anului 1984. Au fost executate trei sectoare, corespunzătoare celor trei dozașe experimentate în condiții de laborator. La prepararea mixturilor asfaltice s-a aplicat procesul tehnologic clasic, utilizând o instalație tip ANG. Cauciucul a fost dozat corespunzător și introdus în malaxor împreună cu filerul cu care a fost amestecat în prealabil. S-a aplicat acest procedeu pentru că nu există deocamdată instalația (vezi fig. 3.16) pentru realizarea amestecului bitum cauciuc. Carotele prelevate de pe sectoarele experimentale au fost supuse studiului de laborator, obținându-se valori ale caracteristicilor fizico-mecanice conform tabelului 3.8.

Tabelul 3.8

Caracteristici	U.M.	Carota dozaș I	Carota dozaș II	Carota dozaș III
1	2	3	4	5
Rezistența la compresiune	N/mm ²			
- la 22 °C		3,4	3,2	3,0
- la 50 °C		1,6	1,2	0,7
Densitatea aparentă	g/cm ³	2,22	2,07	2,11
Absorbția de apă volumică		6	15	1

1	2	3	4	5
Coefficientul de termostabilitate	-	2,1	2,5	5,0
Stabilitatea Marshall	daN	582	595	300
Indicele de fluxaj	mm	3,9	5,4	3,7
Raport S/I	daN/mm	149	110	81

Se remarcă faptul că valorile caracteristicilor fizico-mecanice determinate pe carote prelevate de pe sectorul executat cu mixtură asfaltică preparată pe baza dozajului I (5% cauciuc în bitum) corespund prevederilor normativelor. Acest fapt este atestat și de buna comportare în exploatare a acestui sector (fig. 3.19).

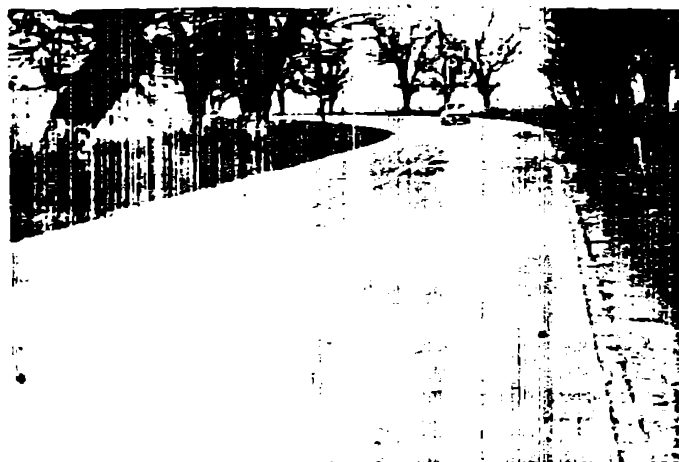


Fig. 3.19. Sector experimental executat cu mixtură asfaltică realizată cu bitum-cauciuc.

Având în vedere constatările făcute cu ocazia experimentărilor de laborator și teren rezultă că se pot executa îmbrăcăminti bituminoase din mixturi asfaltice cu bitum-cauciuc, pe drumuri cu trafic redus. În cazul în care se utilizează un procentaj de cauciuc mai ridicat (peste 10% din bitum) este necesară etanșarea îmbrăcămintei prin tratamente bituminoase sau badjonari.

Utilizarea puartei de cauciuc ca adaos în bitum conduce la realizarea unor economii de bitum la realizarea mixturilor asfaltice (cca 1 t bitum la 100 t mixtură asfaltică), concomitent cu valorificarea deșeurilor de cauciuc, în condițiile realizării unor parametri calitativi comparabili cu ai mixturilor asfaltice clasice sau chiar superiori din unele puncte de vedere.

3.5. Mixturi asfaltice cu granulozitate discontinuă

Realizarea mixturilor asfaltice cu granulozitate discontinuă are drept scop, pe lângă diversificarea acestora și obținerea unor mixturi asfaltice din compoziția cărora să lipsească anumite sorturi de materiale, care sînt deficitare la un moment dat pe diferite șantiere [18], [107]. În acest sens s-au efectuat studii de laborator care au vizat obținerea unor mixturi asfaltice de tipul B.a.16 fără criblură 3-8, care în etapa actuală se procură relativ greu, fiind un material deficitar. Dozajele pentru mixtura asfaltică cu granulozitate discontinuă și pentru cea etalon sînt date în tabelul 3.9.

Tabelul 3,9

Materiale	Dozaj, în %	
	fără criblură 3-8	cu criblură 3-8
criblură 8-16	38,0	14,0
criblură 3-8	-	33,0
nisip de concasaj	24,0	16,0
nisip natural	22,0	17,7
filer de calcar	9,0	12,0
bitum D 80/100	7,0	7,3

Pe baza dozajelor prezentate în tabelul 3,9 s-au preparat în laborator epruvete din mixtură asfaltică în vederea determinării caracteristicilor fizico-mecanice ale acestora. Rezultatele obținute sînt prezentate în tabelul 3.10.

Tabelul 3.10

Caracteristici	Um	Mixtură asfaltică B.a.16	
		fără criblură 3-8	cu criblură 3-8
Conținut de bitum	%	7,0	7,3
Densitate aparentă	g/cm ³	2,32	2,30
Absorbția de apă volumică	%	4,2	5,0
Rezistența la compresiune:	N/mm ²		
. la 22°C		3,5	3,2
. la 50°C		1,5	1,0
Coefficientul de termostabilitate	-	2,33	3,20

Valorile caracteristicilor fizico-mecanice sînt corespunzătoare, ceea ce demonstrează faptul că se poate realiza betonul asfaltic cu granulozitate discontinuă prin eliminarea sortului de criblură 3-8. În consecință s-a trecut la executarea unui sector experimental și apoi la realizarea îmbrăcămintei bituminoase pe o lungime de 10 km pe DN 6 Caransebeș-Lugoj-Timișoara pe tronsoanele km 480-486, 504-506, 525-527. Încercările efectuate pe carotele prelevate de pe sectoarele executate au atestat caracteristici fizico-mecanice corespunzătoare demonstrînd că se pot executa îmbrăcăminți bituminoase, folosind în stratul de uzură mixturi asfaltice fără criblură 3-8. Valorile obținute sînt prezentate în tabelul 3.11 [18]

Tabelul 3.11

Poziția km DN 6	Conținut de bitum [%]	Densitate aparentă [g/cm ³]	Absorbția de apă vol. [%]	Stabilitate Marshall [daN]	Indice de fluaș [mm]	Rezistența la compres.	
						22°C [N/mm ²]	50°C [N/mm ²]
480+479stg.	7,0	2,35	3,4	1200	4,0	40,0	20,0
482+987stg	6,9	2,34	3,2	1000	3,5	33,0	13,2
483+430stg.	7,1	2,37	3,0	1200	3,0	36,0	14,0
484+360stg.	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+485 dr.	7,0	2,35	3,8	1250	3,8	40,0	17,0
505+118stg.	6,9	2,34	4,6	1200	4,0	38,0	14,0
506+735stg.	6,9	2,35	3,6	1250	3,5	36,0	13,0
525+665stg	7,0	2,33	4,0	1100	4,0	42,0	13,0
526+505stg.	7,2	2,36	3,6	1270	3,0	40,0	17,0

S-a constatat o foarte bună comportare în exploatare a stratului de uzură astfel realizat, pe sectoarele respective neapărînd degradări, ceea ce arată că soluția aplicată, eficientă din punct de vedere practic, este corespunzătoare din punct de vedere tehnic.

Concomitent cu eliminarea sortului de criblură 3-8 se realizează și o reducere a conținutului de bitum de cca 4 %, determinată de reducerea suprafeței specifice a agregatului natural, care în cazul mixturilor asfaltice cu granulozitate discontinuă este mai grosier (vezi tabelul 3.9).

3.6. Mixturi asfaltice preparate la rece cu emulsie bituminoasă cationică cu rupere lentă

În procesul tehnologic de preparare a mixturilor asfaltice

prin procedeul clasic, la cald se consumă o mare cantitate de combustibil și energie pentru uscarea și încălzirea agregatelor naturale și a bitumului folosit ca liant în scopul asigurării condițiilor de anrobare. Folosirea emulsiilor bituminoase în tehnica rutieră, din ce în ce mai frecventă în etapa actuală, permite executarea lucrărilor la rece, fără a mai fi necesară încălzirea liantului și a agregatelor naturale. Prepararea mixturilor asfaltice utilizând ca liant emulsia bituminoasă se aplică în prezent pe plan mondial folosind diverse instalații speciale, fixe sau mobile [67], [54], [89]

Pornind de la aceste premize în cadrul laboratorului de drumuri al catedrei, în colaborare cu DDP Timișoara, a fost abordată problema proiectării unor mixturi asfaltice la rece, cu emulsie bituminoasă. Studiile de laborator au vizat determinarea caracteristicilor agregatelor naturale, ale emulsiei bituminoase și ale mixturilor asfaltice realizate [101].

Ca și agregate naturale au fost utilizate cribluri sort 16-25, 8-16, 3-8, pietriș 7-15 și nisip natural, urmărindu-se realizarea mai multor tipuri de mixturi asfaltice, cu diferite compoziții granulometrice astfel încât să se obțină un schelet mineral alcătuit din 50-70% granule peste 3 mm. Granulozitățile agregatelor studiate în laborator și folosite la experimentare sînt prezentate în tabelul 3.12.

Tabelul 3.12.

Materialul	Treceri prin ciurul sau sita de ... mm, [%]								
	25	16	8	3	1	0,6	0,2	0,09	0,08
Criblură 16-25	100,0	92,5	16,2	0,6	-	-	-	-	-
Criblură 8-16	100,0	86,8	21,1	5,9	3,4	2,7	-	-	-
Criblură 3-8	100,0	99,4	93,7	41,3	11,1	6,5	3,4	1,0	0,8
Pietriș 7-15	100,0	65,9	16,7	2,4	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Nisip	100,0	100	98,0	92,2	52,2	31,8	33,0	2,1	0,2

Nisipul natural este curat, lipsit de argilă, prezentînd un echivalent de nisip de 91%.

Pentru prepararea mixturilor asfaltice la rece s-a folosit emulsie bituminoasă cationică cu rupere lentă, preparată în mod special în instalația de emulsie de la Săcălaz. Timpul de rupere al emulsiei bituminoase s-a apreciat cu ajutorul indicelui de rupere, urmărindu-se obținerea unor valori ale acestuia de peste 130, caracteristică emulsiilor bituminoase cu rupere lentă. Aceste tipuri de emulsii bituminoase asigură o bună anrobare a granulelor

agregatelor naturale și în același timp se rup după o perioadă de timp mai mare care permite punerea în operă a amestecurilor asfaltice.

Aprecierea timpului de rupere al emulsiei bituminoase s-a făcut prin metoda cu filer silicios. Principiul metodei constă în adăugarea filerului într-o cantitate cunoscută de emulsie, în mod treptat amestecându-se continuu, pînă la ruperea completă a emulsiei, respectiv pînă în momentul în care amestecul se desprinde complet de recipient. Practic, s-a utilizat un filer silicios cu dimensiunea granulelor între 0,08-0,16 mm care s-a introdus în 100 g emulsie bituminoasă. Cântărind cantitatea de filer necesară pentru realizarea ruperii emulsiei bituminoase și raportînd-o la masa emulsiei se obține indicele de rupere (3.1).

$$I = \frac{F}{E} 100, \quad [\%] \quad (3.1)$$

în care:

- I este indicele de rupere, în %;
- F - cantitatea de filer silicios, în g;
- E - cantitatea de emulsie bituminoasă, în g.

Pe baza valorilor indicelui de rupere, emulsiile bituminoase se clasifică în trei tipuri, conform tabelului 3.13.

Pentru emulsia preparată în instalația de la Săcălaz s-au obținut următoarele caracteristici:

- . indicele de rupere: 160%;
- . conținutul de bitum: 55-58%;
- . pH: 2,5.

Pentru prepararea emulsiei bituminoase s-a utilizat bitum D 80/100. În ceea ce privește adezivitatea emulsiei bituminoase, aceasta s-a determinat prin metoda statică la rece utilizînd agregatele naturale existente pe șantier. Rezultatele obținute sînt prezentate în tabelul 3.14.

Tabelul 3.13.

Indicele de rupere	Emulsia cu rupere
$I \leq 80$	rapidă
$80 < I < 120$	semirapidă
$I > 120$	

Tabelul 3.14.

Materiale	Grad de aderență
Criblură 8-16	80...85
Pietriș 7-15	60...70

În continuare s-a trecut la prepararea mai multor tipuri de amestecuri asfaltice la rece în laborator. Dozajele aplicate sînt date în tabelul 3.15 și 3.16 pentru amestecurile asfaltice deschise și în tabelul

3.17 pentru mixturile asfaltice închise. Compozițiile din tabelul 3.16 au fost elaborate fără criblură 3-8, avînd în vedere că aceasta este deficitară.

Tabelul 3.15

Materiale	Dozaj, [%]				
	1	2	3	4	5
Criblură 16-25	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Criblură 8-16	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
Criblură 3- 8	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
Nisip natural 0-7	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0
Apă de umectare	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Emulsie	5,5	6,4	7,3	8,2	9,1
Bitum total	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0

Tabelul 3.16

Materiale	Dozaj, [%]				
	6	7	8	9	10
Criblură 16-25	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Criblură 8-16 sau pietriș 7-15	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Nisip natural 0-7	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Apă de umectare	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Emulsie	5,5	6,4	7,3	8,2	9,1
Bitum total	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0

Tabelul 3.17

Materiale	Dozaj, [%]			
	11	12	13	14
Criblură 8-16	25,0	25,0	25,0	25,0
Criblură 3- 8	25,0	25,0	25,0	25,0
Nisip natural 0-7	50,0	50,0	50,0	50,0
Apă de umectare	5,5	5,5	5,5	5,5
Emulsie	8,2	9,1	10,0	11,0
Bitum total	4,5	5,0	5,5	6,0

Pentru prepararea mixturii asfaltice, în agregatele cîntărite conform dozajelor adoptate s-a adăugat apa de umectare și apoi emulsia bituminoasă, în continuare efectuîndu-se amestecarea componentilor pînă la omogenizare. S-au preparat epruvete cubice și cilindrice tip Marshall după metodologia prevăzută pentru mixturi asfaltice la

la cald [133] pînă în prezent nefiind elaborate normative privind încercarea mixturilor asfaltice preparate la rece.

Rezultatele bune obținute în urma încercărilor de laborator au determinat continuarea cercetărilor prin experimentarea pe teren, în condiții reale de exploatare a acestor tipuri de mixturi asfaltice la executarea îmbrăcăminților bituminoase. Avînd în vedere caracteristicile mixturilor asfaltice experimentate în laborator, s-au aplicat dozele din tabelul 3.17 (mixturi asfaltice închise) la realizarea îmbrăcămintei bituminoase pe DN 59 Timișoara-Moravița km 42+290 - 42+410.

Pentru prepararea pe șantier a mixturilor asfaltice la rece s-a folosit instalația LPX modificată, existentă la F.M.B.Volteș. Schema generală a instalației modificate este prezentată în fig.3.20.

În esență a fost necesară realizarea unei instalații de alimentare a malaxorului cu apă și a unei instalații de alimentare cu emulsie bituminoasă. De asemenea, pentru a evita trecerea agregatelor naturale prin uscătorul instalației s-a montat o bandă transportoare sub uscător care transportă materialul direct la elevatorul cu cupe. De menționat că modificările au fost făcute în așa fel încît instalația să poată fi utilizată, după caz, atît pentru prepararea mixturilor asfaltice la rece, cît și prin procedeul la cald. Acest lucru evită realizarea unor instalații speciale pentru mixturile asfaltice la rece, conducînd la obținerea unor importante economii.

Instalația LPX modificată pentru producerea mixturii asfaltice la rece este compusă din:

- . predozatoare, care asigură dozarea sorturilor de agregate naturale;
- . bandă transportoare, montată sub uscător, care conduce agregatele naturale la elevatorul cu cupe (fig.3.22);
- . silosul și cîntarul pentru agregate;
- . instalațiile de alimentare cu emulsie bituminoasă și cu apă (fig.3.21);
- . malaxor;
- . buncăr pentru depozitarea mixturilor asfaltice preparate, în vederea transportării acestora pe șantier.

Procesul tehnologic de preparare a mixturilor asfaltice la rece cu ajutorul instalației LPX modificată este foarte simplu și este în întregime automatizat. Agregatele naturale predozate sînt preluate de banda transportoare amplasată sub uscător și duse la elevatorul cu cupe. Dirijarea agregatelor prin uscător (în cazul preparării mixturilor asfaltice la cald) sau spre banda transportoare de sub uscător

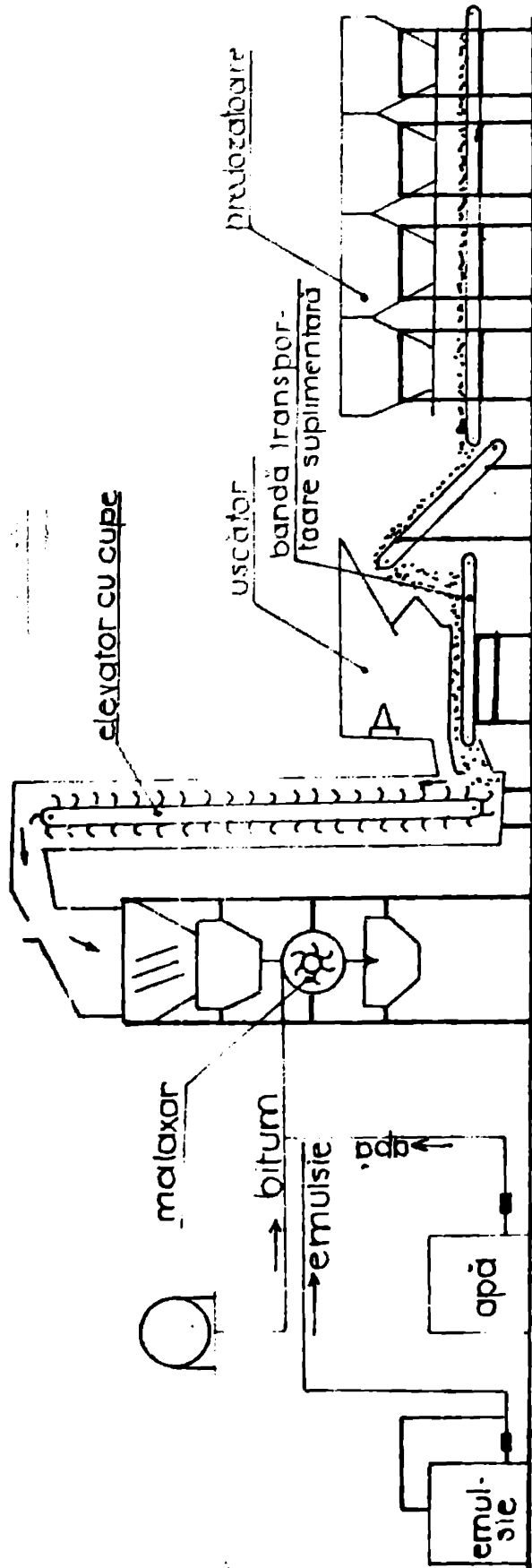


Fig. 3.20. Schema instalației LPX modificată.

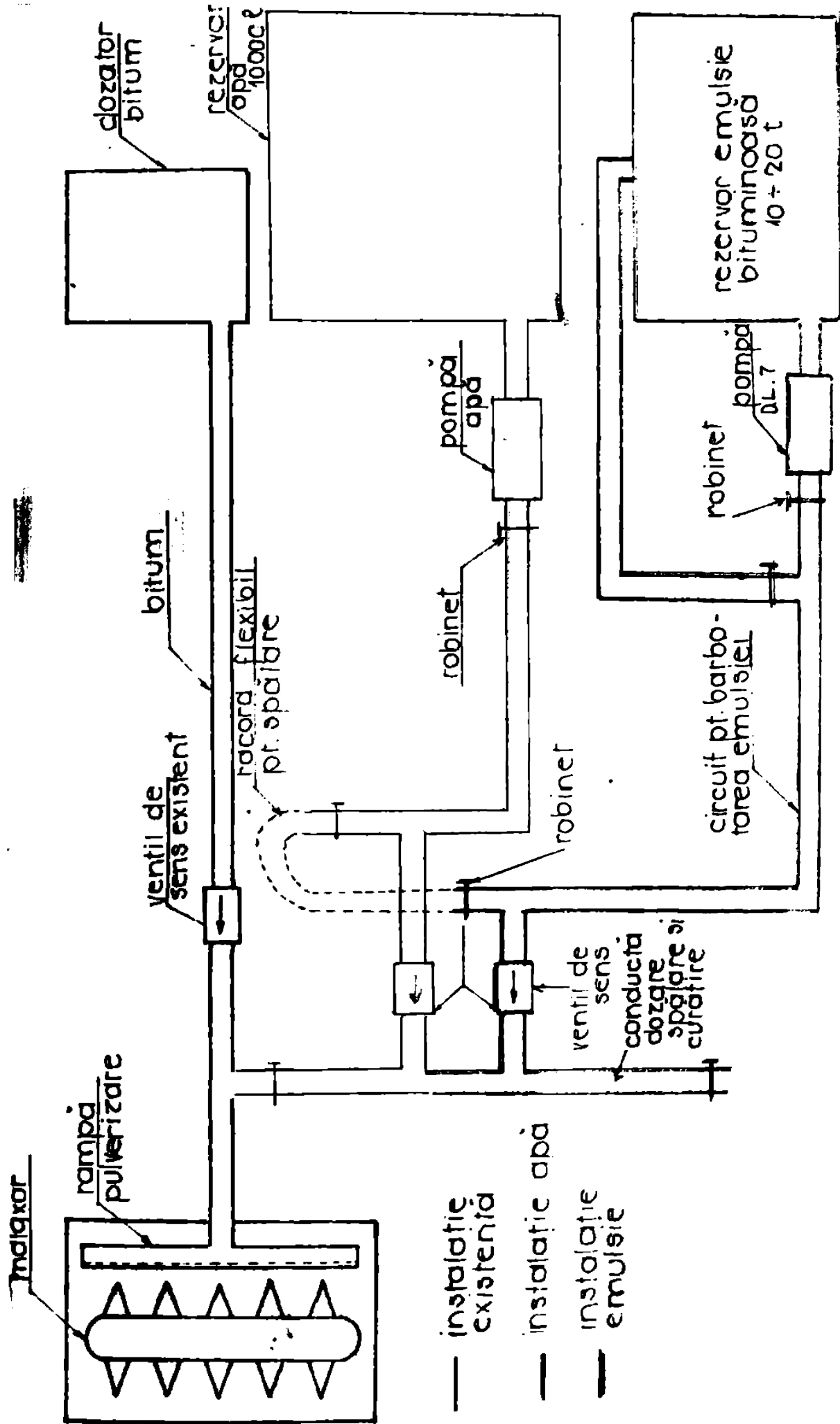
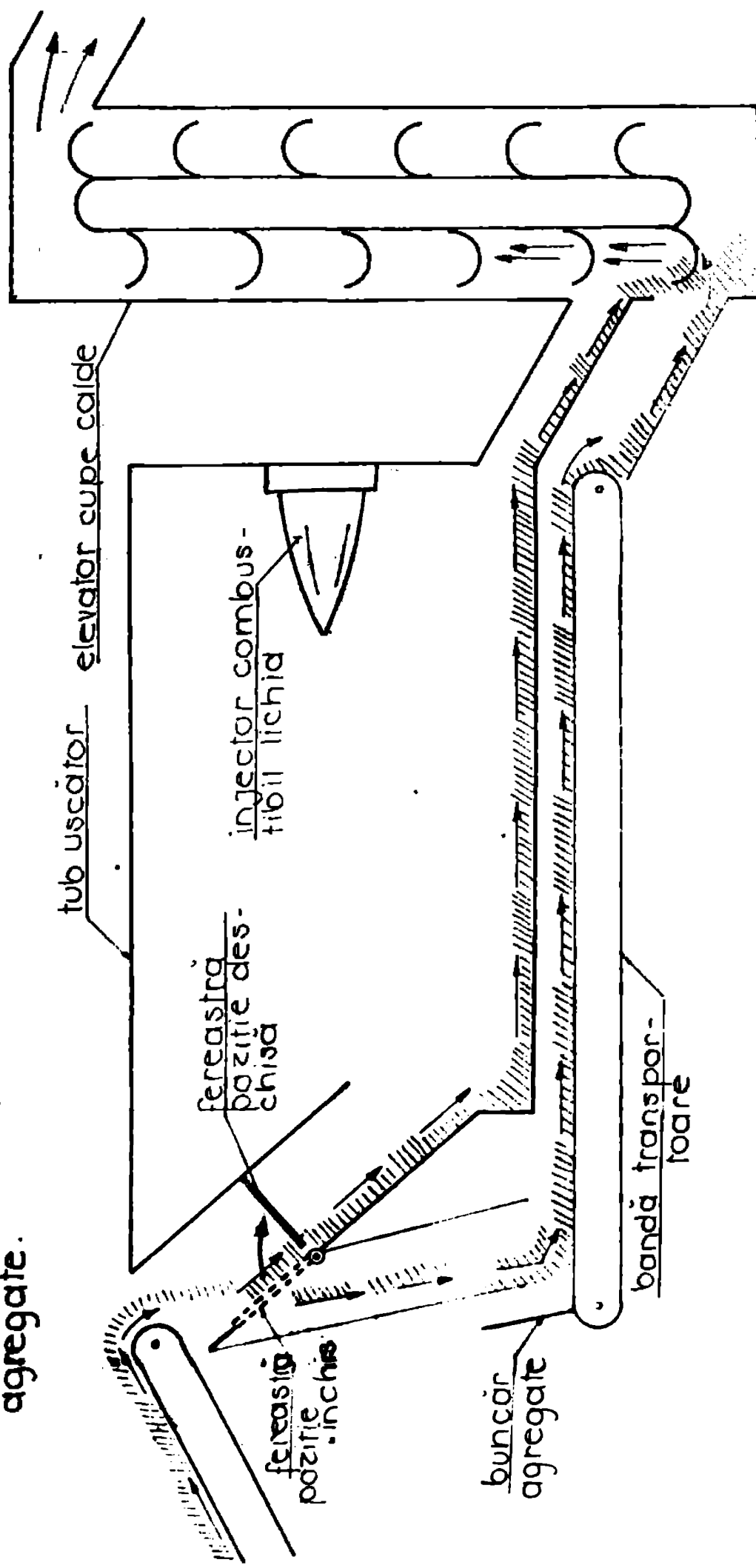


Fig. 3.21. Schema instalației de alimentare cu apă și emulsie.

Fig. 3.21 Schema instalației de alimentare a malaxorului cu agregate.



(în cazul preparării mixturilor asfaltice la cald) se face cu ajutorul unei clapete (fig.3.22), care prin poziționarea sa corespunzătoare permite adoptarea variantei dorite de preparare a mixturii asfaltice. În continuare agregatele naturale, dozate corespunzător prin cântărire sînt introduse în malaxor, unde sînt premezite prin adăugarea unei anumite cantități de apă de umectare și malaxare, timp de cca 30 secunde. Apoi se pulverizează emulsie bituminoasă și se continuă malaxarea încă 60 secunde, pînă la obținerea unui material omogen. Mixtura asfaltică obținută într-o șarjă este depozitată în buncărul de stocare al instalației.

Introducerea apei de umectare și a emulsiei bituminoase este reglată riguros prin intermediul unui sistem de dozare automat, dotat cu un releu de timp, întregul proces tehnologic putînd fi controlat din interiorul unei cabine de comandă (fig.3.14).

Pentru a stăpîni corect producerea mixturilor asfaltice la rece este important să se asigure apa pentru umectare. În general, cu cît cantitatea de apă este mai mare, cu atît ruperea emulsiei se produce mai lent. În cadrul experimentării s-a lucrat cu 8...10 % apă totală (apă de umectare + apă din emulsie), în general apa de umectare fiind în proporție de 4,0...5,5 %. Apa totală nu trebuie să depășească 10 %. Pentru determinarea necesarului de apă se recomandă efectuarea încercării Proctor pe amestecul de agregate naturale care intră în compoziția mixturii asfaltice.

Înainte de așternerea mixturii asfaltice la rece, suprafața stratului suport se curăță foarte bine și se amorsează cu emulsie bituminoasă cationică cu rupere rapidă în cantitate de 0,5...1,2kg/m². Așternerea se face cu repartizatorul finisor S 400 sau NPK, în mod obișnuit.

Compactarea trebuie efectuată energic, primele treceri efectuîndu-se în momentul superii emulsiei. Prin compactare se elimină o parte din apa conținută de mixtura asfaltică, realizîndu-se o coeziune corespunzătoare a materialului care conferă stratului executat stabilitate. Pentru efectuarea compactării se recomandă compactoare pe pneuri sau vibratoare, iar pentru finisarea suprafeței compactoare cu fulori netede.

Imediat după compactare sectorul experimental a fost dat în circulație. Se recomandă ca stratul executat din mixtură asfaltică să fie închis printr-un tratament bituminos sau badijonare.

În fig. 3.23 - 3.27 se prezintă instalația LPX modificată utilizată la prepararea mixturilor asfaltice la rece.

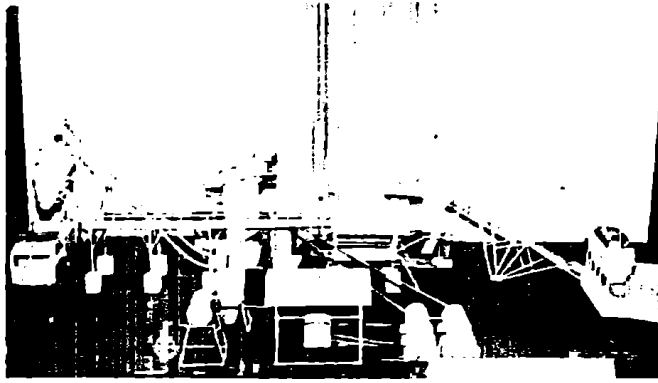


Fig. 3.23. Machete instalației LPX modificată.

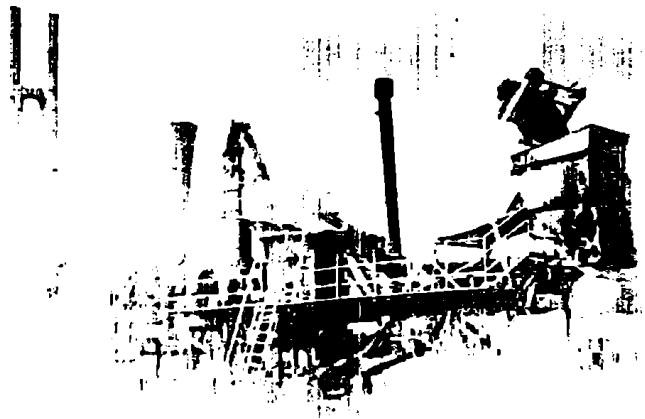


Fig. 3.24. Instalația LPX modificată.

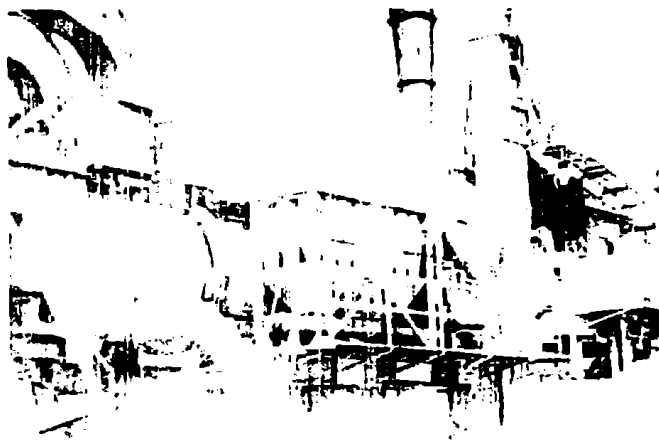


Fig. 3.25. Instalația de alimentare cu agregate naturale.

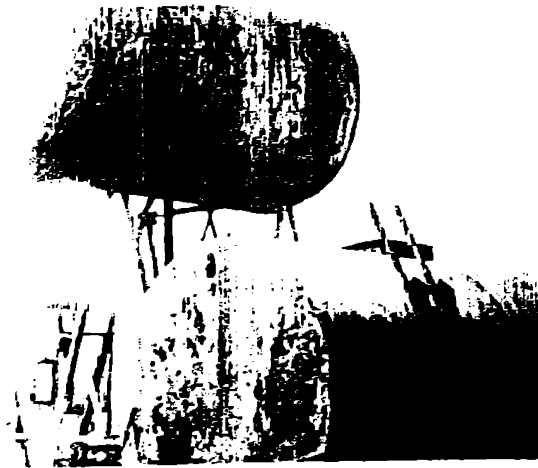


Fig. 3.26. Instalațiile de alimentare cu emulsie bituminoasă și apă.

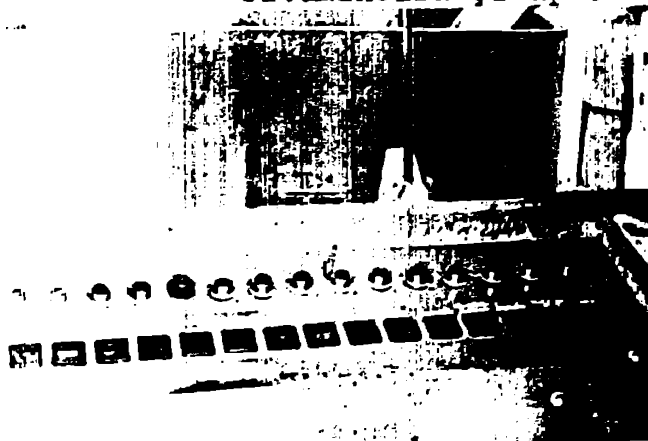


Fig. 3.27. Tabloul de comandă al instalației LPX modificată.



Fig. 3.28. Sector experimental executat cu îmbrăcăminte bituminoasă din mixtură asfaltică preparată la rece cu emulsie bituminoasă.

Imbrăcămintea bituminoasă executată din mixtură asfaltică preparată cu emulsie bituminoasă se prezintă bine după aproape un an la execuție. Carotele prelevate de pe sectorul experimental au

foșt încercate în laborator, rezultatele obținute fiind prezenta-
te în tabelul 3.18.

Tabelul 3.18

Caracteristici	Mixturi asfaltice deschise		Mixturi asfaltice închise	
	1	2	1	2
Conținut de bitum	3,0	4,0	5,3	5,3
Curba granulometrică, % treceți prin sita (ciurul) de:				
0,08 mm	2,8	2,1	4,2	4,9
0,09 mm	3,2	2,4	4,6	5,4
0,2 mm	5,4	4,6	6,9	9,8
0,63 mm	15,1	20,0	21,1	26,6
0,9 mm	36,0	31,8	53,0	60,8
8,0 mm	42,8	40,0	71,8	89,7
16,0 mm	65,2	87,9	92,1	99,0
25,0 mm	95,7	100,0	100,0	100,0
30,0 mm	100,0	-	-	-
Densitate aparentă	Nu	1,78	1,62	1,70
Absorbție de apă, % vol.	s-au pu- tut prepa- ra epruve- te la rece	25,0	22,0	20,0
Stabilitate Marshall daN		300,0	150,0	300,0
Rezistența la compresiune la 22°C, pe cuburi, daN/cm ²		3,0	2,6	2,2

Densitatea aparentă și absorbția de apă s-au determinat pe epruvete cilindrice tip Marshall, preparate la rece, la temperatura ambiantă, compactarea efectuându-se cu 75 lovituri. Decofra-rea s-a făcut după 72 ore, iar încercările după încă 48 de ore păstrare la temperatura ambiantă.

Se apreciază că rezultatele obținute sînt promițătoare, tehnologia de preparare a mixturilor asfaltice la rece putînd fi aplicată pentru realizarea anumitor straturi rutiere.

În etapa actuală, caracterizată prin criza de combustibili lichizi, realizarea mixturilor asfaltice la rece, cu emulsie bitu-minoasă cationică, cu rupere lentă, prezintă însemnate avantaje economice, prin importante economii de combustibil care se realizează datorită eliminării complete a încălzirii agregatelor naturale. De asemenea consumul de energie electrică se reduce sensibil datorită faptului că uscătorul nu mai trebuie pus în funcțiune.

Calcululele efectuate au condus la următoarele valori privind eficiența mixturilor asfaltice la rece, comparativ cu mixturile asfaltice la cald:

- . reducerea consumului de combustibil lichid (motorina) cu 11,2 kg/t mixtură asfaltică preparată (cca 78 %);
- . reducerea consumului de energie electrică la preparare cu 2,7 kWh/t mixtură asfaltică preparată (cca 50%);
- . reducerea prețului de cost cu cca 30 lei/t mixtură asfaltică (cca 7 %).

Date fiind rezultatele bune obținute prin aplicarea acestei tehnologii și eficiența economică a acesteia, a fost înaintată la OSIM, în cursul anului 1985 o propunere de inovație privind prepararea mixturilor asfaltice la rece. De asemenea, în cursul aceluiași an a fost înaintată la OSIM și o propunere de invenție referitoare la instalațiile tehnologice necesare producerii la rece a mixturilor asfaltice pe bază de emulsie bituminoasă cationică, cu rupere lentă.

Se subliniază faptul că mixturile asfaltice la rece pot să fie folosite numai în anumite straturi rutiere în anumite condiții. Astfel, din cauza mare de goluri al acestora, care determină o absorbție de apă ridicată, le recomandă pentru realizarea straturilor de bază și de legătură. În cazul folosirii lor în stratul de uzură se impune neapărat impermeabilizarea acestuia prin executarea de tratamente bituminoase sau dadijonări utilizând emulsie bituminoasă cu rupere rapidă.

3.4. Concluzii și propuneri

În ceea ce privește caracteristicile mixturilor asfaltice speciale în domeniul lor de aplicare și eficiența acestora, din studiile efectuate se pot desprinde următoarele concluzii și propuneri:

- . mixturile asfaltice speciale constituie o gamă de mixturi cu caracteristici fizico-mecanice superioare, care se pretează a fi utilizate la realizarea unor straturi rutiere în care apar eforturi unitare mari datorită solicitărilor din trafic combinate cu alți factori;
- . o mare parte dintre mixturile asfaltice speciale sînt realizate cu lianți bituminoși modificați, obținuți cu diverse adaosuri care contribuie în final la îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice ; se pot folosi ca adaosuri: polimeri, cauciuc, rășini termoplastice, sulf etc;
- . introducerea diverselor materiale ca ^{adaosuri} în bitum are, pe lângă rolul de a spori performanțele mixturilor asfaltice și substituirea unei părți din bitum, care în etapa actuală este un material energointensiv și deficitar;
- . studiile bibliografice și cercetările în laborator și pe teren efectuate demonstrează că s-a realizat o mare diversitate de mixturi asfaltice speciale și că există încă posibilități de diversificare

a acestora, mai ales la noi în țară. În acest sens se impune investigarea tuturor posibilităților de utilizare la prepararea mixturilor asfaltice a diverselor materiale;

. în etapa actuală se manifestă preocuparea specialiștilor din sectorul rutier de a folosi la prepararea mixturilor asfaltice o serie de materiale ce provin ca deșeuri sau subproduse la unele întreprinderi, cum ar fi: deșeurile de mase plastice, pudreta de cauciuc, deșeurile de poliuretani etc;

. aditivarea biturilor în scopul îmbunătățirii caracteristicilor fizico-mecanice se face în scopul executării unor îmbrăcămînți bituminoase speciale, puternic solicitate: ranforsări în straturi subțiri, îmbrăcămînți pentru calea pe poduri, ranforsarea cu îmbrăcămînți bituminoase a sistemelor rutiere existente cu îmbrăcămînți din beton de ciment, etc;

. în scopul îmbunătățirii siguranței circulației rutiere s-au realizat mixturi asfaltice colorate, care se aplică pe sectoare cu luminozitate redusă, pentru separarea fluxurilor de circulație în zona intersecțiilor etc;

. preocupările pentru economisirea unor materiale deficitare, cum ar fi criblura 3-8 s-au materializat în proiectarea unor mixturi asfaltice cu granulozitate discontinuă.

În principal, în direcția diversificării mixturilor asfaltice speciale se pot menționa următoarele contribuții originale:

. proiectarea și experimentarea în laborator și pe teren a mixturilor asfaltice preparate la rece, pe bază de emulsie bituminoasă cationică, cu rupere lentă (propunere de inovație nr.40/1121.12.XI.1985 DDP Timișoara);

. proiectarea și realizarea modificărilor la instalația de preparare a mixturilor asfaltice tip LPX în scopul utilizării acesteia atât la realizarea mixturilor asfaltice la rece, cât și a celei la cald (propunere de invenție nr.0.1M 120739/9.XI.1985);

. studiul în laborator și experimentarea pe teren a utilizării deșeurilor de cauciuc la prepararea mixturilor asfaltice;

. elaborarea dozașelor pentru mixturi asfaltice cu granulozitate discontinuă, fără criblură 3-8 în agregatul total, și experimentarea acestora pe teren.

Avînd în vedere rezultatele obținute în urma cercetărilor efectuate în acest domeniu se apreciază ca necesară generalizarea tehnologiilor experimentate ținînd seama de importantele avantaje economice și energetice pe care acestea le generează, în condițiile realizării unor lucrări de calitate comparabilă cu cele realiza-

te prin tehnologiile clasice. De asemenea se impune continuarea cercetărilor în vederea depistării și a altor materiale ce pot fi utilizate la prepararea nixturilor asfaltice în scopul asigurării unor posibilități sporite de producere a acestora și, în consecință, a îmbunătățirii stării de viabilitate a drumurilor.

Cap. IV. Refolosirea mixturilor asfaltice din îmbrăcăminte bituminoase uzate

Pînă în prezent, pentru întreținerea drumurilor cu îmbrăcăminte bituminoase uzate, avînd durata de exploatare depășită s-au folosit aproape în exclusivitate tehnologii prin care se aplică noi straturi rutiere peste sistemul rutier existent, în scopul sporirii capacității portante. În general aceste noi straturi sînt realizate pe bază de bitum, în ultima perioadă aplicîndu-se și ranforarea sistemelor rutiere existente cu îmbrăcăminte din beton de ciment

Actuala criză energetică mondială, în cadrul căreia criza de bitum se manifestă foarte acut impune adoptarea unor tehnologii noi pentru construcția și întreținerea drumurilor care să utilizeze economic bitumul și numai în cazurile strict necesare. În aceste condiții, acoperirea îmbrăcăminte bituminoase vechi cu noi straturi rutiere conduce la folosirea neeconomică a unui material cu caracteristici superioare, care prin tehnologii speciale ar putea fi refolosit în condiții avantajoase.

Avînd în vedere orientarea existentă în cadrul economiei noastre naționale care prevede atragerea în circuitul economic a unei părți cît mai mari din resursele materiale refolosibile, fiecărei unități socialiste îi revine sarcina să valorifice în cît mai mare măsură aceste resurse prin aplicarea unor tehnologii care să prezinte productivitate cît mai ridicată în condițiile unor cheltuieli minime [71].

În funcție de caracteristicile îmbrăcăminte bituminoase vechi pentru regenerarea acestora se aplică pe plan mondial o serie de tehnologii care pot fi grupate astfel [91] :

- tehnologii pentru regenerarea îmbrăcăminte vechi la fața locului fără a modifica dozajul mixturii asfaltice prin:

- . frezare la rece;
- . rabotare sau frezare la cald;
- . termoreprofilare;
- . termoregenerare.

- tehnologii pentru regenerarea îmbrăcăminte vechi cu refolosirea mixturii asfaltice existente, recuperată și corectată prin:

- . metoda regenerării la fața locului;
- . metoda refolosirii la cald a mixturii asfaltice vechi prin corectarea dozajului și remestecare în instalații de producere

a mixturilor asfaltice.

În procesul de regenerare a îmbrăcăminților bituminoase uzate o serie de tehnologii se bazează pe refolosirea prin diverse procedee a mixturilor asfaltice. De asemenea mixturile asfaltice vechi provenite prin recuperare din îmbrăcămințile bituminoase uzate pot fi folosite și în alte straturi rutiere (straturi de bază, de fundație) precum și la efectuarea reparațiilor îmbrăcăminților rutiere moderne [63]

În tabelul 4.1 se prezintă schematic posibilitățile de refolosire a mixturilor asfaltice provenite din îmbrăcămințile bituminoase uzate.

4.1. Refolosirea "in situ" a mixturilor asfaltice din îmbrăcămințile bituminoase uzate

Refolosirea "in situ" a mixturilor asfaltice rezultate din îmbrăcămințile bituminoase uzate se face pe plan mondial printr-o serie de tehnologii, la cald sau la rece care permit realizarea unor straturi bituminoase din mixturile asfaltice recuperate, cu sau fără adaos de materiale noi (vezi tabelul 4.1). Mixtura asfaltică recuperată nu mai trebuie transportată pe alte șantiere, ceea ce conduce la realizarea unor importante economii. De regulă refolosirea "in situ" presupune însă o dotare cu utilaje complexe care execută printr-o singură trecere toate operațiile necesare.

4.1.1. Termoreprofilarea

Termoreprofilarea constă în refacerea profilului transversal al unei îmbrăcăminți bituminoase vechi prin încălzirea, scarificare ușoară și recompactare fără a se ridica materialul vechi din îmbrăcămințe și fără adaos de material nou [91], [11]. Operația de termoreprofilare se execută cu un utilaj complex prevăzut cu:

- instalație de încălzire a îmbrăcăminței bituminoase, alcătuită din panouri radiante (de regulă cu raze infraroșii);
- dispozitiv de scarificare;
- dispozitiv de nivelare și precompactare.

Prin termoreprofilare se poate corecta cu rezultate bune profilul transversal al unei îmbrăcăminți bituminoase care prezintă fâgăse în următoarele situații:

- îmbrăcămințe bituminoase din mixtură asfaltică cu granulozitate corespunzătoare la prepararea căreia s-a folosit un bitum cu consistența redusă;

REFOLOSIREA MIXTURILOR ASFALTICE DIN IMBRĂCĂMINȚILE BITUMINOASE UZATE

refolosirea "in situ"

refolosirea mixturilor asf. la cald

- fără adaos de mixtură asfaltică (termoregen.)
- cu adaos de mixtură asfaltică (termoregen.)
- prin corectarea recuperate cu materiale noi (refolosire "in situ" la cald)

- încălzire
- scarificare
- reparare
- compactare
- încălzire
- scarificare
- reparare
- compactare
- adaos de mater. malaxare
- repartiz.
- compact.

- se utilizează ca:
- strat de rutare
- se utilizează ca:
- strat de rutare
- se utilizează ca:
- strat de rutare
- se utilizează ca:
- strat de rutare

refolosirea mixturilor asf. la rece

- frezare la rece
- adaos de mulsie
- răspândire
- compact
- execut. unghi
- nou strat de rutare

- se utilizează ca:
- strat de bază
- strat de le-gătură
- se utilizează ca:
- strat de bază
- strat de le-gătură

refolosirea pe alte șantiere

- demolarea imbrăcăm.
- frezare la rece
- frezare la cald
- ridicarea materialului și depozitarea
- fără mătășire cu concasare

- refolosirea la cald
- refolosirea la rece
- refolosirea la rece
- refolosirea la rece
- refolosirea la cald
- adaos de mătășire
- încălzire
- malaxare
- transport
- adaos de mătășire
- malaxare
- transport
- refolosirea la rece
- adaos de mătășire
- malaxare
- transport
- refolosirea la rece
- adaos de mătășire
- malaxare
- transport

- refolosirea în:
- strat de bază
- strat de le-gătură
- refolosirea în:
- strat antiac.
- strat rutier
- refolosirea în:
- strat antiac.
- strat rutier
- refolosirea în:
- strat antiac.
- strat rutier
- refolosirea în:
- strat antiac.
- strat rutier
- refolosirea în:
- strat antiac.
- strat rutier

- îmbrăcăminte bituminoasă cu făgașe produse prin uzură datorită circulației vehiculelor echipate cu pneuri cu crampeane.

Schema termoreprofilării este dată în fig.4.1.

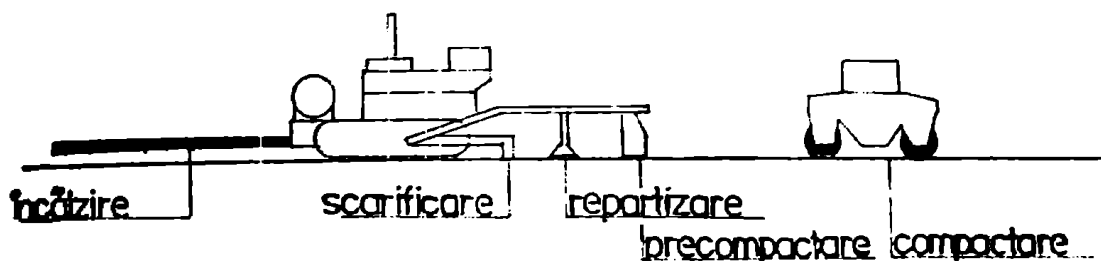


Fig.4.1. Schema termoreprofilării.

Pe lângă reprofilare se obține și o oarecare îmbunătățire a rugozității suprafeței de rulare datorită redistribuirii agregatelor șlefuite sub acțiunea circulației, în stratul tratat, pe o grosime de aproximativ 3 cm.

Parametrii principali care influențează reușita termoreprofilării sînt temperatura de încălzire a îmbrăcămintei bituminoase și adîncimea de scarificare. În general se obțin temperaturi de încălzire de 200...300 °C, ceea ce conduce la o îmbătrînire importantă a bitumului. Acest lucru este favorabil în cazul mixturilor asfaltice realizate cu bitumuri de consistență redusă cînd, și datorită îmbătrînirii în exploatare a bitumului se îmbunătățește calitatea mixturii asfaltice. Avînd în vedere însă acest aspect, termoreprofilarea poate conduce la obținerea unor rezultate necorespunzătoare în cazul utilizării biturilor dure la prepararea mixturilor asfaltice. În ceea ce privește adîncimea de scarificare aceasta trebuie să fie de cel puțin 3 cm pentru a asigura o compactare corespunzătoare a materialului.

Avînd în vedere cele menționate mai sus, rezultă că termoreprofilarea se poate realiza cu rezultate bune în următoarele situații:

- îmbrăcăminți bituminoase cu grosimea minimă de 5 cm și cu făgașe a căror adîncime maximă să nu depășească 2 cm;
- sisteme rutiere cu capacitate portantă corespunzătoare;
- îmbrăcăminți bituminoase din mixturi asfaltice cu caracteristicilor corespunzătoare din punct de vedere al granulozității și durității agregatului și cu bitum de penetrație mai mare de 20 1/10 mm.

Tehnologia termoreprofilării se recomandă a fi completată prin executarea unor tratamente bituminoase sau șlamuri bituminoase.

4.1.2. Termoregenerarea

Termoregenerarea constă în îmbunătățirea caracteristicilor

stratului de uzură al îmbrăcămintei bituminoase prin încălzire, scarificare și reutilizarea îmbrăcămintei vechi parțial sau total și aplicarea unui strat de uzură din mixtură asfaltică nouă [9], [11]

Tehnologia este realizată cu ajutorul unui grup de utilaje, alcătuit din:

- dispozitive de încălzire cu raze infraroșii;
- dispozitive de scarificare;
- dispozitiv complex cu șnec pentru ridicarea, transportul, repartizarea și nivelarea mixturii asfaltice încălzite și scarificate;
- remorcă pentru transportul mixturii asfaltice noi;
- bandă transportoare pentru mixtura asfaltică nouă;
- distribuitor cu grindă vibratoare pentru răspîndirea și precompactarea îmbrăcămintei bituminoase.

Schema termoregenerării este dată în fig.4.2.

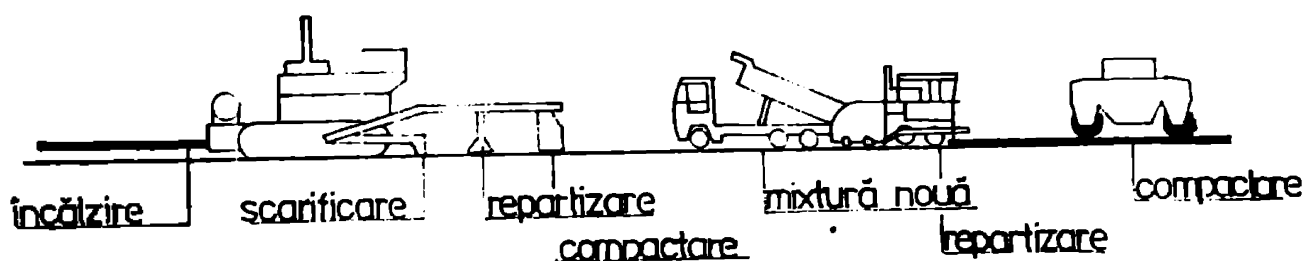


Fig.4.2. Schema termoregenerării.

Termoregenerarea constă deci dintr-o termoprofilare urmată de execuția unui strat din mixtură asfaltică nouă în grosime de 1,5...2,0 cm (min. 40 kg/m²) care va constitui noul strat de uzură. Această tehnologie se aplică pentru a reda calitățile stratului de rulare în scopul:

- asigurării siguranței și confortului circulației prin obținerea unei rugozități corespunzătoare, corectarea profilului transversal și, într-o oarecare măsură, îmbunătățirea uniformității;
- reparării suprafețelor cu peladă sau fisurate.

Din punct de vedere al aplicabilității metodei, termoregenerarea se poate utiliza, cu rezultate bune, în următoarele situații:

- îmbrăcăminți bituminoase cu grosimi mai mari de 5 cm;
- sisteme rutiere cu capacitate portantă corespunzătoare, avînd în vedere faptul că stratul din mixtură asfaltică nouă, în grosime de 1,5...2 cm nu modifică portanța structurii de rezistență;

- profiluri transversale cu fâgăse de adâncime maximă 3 cm;
- îmbrăcămînți bituminoase cu bitum care să nu fie prea îmbătrînit (penetrație peste 20 l/10 mm).

Pe lîngă parametrii care influențează reușita termoreprofilării (temperatura de încălzire și adîncimea de scarificare), în cazul termoregenerării mai intervine atît necesitatea asigurării unei temperaturi de 100... 110 °C a suprafeței reprofileate pentru realizarea unei bune aderențe a stratului din mixtură asfaltică nouă cît și aceea a realizării unui strat bituminos cu o grosime care să permită o compactare corespunzătoare (min 40 kg/m² mixtură asfaltică nouă).

Particularitățile termoregenerării permit aplicarea acestei tehnologii și numai pe o bandă de circulație în cazul drumurilor cu mai multe benzi sau în cazul drumurilor urbane, existînd posibilitatea menținerii nivelului vechii îmbrăcămînți. În această situație o parte corespunzătoare din mixtura asfaltică scarificată, în funcție de cantitatea de material nou, va fi îndepărtată urmînd a fi refolosită la alte lucrări.

4.1.3. Refolosirea "in situ" la cald

Refolosirea "in situ" la cald a mixturilor asfaltice din îmbrăcămînțile bituminoase uzate constă în încălzirea și scarificarea îmbrăcămînții vechi, ridicarea materialului, corectarea acestuia cu materiale noi (agregate naturale, bitum), malaxarea și executarea din mixtura asfaltică rezultată a unui nou strat rutier. Pentru aplicarea acestei tehnologii se folosește un grup complex de utilaje care permite efectuarea operațiilor conform schemei din Fig. 3.

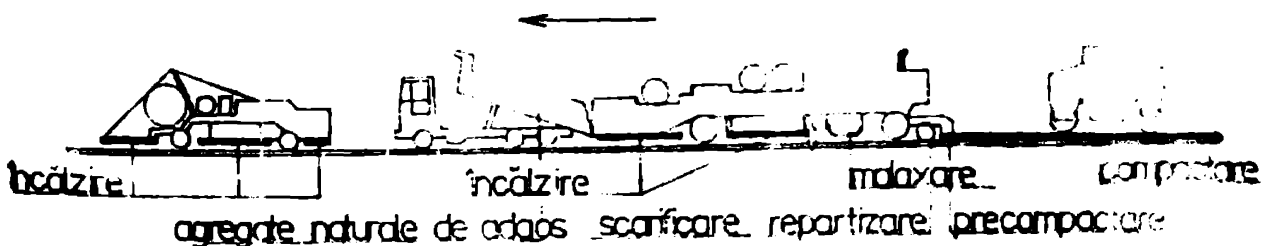


Fig.4.3. Schema refolosirii "in situ" la cald.

În plus față de procedeele termoreprofilării și termoregenerării, refolosirea vechii îmbrăcămînți permite rezolvarea unor probleme în legătură cu compoziția mixturii asfaltice, respectiv date de îmbătrînirea bitumului. Aceasta datorită faptului că prin tehnologia refolosirii la cald se modifică dozașul mixturii asfaltice din ve-

chea îmbrăcăminte prin aport de materiale noi. De regulă scarificarea se face pe o adâncime de 5...6 cm.

Tehnica refolosirii "in situ" la cald se recomandă a fi aplicată în cazul în care soluții de întreținere a îmbrăcămintelor bituminoase mai ieftine cum ar fi tratamentele bituminoase, termoregenerarea sau covoare asfaltice subțiri nu se pot aplica din motive tehnice, și anume:

- îmbrăcăminți bituminoase fisurate datorită îmbătrînirii accentuate a bitumului care nu poate fi tratată prin termoregenerare;
- îmbrăcăminți bituminoase fisurate datorită contracției straturilor inferioare din materiale stabilizate cu lianți hidraulici;
- îmbrăcăminți bituminoase din mixturi asfaltice cu compoziție necorespunzătoare solicitărilor la care sînt supuse, care prezintă defecțiuni (de regulă făgașe) ce nu pot fi remediate prin procedee clasice.

Stabilirea procentului de materiale de adaos se face în baza unor studii de laborator care au ca obiect determinarea caracteristicilor mixturii asfaltice din îmbrăcămintea veche. Se are în vedere de asemenea și adâncimea pe care se face scarificarea îmbrăcămintei bituminoase.

Compoziția necorespunzătoare a mixturilor asfaltice dată de un liant cu consistență redusă sau prea dur (datorită execuției sau îmbătrînirii în timp), de un conținut de liant redus sau prea mare precum și de o compoziție granulometrică necorespunzătoare a agregatului natural poate fi corectată prin procedeul refolosirii la fața locului.

În ceea ce privește parametrii care trebuie să fie urmăriți, ca și în cazul termoreprofilării și termoregenerării temperatura de încălzire a îmbrăcămintei existente joacă un rol foarte important. Aceasta determină adâncimea de scarificare precum și calitatea malaxării materialelor componente ale mixturii asfaltice finale. Pentru a se realiza amestecul intim al bitumului din mixtura asfaltică recuperată cu bitumul de adaos în vederea obținerii unui liant cu caracteristici superioare, temperatura materialelor introduse în malaxor trebuie să fie suficient de ridicată (peste 130 °C). Temperatura atinsă la încălzirea îmbrăcămintei în vederea scarificării trebuie controlată în permanență pentru a se evita supraîncălzirea materialului care poate conduce la îmbătrînirea liantului.

4.1.4. Refolosirea "in situ" la rece a mixturilor asfaltice

Refolosirea mixturilor asfaltice "in situ" prin tehnologii la rece constă în realizarea, cu ajutorul unor utilaje complexe, a următoarelor operații principale:

- . recuperarea mixturii asfaltice din îmbrăcămintea bituminoasă uzată și concasarea acesteia, dacă este necesar, la dimensiunea granulei maxime a agregatului din mixtură;
- . adăugarea de materiale noi (liant, agregate naturale) și mărunțirea;
- . așternerea mixturii asfaltice obținute și compactarea.

Îmbrăcămintele bituminoase uzate pot fi recuperate prin frezare la rece, caz în care materialul rezultat are dimensiuni corespunzătoare unei utilizări imediate la prepararea mixturilor asfaltice. Dacă îmbrăcămintea bituminoasă este scarificată, înainte de utilizare la prepararea mixturilor asfaltice, materialul rezultat trebuie concasat pentru asigurarea unor dimensiuni corespunzătoare.

Materialul rezultat din frezarea îmbrăcămintei bituminoase se poate utiliza la prepararea mixturilor asfaltice la rece după următoarele dozaș [119]

- . mixtură asfaltică recuperată prin frezare 100 % ;
- . apă de umectare 2,5...3 % ;
- . liant regenerat 1 % .

Procentajul de liant regenerat (emulsie bituminoasă specială) se determină în funcție de conținutul real de bitum al mixturii asfaltice recuperate, de conținutul de bitum pe care dorim să-l obținem în mixtura asfaltică nouă și de conținutul de bitum al celui de ei.

În figura 4.4 se prezintă o schemă de principiu a metodei procedurii de refolosire la rece a mixturilor asfaltice [117].

În cazul în care o dată cu scarificarea îmbrăcămintei bituminoase s-a scarificat și o parte din stratul de bază din materiale granulare, sau dacă se impune corectarea granulometriei agregatului natural pentru încadrarea în prescripțiile normativelor, este necesar să se calculeze conținutul de bitum total necesar și procentajul de bitum de adăos. Pentru aceasta se pot aplica relațiile 4.1, 4.2 și 4.3.

$$B_t = 0,035 a + 0,045 b + K.c + P \quad (4.1)$$

în care:

B_t este conținutul total de bitum din mixtura asfaltică protec-

tată, în %;

- a - procentajul de agregat natural reținut pe sita de 2,36 mm;
- b - procentajul de agregat natural cuprins între 0,075 și 2,36 mm;
- c - procentajul de agregat natural ce trece prin sita de 0,075 mm;
- K - coeficient care are valorile:
 - 0,15 pentru 11...15 % treceri prin sita de 0,075 mm;
 - 0,18 pentru 6...10 % treceri prin sita de 0,075 mm;
 - 0,20 pentru < 5 % treceri prin sita de 0,075 mm;
- F - coeficient care are valori cuprinse între 0...2, în funcție de tipul agregatelor naturale.

$$B_a = B_t - B_r \cdot P_{mr} \quad , \quad [\%] \quad (4.2)$$

în care:

- B_a este procentajul de bitum de adaos;
- B_r - conținutul de bitum al mixturii asfaltice recuperate, în %;
- P_{mr} - proporția mixturii asfaltice recuperate în totalul mixturii asfaltice.

Proporția de emulsie bituminoasă se determină în funcție de procentajul necesar de bitum de adaos și de conținutul în bitum al emulsiei bituminoase, cu relația 4.3.

$$E_b = \frac{B_a}{B_e} \cdot 100, \quad [\%] \quad (4.3)$$

în care:

- E_b este procentajul necesar de emulsie bituminoasă;
- B_e - conținutul de bitum al emulsiei, în %.

Prepararea mixturii asfaltice se face la locul de punere în operă cu ajutorul unor utilaje complexe care execută și amestecarea mixturii asfaltice, conform schemei de principiu din fig. 4.4.

Apa de umectare se adaugă într-o proporție bine determinată, prin încercări preliminare de laborator urmărindu-se realizarea unei anrobări cât mai bune. Se recomandă procentaje de apă de umectare între 2,5...5 %.

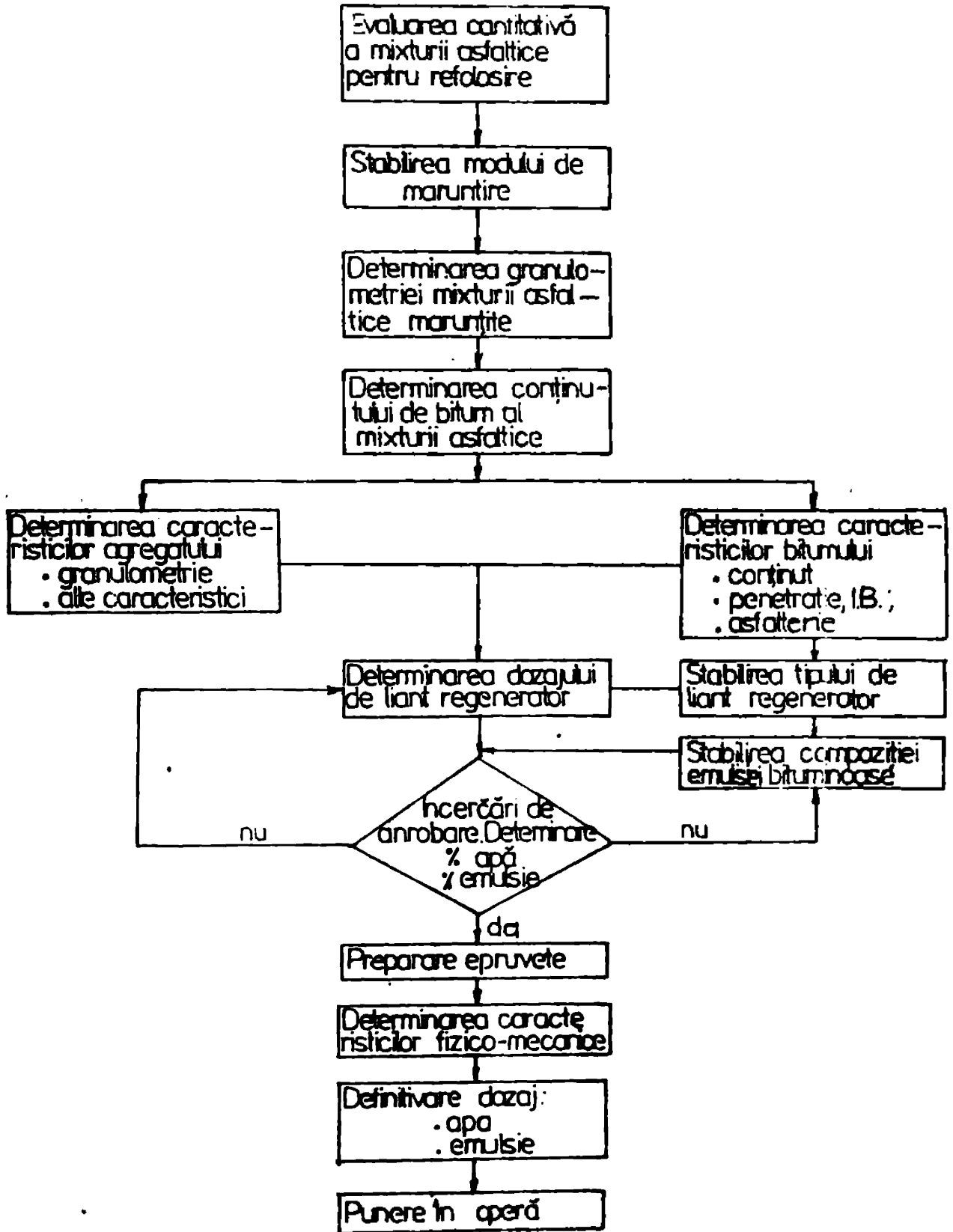


Fig.4.4. Schema fazelor procedurii de re folosire la rece a mixturilor asfaltice.

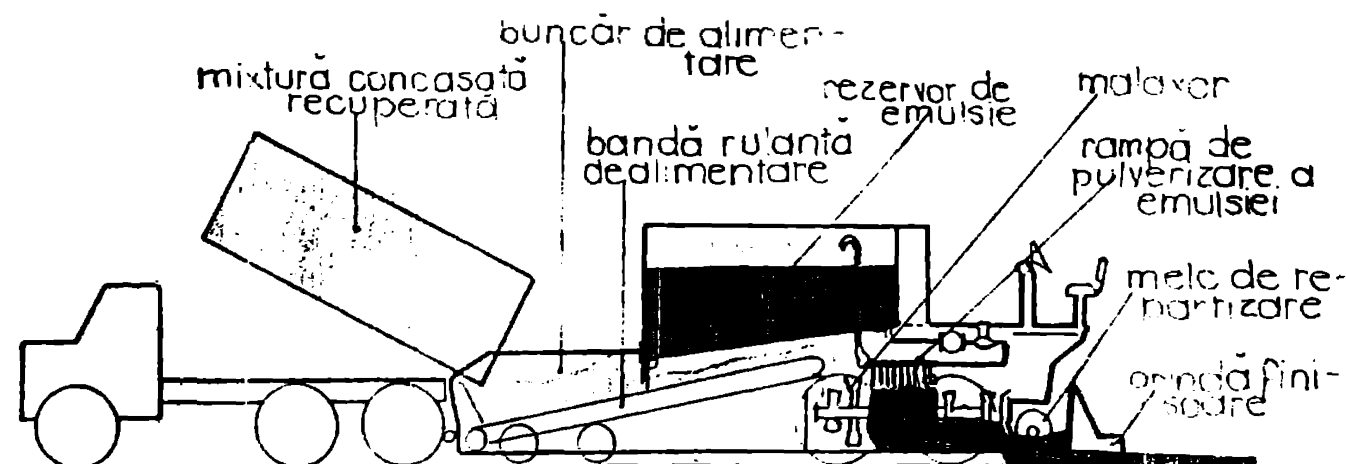


Fig.4.5. Schema de principiu a refolosirii la rece a mixturilor asfaltice "in situ".

Compactarea mixturii asfaltice prezintă o deosebită importanță, de aceasta depinzând în mare măsură calitatea lucrării executate. Dacă se face prematur, prin compactare se împiedică evaporarea apei prelungindu-se mult timpul necesar pentru ca mixtura asfaltică să devină suficient de stabilă pentru a fi dată în circulație. De asemenea mixtura asfaltică trebuie să fie suficient de stabilă pentru a suporta compactarea. Dacă se amână prea mult timp, compactarea poate să devină dificilă datorită întăririi mixturii asfaltice. Experiența a arătat că operația de compactare trebuie să înceapă puțin înainte sau în același timp cu ruperea emulsiei [126].

În ceea ce privește atelierul de compactare se recomandă folosirea compactoarelor pe pneuri și vibratoare completate de compactoarele cu rulouri netede pentru compactarea finală.

Prin tehnologia de refolosire la rece "in situ" a mixturilor asfaltice se pot executa în condiții bune straturi de bază și straturi de legătură care urmează să fie acoperite cu alte straturi bituminoase. De asemenea pe drumurile cu trafic redus această tehnologie poate fi aplicată și pentru realizarea straturilor de rulare care se protejează cu tratamente bituminoase.

4.2. Refolosirea mixturilor asfaltice din îmbrăcămințile bituminoase uzate în cadrul altor șantiere

În multe cazuri nu se dispune de utilaje complexe necesare pentru refolosirea "in situ" a mixturilor asfaltice. În această situație materialul rezultat din îmbrăcămințile bituminoase uzate este transportat și depozitat în șantier în vederea unei refolo-

siri ulterioare. De regulă acest material rezultă din:

- . frezarea la rece sau la cald a îmbrăcăminților bituminoase în vederea regenerării acestora, în cazul când complexul rutier prezintă o capacitate portantă corespunzătoare;

- . demolarea îmbrăcăminților bituminoase uzate, cu capacitatea de exploatare depășită;

- . decaparea unor porțiuni din îmbrăcămintea bituminoasă degradată în vederea executării reparațiilor;

- . decaparea îmbrăcămintei bituminoase în vederea executării unor lucrări la instalațiile edilitare (pe străzile din orașe).

În general mixtura asfaltică recuperată trebuie concasată înainte de a fi refolosită pentru a obține fragmente de dimensiuni care să permită utilizarea acestuia la prepararea mixturilor asfaltice.

Apar și materialul rezultat prin frezarea îmbrăcăminților bituminoase trebuie concasat, mai ales dacă depozitarea acestuia a cuprins și perioade cu temperaturi relativ ridicate, care favorizează aglomerarea mixturii asfaltice.

4.2.1. Refolosirea la cald a mixturilor asfaltice în centrale

Prin această tehnologie mixturile asfaltice recuperate sunt refolosite, cu ajutorul instalațiilor clasice adaptate și prin corecție cu adaos de materiale, la prepararea unor noi mixturi asfaltice.

[1].

Mixtura asfaltică recuperată din îmbrăcămintea bituminoasă uzată este îmbătrînită, caracterizîndu-se prin:

- îmbătrînirea liantului;

- uzura granulelor agregatelor naturale prin abraziune și acțiunea traficului care poate conduce la modificarea granulozității.

În consecință, pentru obținerea unor mixturi asfaltice cu caracteristici corespunzătoare, în procesul tehnologic de preparare trebuie să introducem materiale de adaos, respectiv agregate naturale și bitum care conduc la:

- . realizarea unei granulozități conform prescripțiilor pentru tipul de mixtură asfaltică pe care dorim să o preparăm;

- . completarea conținutului de bitum;

- . regenerarea bitumului îmbătrînit din mixtura asfaltică recuperată.

Bitumul de adaos trebuie să fie un bitum moale, de exemplu de tip 230 1/10 mm sau un bitum special cu proprietăți regenerabile.

Pentru prepararea mixturilor asfaltice se pot aplica, în funcție de instalațiile de care dispunem, două variante și anume:

- prepararea în instalații cu flux discontinuu (fig.4.6);
- prepararea în instalații cu flux continuu (fig.4.7).

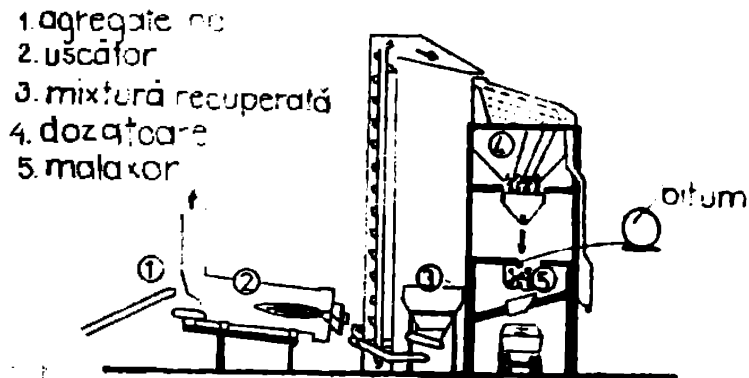


Fig.4.6. Schema de re folosire a mixturilor asfaltice în centrale cu flux discontinuu.

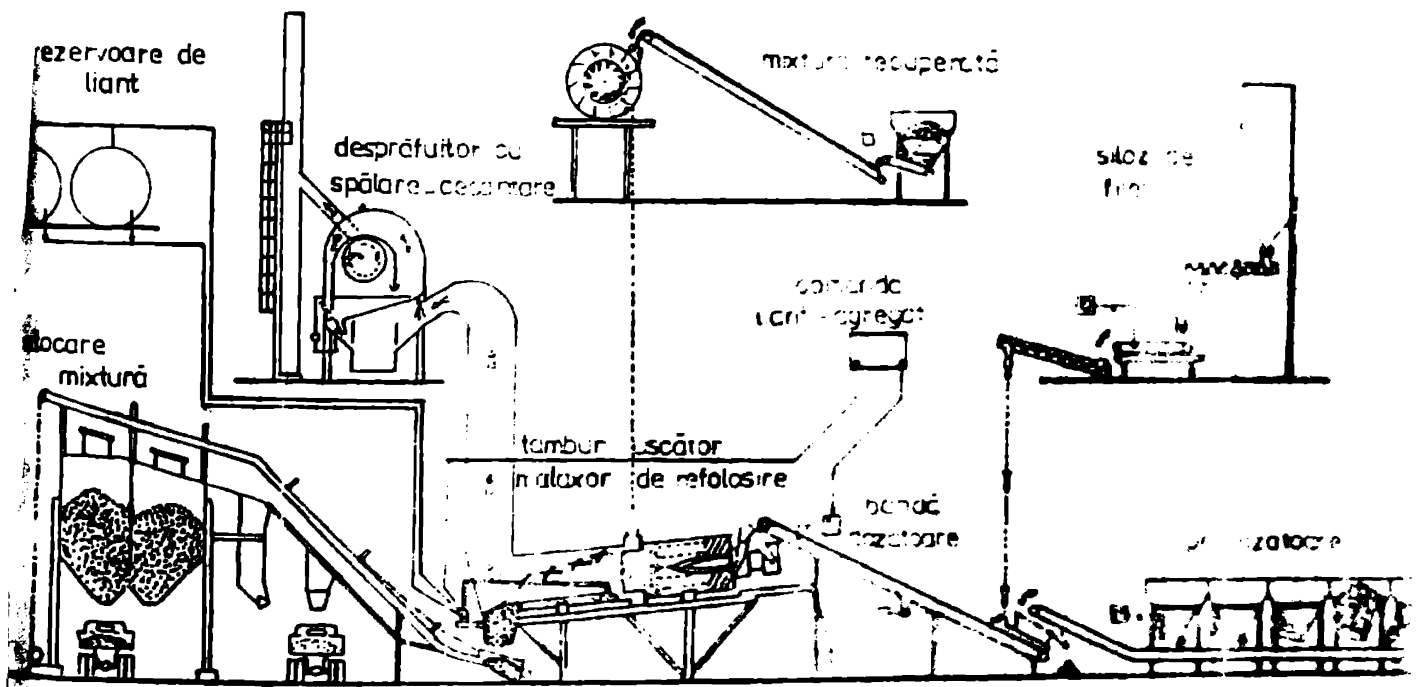


Fig.4.7. Schema de re folosire a mixturilor asfaltice în centrale cu flux continuu (uscător-malaxor).

În cazul instalațiilor cu flux discontinuu, mixtura asfaltică recuperată se introduce în fluxul tehnologic la temperatura mediului ambiant, în malaxor avînd loc transferul de căldură de la agregatele naturale de adaos supraîncălzite la mixtura asfaltică re folosită. Pentru obținerea unei temperaturi a amestecului

care să asigure condițiile unei bune malaxări și anrobării, agregatele naturale de adaos trebuie supraîncălzite la o temperatură care se poate calcula cu relația 4.4 [9]

$$T_{ni} = \frac{T_f - \alpha T_{r1}}{1 - \alpha} + \frac{4 \alpha x}{1 - \alpha} (637 - T_{r1}), \quad [^{\circ}C] \quad (4.4)$$

în care:

T_{ni} este temperatura la care trebuie supraîncălzite agregatele naturale de adaos, în $^{\circ}C$;

T_f - temperatura de producere a mixturii asfaltice, în $^{\circ}C$;

α - proporția materialului refolosit în totalul mixturii (< 1);

T_{r1} - temperatura inițială a mixturii asfaltice recuperate, în $^{\circ}C$;

x - umiditatea mixturii asfaltice recuperate, în %.

Se recomandă o premalaxare a agregatelor naturale de adaos și a mixturii asfaltice recuperate timp de cca 10 secunde pentru a permite repartizarea bitumului existent în masa amestecului, înainte de introducerea liantului.

Prin această tehnologie se asigură un procentaj de refolosire a mixturii asfaltice recuperate de până la 20% în mod obișnuit, în anumite condiții putându-se ajunge la 30...40%.

Instalațiile în flux continuu cu uscător-malaxor permit realizarea unor procentaje de refolosire ridicate (până la 60%)

Mixtura asfaltică recuperată se introduce în tamburul uscător-malaxor la mijlocul acestuia (vezi fig.4.6) prin intermediul unui "inel de refolosire" care permite alimentarea continuă a instalației. Introducerea materialului recuperat se face la mijlocul tamburului pentru a proteja liantul de flacăra injectorului și de gazele cu temperatură foarte mare. Încălzirea mixturilor asfaltice recuperate se face atât prin transfer de căldură de la agregatele naturale de adaos, cât și direct de la gazele de ardere. Temperatura gazelor în zona de introducere a materialului recuperat trebuie să fie mult mai ridicată decât în cazul preparării clasice (fără material recuperat) și depinde de:

- procentajul de refolosire și de debitul instalației;
- temperatura necesară preparării mixturii asfaltice;
- umiditatea materialului recuperat.

Studiile efectuate [9] au condus la concluzia că prepararea mixturilor asfaltice prin acest procedeu se recomandă să se facă la temperaturi sub $150^{\circ}C$, folosind material cu umiditatea sub 1%.

4.2.2. Refolosirea mixturilor asfaltice la cald din nisip de nisip bituminos

Mixturile asfaltice recuperate din îmbrăcămințile bituminoase uzate pot fi refolosite pentru reparații prin regenerare cu nisip bituminos [129]. Consistența bitumului din nisipul bituminos, alături de calitatea foarte bună a acestuia asigură posibilitatea regenerării bitumului îmbătrânit din mixtura asfaltică recuperată.

În vederea refolosirii mixturii asfaltice recuperate se mărunțește la dimensiuni de maximum 30 mm cu ajutorul unui utilaj de concasare.

Dozajele de lucru se stabilesc în procente de masă, pe baza încercărilor preliminare de laborator, astfel [130]:

- se determină compoziția mixturii asfaltice recuperate (conținutul de bitum și compoziția granulometrică a agregatului natural);

- se determină compoziția nisipului bituminos;

- se stabilesc prin calcul, în funcție de rezultatele obținute și de limitele prescrise pentru conținutul de bitum al mixturii asfaltice pe care vrem să o obținem, procentajul de mixtură asfaltică recuperată, de nisip bituminos și eventual de agregate naturale de aport pentru corectarea granulozității.

Prepararea mixturii asfaltice se face în instalații de tip uscător-malaxor în flux continuu cu încălzire în echipament. Înainte de introducerea în uscător, materialele componente uscate (mixtură asfaltică recuperată, nisip bituminos și, eventual, agregate naturale de aport) se amestecă într-o betonieră cu amestec forțat pînă la omogenizare. Materialul omogenizat se introduce apoi în mod continuu în uscătorul-malaxorul instalației unde are loc uscarea, încălzirea și amestecarea lor, precum și introducerea bitumului din mixtura recuperată, cu bitumul din nisipul bituminos. Regimul termic trebuie să asigure obținerea unei mixturi asfaltice la o temperatură de 160...180 °C.

Prin această tehnologie se pot produce mixturi asfaltice pentru reparații de tipul betonului asfaltic cu agregat de aport cu nisip bituminos (A.a.16.n.b.) și asfaltelor cu nisip bituminos (A.b.31.n.b.). Compoziția și caracteristicile fizico-mecanice trebuie să corespundă prescripțiilor normativului ST 46-7.

Punerea în operă se face după tehnologia obișnuită de efectuare a reparațiilor. Compactarea se efectuează la temperaturi de

minimum 130 °C.

4.2.3. Refolosirea la rece a mixturilor asfaltice la executarea sistemelor rutiere, fără adăugarea materialelor noi

Valorificarea mixturilor asfaltice recuperate din îmbrăcămințile bituminoase uzate se poate face nu numai prin utilizarea acestora la prepararea unor noi mixturi asfaltice, ci și sub formă netratată la executarea unor straturi rutiere. Materialul rezultat din frezarea la rece a îmbrăcăminților bituminoase sau prin concasarea mixturilor asfaltice rezultate la demolarea acestora se poate utiliza la [54]:

- executarea unor straturi antigel;
- realizarea de straturi de fundație sau straturi de bază stabilizate cu ciment.

Experimentările efectuate [64] au condus la concluzia că mixtura asfaltică mărunțită la dimensiuni sub 20 mm poate fi utilizată cu bune rezultate la realizarea straturilor antigel. Pentru obținerea unor rezultate bune, o atenție deosebită trebuie acordată compactării materialului. Compactitatea stratului depinde de energia de compactare (fig. 4.8) și de temperatura la care se face compactarea (fig. 4.9).

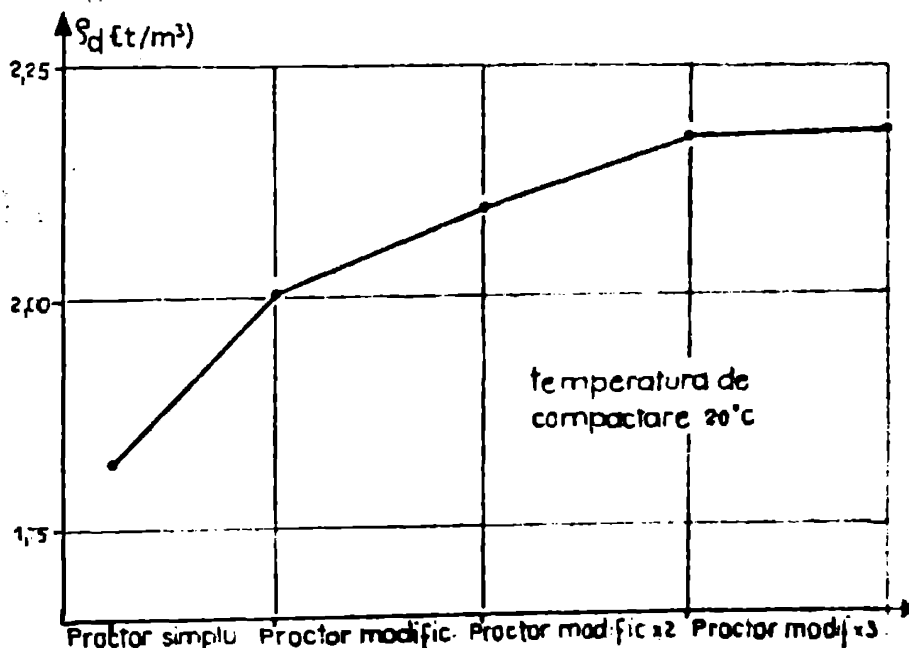


Fig. 4.8. Influența energiei de compactare asupra densității stratului.

Se subliniază faptul că pentru evitarea unei postcompactări în exploatare trebuie aplicate energii de compactare relativ mari

(fig. 4.6). De asemenea gradul de compactare crește cu temperatura.

Pentru a facilita compactarea se recomandă adăosul de materiale granulare (nisip, pietriș). Pe de altă parte, pentru îmbunătățirea aptitudinii de compactare a materialelor cu granulometria uniformă se recomandă adăosul de mixtură asfaltică recuperată.

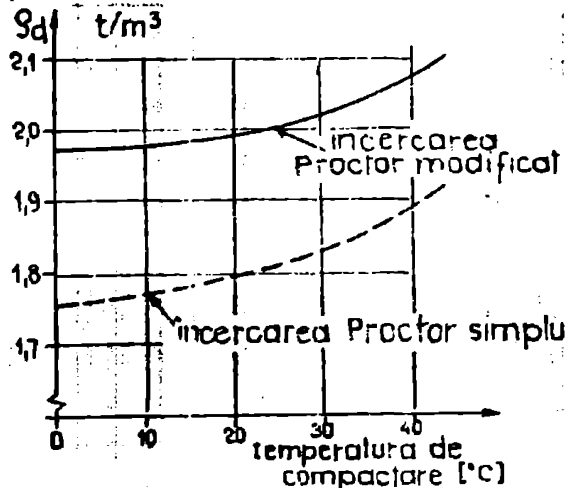


Fig. 4.9. Influența temperaturii de compactare asupra densității stratului.

În ceea ce privește stabilizarea cu ciment se evidențiază creșterea rezistenței la compresiune (pe epruvete cilindrice) cu doza de ciment, cu energia de compactare și cu vârsta epruvetelor (fig. 4.10).

Efectul negativ al temperaturii ridicate asupra materialului stabilizat (fig. 4.11) poate fi contracarat printr-o compactare intensă.

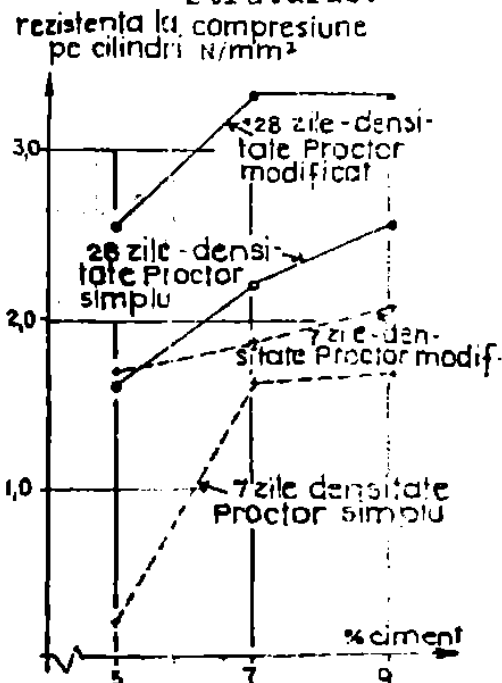


Fig. 4.10. Influența dozei de ciment, a energiei de compactare și a vârstei epruvetelor asupra rezistenței la compresiune.

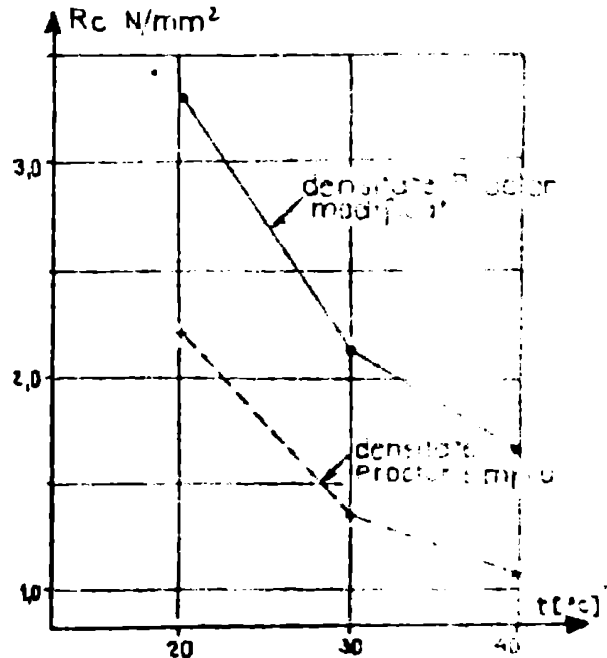


Fig. 4.11. Influența temperaturii asupra rezistenței la compresiune.

Umiditatea optimă de compactare se determină prin încercări de laborator, valorile acestora fiind de regulă cuprinse între 5...7%.

4.2.4. Refolosirea mixturilor asfaltice recuperate din îmbrăcămintele bituminoase uzate prin procedeul "PLOMBAREC"

În activitatea de întreținere a drumurilor cu îmbrăcăminti bituminoase de la noi din țară rezultă o importantă cantitate de mixtură asfaltică decapată cu ocazia efectuării reparațiilor. La asemenea în orașe, efectuarea unor lucrări la instalațiile edilitare, amplasate de regulă în zona părții carosabile conduce la obținerea de mixturi asfaltice rezultate din decaparea îmbrăcămintei bituminoase.

Mixtura asfaltică recuperată este alcătuită din materiale (bitum și agregate naturale) deficitare în etapa actuală și cu un mare consum de energie înglobată. Având în vedere acest lucru și ținând seama de faptul că toate țările dezvoltate aplică tehnologii de refolosire a mixturilor asfaltice din îmbrăcămintele bituminoase uzate, am studiat posibilitatea refolosirii materialului în condițiile țării noastre. Dat fiind faptul că întreținerea drumurilor este o activitate permanentă de care depinde în mod direct starea de viabilitate a acestora, s-a căutat ca prin studiile efectuate să se găsească o tehnologie de refolosire a mixturilor asfaltice din decapări, la efectuarea reparațiilor. S-a avut în vedere ca tehnologia să poată fi aplicată ușor, în tot timpul anului, și fiind instalațiile aflate în dotarea unităților de întreținere a drumurilor.

Pornind de la aceste considerente s-a elaborat în cadrul laborator și s-a experimentat pe teren tehnologia de refolosire la rece a mixturilor asfaltice rezultate din decaparea îmbrăcămintelor bituminoase prin procedeul "PLOMBAREC". Prin această tehnologie mixtura asfaltică recuperată se refolosește în proporția 100% ridicată în nouă mixtură asfaltică tip "PLOMBAREC" (practică în România) ținându-se importante economii de fonduri, energie și materii prime.

Procedeul este original și a făcut obiectul unei lucrări de invenție în anul 1985, careia i s-a acordat brevetul nr. 87776/1985.

Schema fazelor de refolosire a mixturilor asfaltice prin procedeul "PLOMBAREC" este prezentată în fig. 4.17.

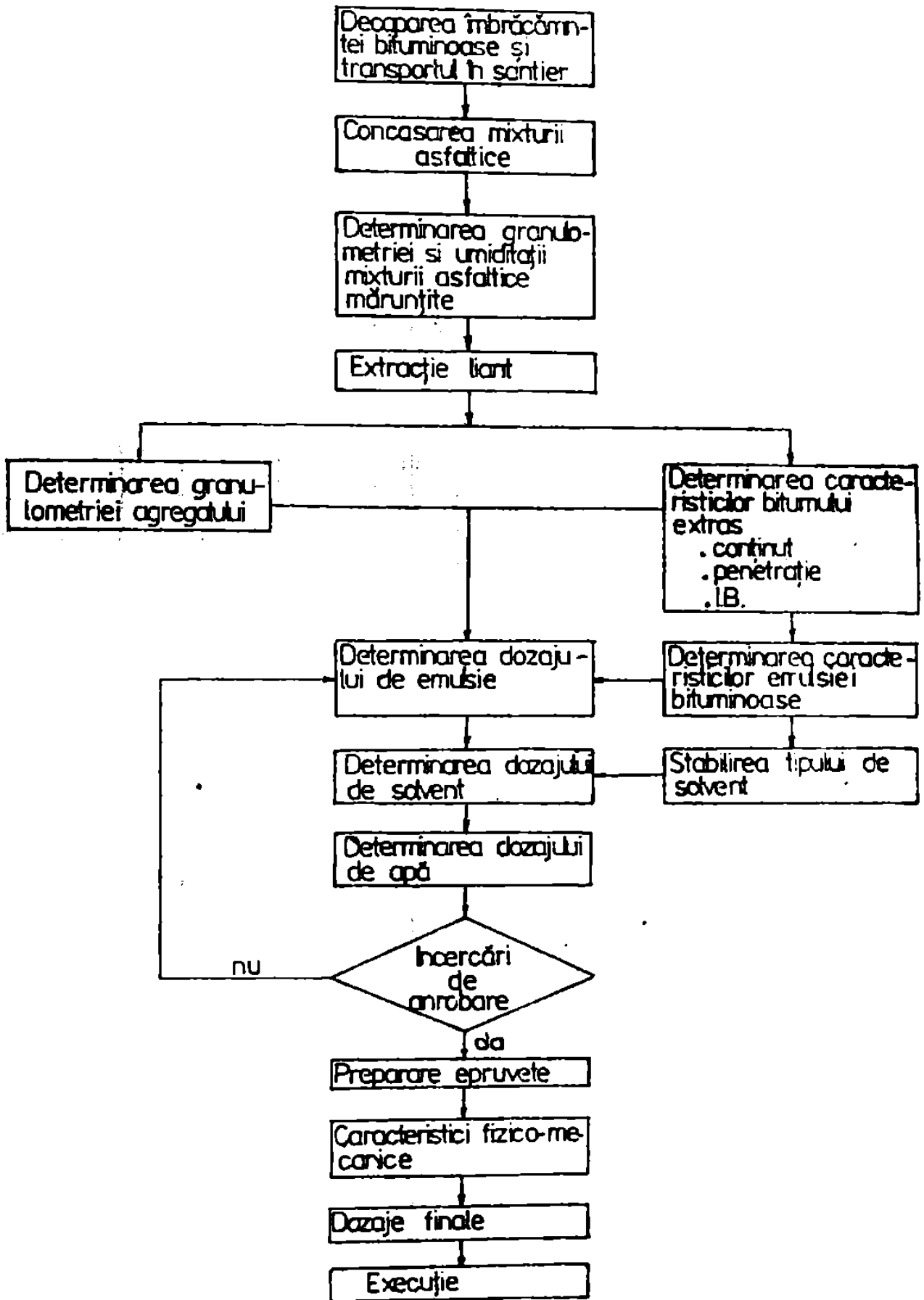


Fig. 4.12. Scheme fazelor de realizare a mixturii asfaltice prin procedeu laborator.

4.2.4.1. Materialle și utilajele necesare pentru prepararea mixturei asfaltice tip "PLOMBAREC"

Pentru prepararea mixturei asfaltice tip "PLOMBAREC" se folosesc următoarele materiale:

- . mixtură asfaltică recuperată din decapări;
- . emulsie bituminoasă cationică;
- . solvent (petrosin, motorină etc.);
- . apă.

Mixtura asfaltică, principalul material folosit, recuperată din decapări, se mărunțește la dimensiunea maximă a granulei, fragmentele obținute trebuind să aibă dimensiuni sub 25 mm. Se va evita încorporarea în masa mixturei asfaltice a impurităților acumulate în timpul decapării, transportului și depozitării, ale și în timpul concasării. Se recomandă efectuarea concasării în perioadele cu temperaturi ambiante scăzute, deoarece la temperaturi ridicate aceasta devine plastică și fărâmițarea ei este îngreunată. Materialul concasat poate fi utilizat imediat sau poate fi depozitat pentru a fi folosit ulterior. Nu se recomandă depozitarea în cursul perioadelor calduroase pentru că în această situație materialul se aglomerează și în consecință este necesară o nouă concasare.

Emulsia bituminoasă cationică se utilizează pentru completarea conținutului de bitum din mixtura asfaltică recuperată. De asemenea acesta are rolul de a asigura lucrabilitatea și, după rupere, coeziunea mixturei asfaltice. Având în vedere tipul bitumului (de regulă D 180/200) din emulsia bituminoasă, aceasta are și rolul de a regenera bitumul conținut în mixtura asfaltică recuperată care este îmbătrânit, având în vedere faptul că provine dintr-o îmbrăcăminte bituminoasă veche, uzată. Se folosesc emulsie bituminoasă cationică cu rupere rapidă, material de care dispun, de regulă, șantierele de drumuri.

În compoziția mixturei asfaltice tip "PLOMBAREC" se introduce și un solvent organic care are rolul de a evita ruperea prematură a emulsiei, de a măări lucrabilitatea mixturei asfaltice, de a facilita combinarea bitumului din mixtura asfaltică recuperată cu bitumul din emulsia bituminoasă și de a permite menținerea în timp a lucrabilității mixturei asfaltice, deci de a asigura stocarea acesteia (în condiții de etanșitate perfectă). Se recomandă petrosinul ca solvent în mixtura asfaltică.

Apa se introduce pentru umectarea mixturii asfaltice recuperate în scopul evitării ruperii emulsiei bituminoase la contactul cu aceasta. De asemenea apa asigură o lucrabilitate corespunzătoare a mixturii asfaltice și, în cantitate optimă favorizează compactarea acesteia la punerea în operă.

Utilajele necesare pentru prepararea mixturii asfaltice tip "PLOMBAREC" sînt:

- concasor pentru mixtura asfaltică recuperată;
- betonieră pentru prepararea mixturii asfaltice.

Cu ajutorul concasorului, mixtura asfaltică recuperată este fărîmițată la dimensiuni corespunzătoare. Se poate folosi pentru aceasta și zdrobitorul de bitum dur utilizat în procesul tehnologic de producere a mixturilor asfaltice cu nisip bituminos. În situații particulare, pentru cantități mici de mixtură asfaltică se poate efectua și fărîmițarea manuală a materialului.

Pentru amestecarea componentelor mixturii asfaltice se utilizează o betonieră obișnuită, cu amestec liber. Pentru necesitățile unui district de întreținere a drumurilor se recomandă betoniera de 100 l capacitate.

4.2.4.2. Elaborarea dozajului pentru mixtura asfaltică tip "PLOMBAREC"

Pentru elaborarea dozajului mixturii asfaltice este necesară efectuarea unor încercări preliminare de laborator, determinându-se:

- conținutul de bitum al mixturii asfaltice recuperate;
- granulozitatea agregatului natural din mixtura asfaltică recuperată;
- umiditatea efectivă a mixturii asfaltice recuperate concasate;
- umiditatea optimă de compactare a mixturii asfaltice recuperate concasate;
- conținutul de bitum al emulsiei bituminoase catenale;
- timpul de rupere al emulsiei bituminoase catenale;
- timpul de rupere al emulsiei bituminoase catenale cu adaos de solvent în diverse proporții (în limita valorilor date de relația 4.15).

Compoziția mixturii asfaltice preparată la rece prin procedeul "PLOMBAREC" este dată de relația:

$$M = M_r + E + S + A \quad (4.5)$$

în care:

M este mixtura asfaltică preparată la rece prin procedeul "PLOMBAREC";

M_r - mixtura asfaltică recuperată;

E - emulsie bituminoasă cationică;

S - solvent;

A - apă.

La elaborarea dozajului se are în vedere realizarea unui conținut de bitum final corespunzător unei mixturi asfaltice pentru reparații (6,5...7,5%), care se obține prin adaos de emulsie bituminoasă cationică. Bitumul de adaos din emulsie are și rolul de a regenera bitumul îmbătrânit din mixtura asfaltică recuperată.

- Pentru stabilirea proporției în care fiecare componentă intră în alcătuirea mixturii asfaltice se pornește de la ipoteza că mixtura asfaltică finală uscată (obținută după evaporarea apei și a solventului) este alcătuită din mixtura asfaltică recuperată (agregate naturale + bitum) și bitumul de adaos din emulsia bituminoasă. Ținând seama de aceasta se obțin următoarele relații de calcul:

$$B_{ef} = \frac{B_f - B_{mr}}{100 - B_{mr}} \cdot 100, \quad [\%] \quad (4.6)$$

$$E_f = \frac{100}{b_e} B_{ef}, \quad [\%] \quad (4.7)$$

$$M'_{rf} = 100 - B_{ef}, \quad [\%] \quad (4.8)$$

$$M_{ri} = \frac{100}{100 - w} M'_{rf} \quad [\%] \quad (4.9)$$

Intre mărimile de mai sus se pot scrie următoarele relații de legătură:

$$B_f = B_{mrf} + B_{ef} \quad (4.10)$$

$$M'_{ri} + B_{ef} = 100 \quad (4.11)$$

$$E_{mr} + AG_{mr} = 100 \quad (4.12)$$

în care:

B_{ef} este necesarul de bitum de adaos din emulsia bituminoasă, raportat la masa mixturii asfaltice finale. în %;

- B_f - necesarul de bitum în mixtura asfaltică finală, în %;
- B_{mr} - conținutul de bitum din mixtura asfaltică recuperată, în %;
- B_{mrf} - conținutul de bitum din mixtura asfaltică recuperată, raportat la masa mixturii finale, în %;
- B_{ef} - necesarul de emulsie bituminosă, raportată la masa mixturii asfaltice finale, în %;
- b_e - conținutul real de bitum al emulsiei bituminoase cationice, în %;
- M'_{rf} - necesarul de mixtură asfaltică recuperată uscată, raportată la masa mixturii asfaltice finale, în %;
- M_{rf} - necesarul de mixtură asfaltică recuperată, cu umiditatea W (efectivă) raportată la masa mixturii asfaltice finale, în %;
- W - umiditatea mixturii asfaltice recuperate, în %;
- AG_{mr} - conținutul de agregat natural în mixtura asfaltică recuperată uscată, în %.

Conținutul de bitum al mixturii asfaltice finale este determinat în funcție de granulozitatea agregatului din mixtura asfaltică recuperată, prin metoda suprafeței specifice [1].

La calculul procentajului de apă de adăos se ține seama de umiditatea optimă de compactare și de umiditatea efectivă a mixturii asfaltice recuperate și de apa conținută de emulsia bituminosă.

$$A_f = w_{opt} - W - A_{ef} \quad [1] \quad (13)$$

deci:

$$A_{ef} = \frac{100 - b_e}{b_c} B_{ef} \quad [1] \quad (14)$$

$$A_f = w_{opt} - W - \frac{100 - b_e}{b_c} B_{ef} \quad [1] \quad (15)$$

în care:

- A_f este adăosul de apă raportată la masa mixturii asfaltice finale, în %;
- w_{opt} - umiditatea optimă de compactare a mixturii asfaltice, în %;
- W - umiditatea efectivă a mixturii asfaltice recuperate, în %;

A_{ef} = apă din emulsia bituminoasă (inclusiv emulgator, HCl), raportată la masa mixturii asfaltice finale.

Având în vedere rolul apei de a umecta materialul în scopul evitării ruperii premature a emulsiei bituminoase la contactul cu acesta, trebuie să se asigure un procentaj minim de apă de 1% ($A_f \geq 1\%$).

Proporția de solvent se calculează în funcție de conținutul de bitum din mixtura asfaltică finală cu relația (4.15).

$$S_f = \alpha B_f \quad , \quad [\%] \quad (4.15)$$

în care:

S_f este cantitatea de solvent raportat la masa mixturii asfaltice finale, în %;

α = coeficient care diferă în funcție de tipul solventului, temperatura de lucru, temperatura de stocare și durata de stocare.

În mod obișnuit, pentru mixturi asfaltice care urmează a fi folosite imediat la efectuarea reparațiilor $\alpha = 0,08 \dots 0,12$. În cazul în care mixtura asfaltică urmează a fi stocată în vederea unei utilizări ulterioare se adoptă $\alpha = 0,10 \dots 0,20$, în funcție de condițiile de stocare (temperatură și durată).

Calculul dozajului, raportând componenții la masa mixturii asfaltice inițiale (umedă, conform relației 4.5) se face aplicând relațiile 4.16 - 4.19.

$$M_{rf} = \frac{M_{rf} + E_f + S_f + A_f}{M_{rf} + E_f + S_f + A_f} 100, \quad [\%] \quad (4.16)$$

$$E = \frac{E_f}{M_{rf} + E_f + S_f + A_f} 100, \quad [\%] \quad (4.17)$$

$$S = \frac{S_f}{M_{rf} + E_f + S_f + A_f} 100, \quad [\%] \quad (4.18)$$

$$A = \frac{A_f}{M_{rf} + E_f + S_f + A_f} 100, \quad [\%] \quad (4.19)$$

se-au întocmit și

Pentru calculul operativ al dozajului se pot utiliza graficele din fig. 4.13 și 4.14 care ne dau, în procente din masa mixturii asfaltice finale, valorile intermediare B_{ef} și M'_{rf} și valorile E_f respectiv M_{rf} . De asemenea, cu ajutorul nomogramei din fig. 4.15 se poate determina proporția de apă (A_f), iar cu diagrama din fig. 4.16 necesarul de solvent (S_f).

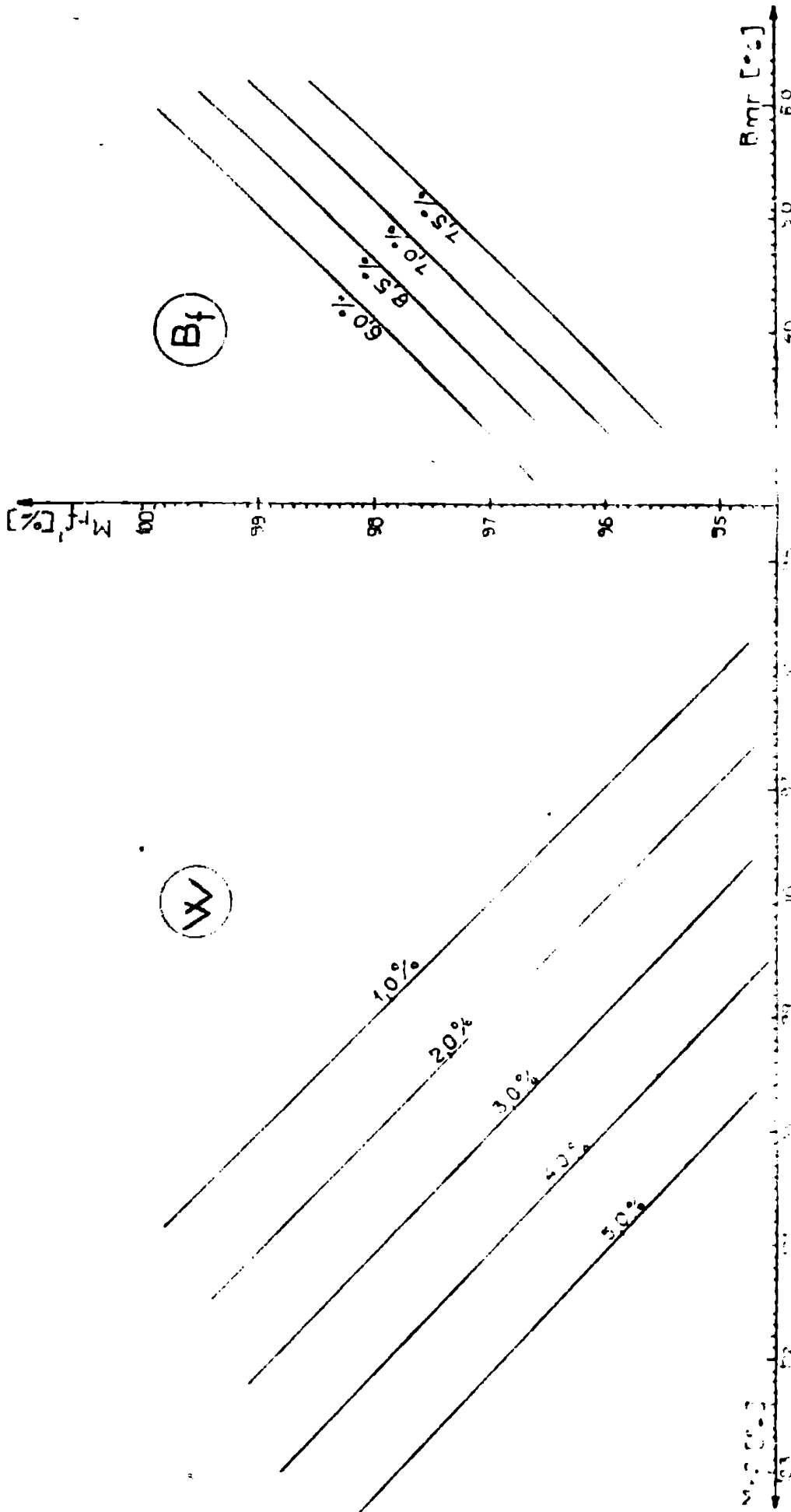


Fig. 4.15 Diagrama pentru ca este desigur de invidiat calitii recuperata

INSTITUTUL POLITEHNIC
 I. I. I. I. I.
 BIBLIOTECA CENTRALA

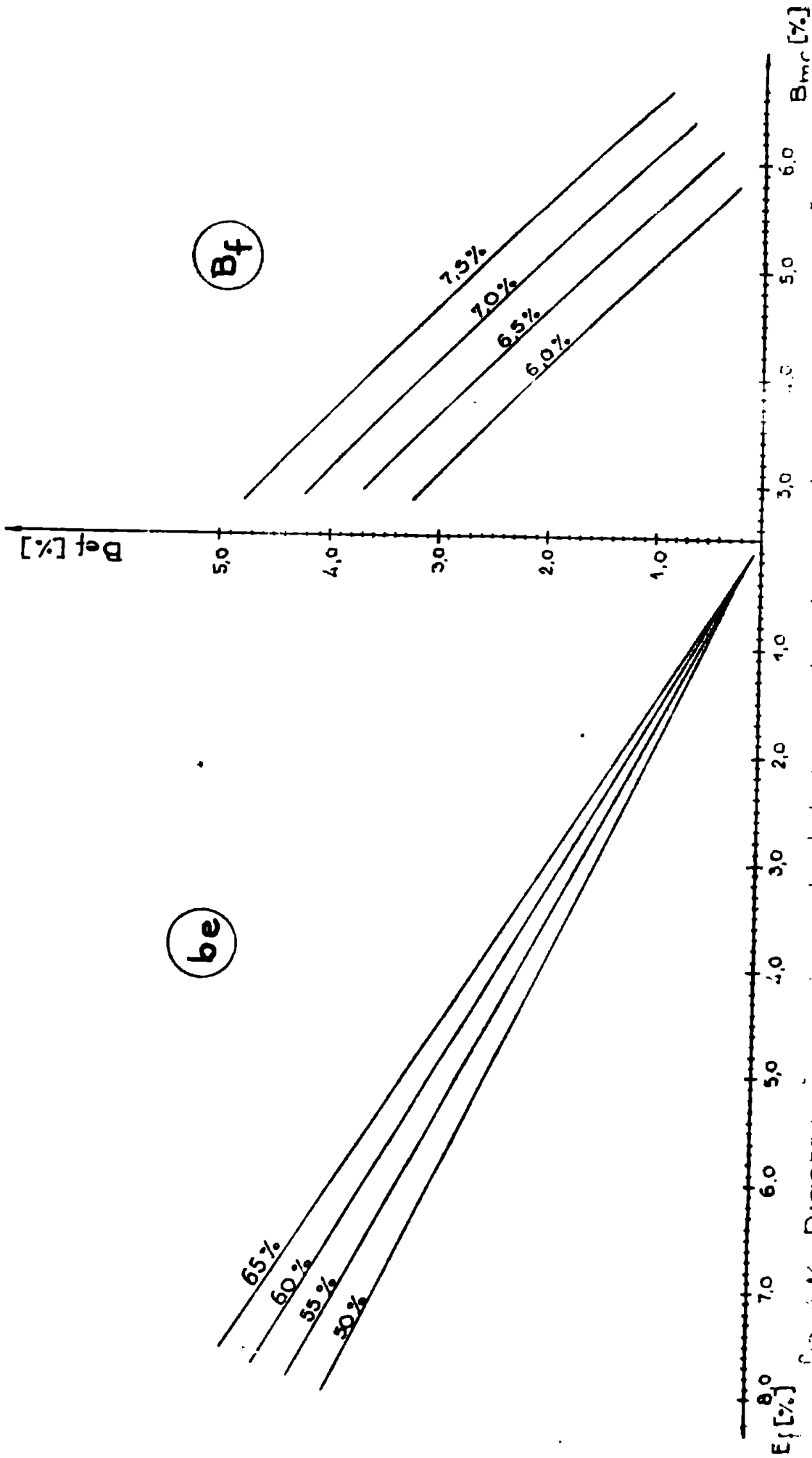


Fig. 4.14 Diagramă pentru calculul dozaşului de emulsie utilizată

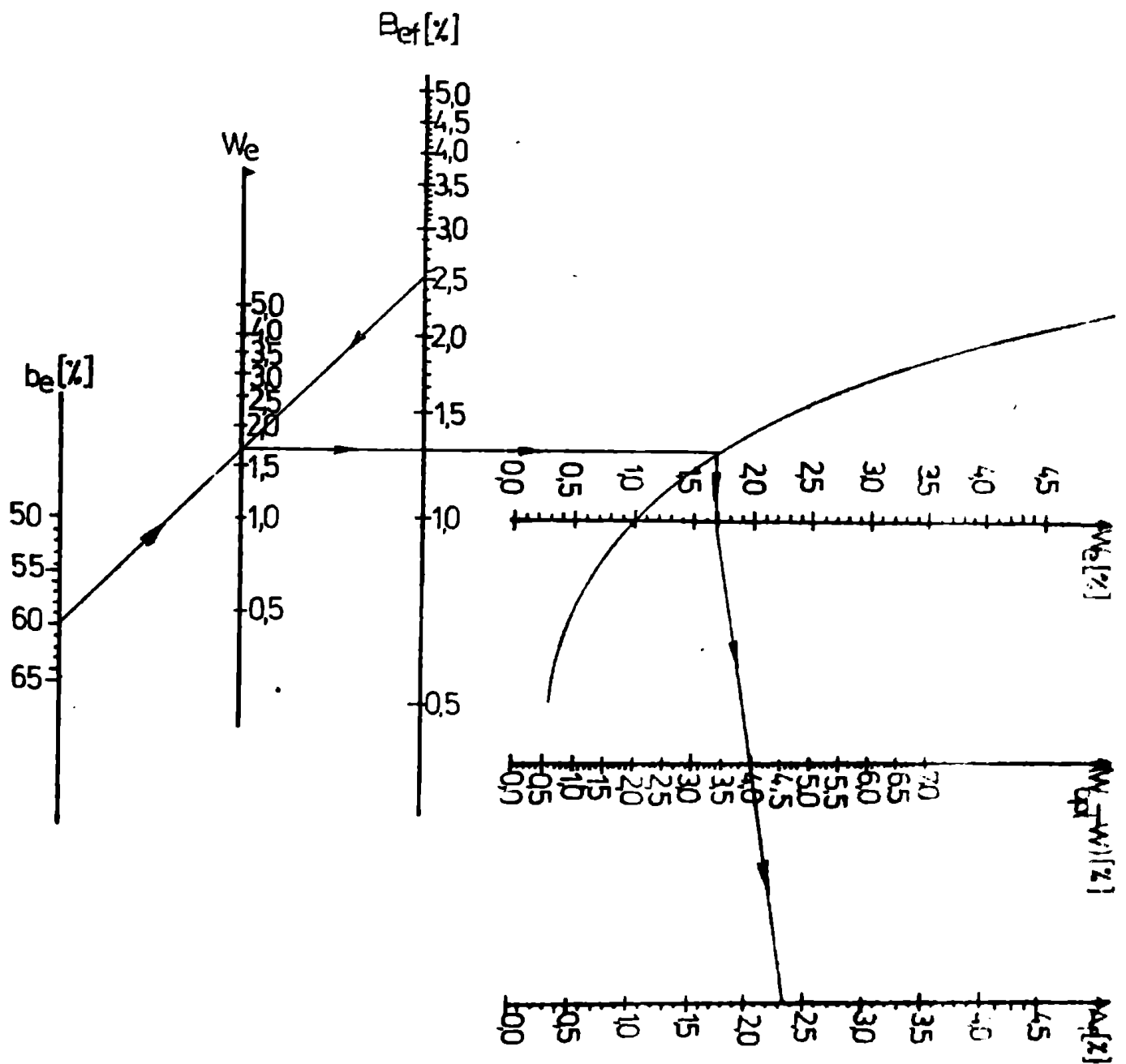


Fig.4.15 Nomogramă pentru determinarea dozajului de apă.

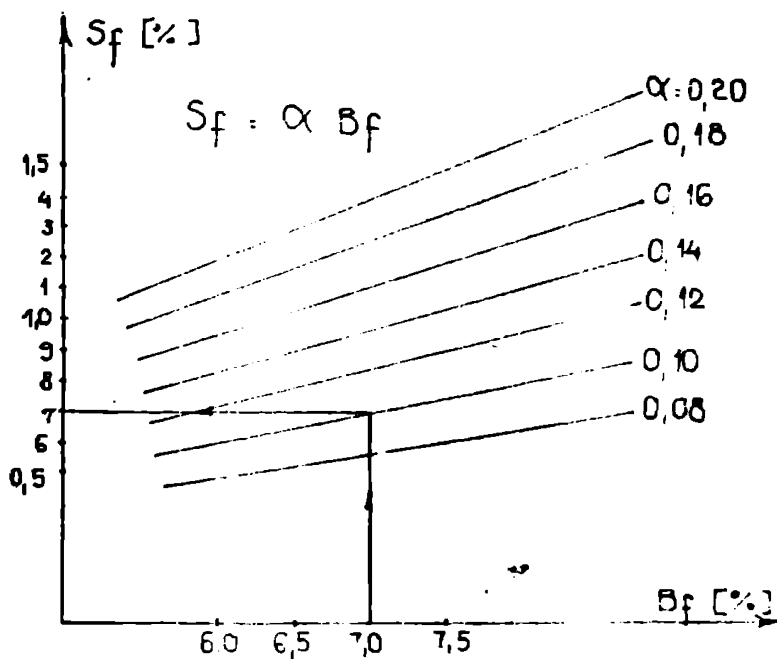


Fig.4.16. Diagramă pentru determinarea procentajului de solvent.

4.2.4.3. Tehnologia de preparare a mătării asfaltice tip "PLOMBAREC"

Mixtura asfaltică tip "PLOMBAREC" se poate prepara în atelier sau în locul de punere în operă dacă sunt asigurate condițiile necesare (materiale, utilajele, sursă de energie), conform schemei din fig.4.17.

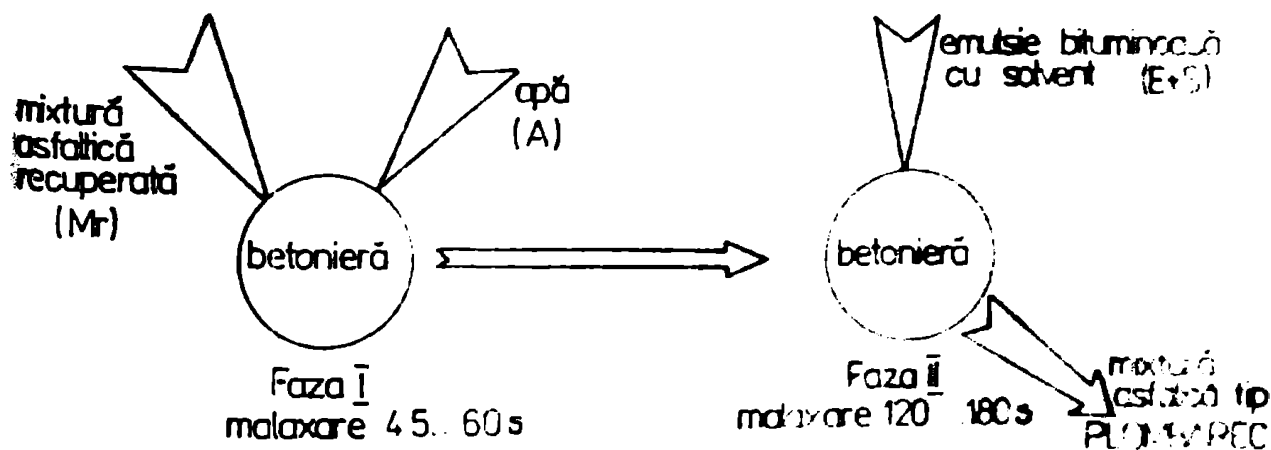


Fig.4.17. Schema tehnologică de preparare a mătării asfaltice tip "PLOMBAREC".

În prima fază se introduce în betonieră mixtura asfaltică recuperată, mărunțită corespunzător și apa de umectare, cele două componente amestecându-se circa 45...60 s pentru realizarea umezirii uniforme a întregului material. În continuare se introduce în betonieră emulsia bituminosă după ce în prealabil în masa acesteia a fost încorporat solventul. Se continuă amestecarea încă 120...180 s, până la obținerea unui amestec omogen. În fig. 4.18 se prezintă mixtura asfaltică mărunțită iar în fig. 4.19 un aspect din procesul tehnologic de preparare a mixturii asfaltice tip "PLOMBAREC".

Mixtura asfaltică obținută poate fi pusă în operă imediat, sau poate fi depozitată în saci de polietilenă închiși etanș, în vederea unei folosiri ulterioare.



Fig.4.18. Mixtură asfaltică recuperată pregătită pentru re folosire.

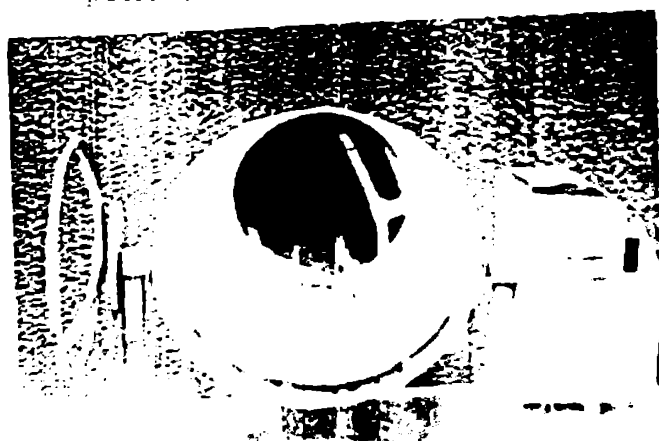


Fig.4.19. Aspect din procesul tehnologic de preparare a mixturii asfaltice tip "PLOMBAREC".

4.2.4.4. Punerea în operă a mixturii asfaltice tip "PLOMBAREC"

Mixtura asfaltică tip "PLOMBAREC" se folosește pentru executarea plombărilor la îmbrăcămințile rutiere. În principiu, tehnologia de efectuare a reparațiilor este cea clasică prevăzută de normative [130] cu unele particularități date de caracteristicile mixturii asfaltice tip "PLOMBAREC". Principalele etape ale procesului tehnologic sînt următoarele:

- . decaparea îmbrăcăminții degradate și pregătirea pentru completare cu mixtură asfaltică (curățire, amorsare) (fig. 4.20);
- . așternerea mixturii asfaltice tip "PLOMBAREC" (fig. 4.21);
- . compactarea mixturii asfaltice (fig. 4.22);
- . protejarea suprafeței plombei (fig. 4.23).

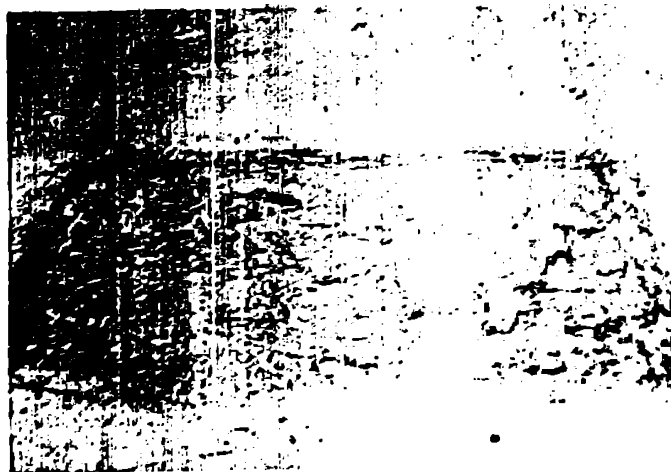


Fig. 4.20. Pregătirea reparației.



Fig. 4.21. Mixtura asfaltică așternută înainte de compactare.

În ceea ce privește așternerea și compactarea mixturii asfaltice tip "PLOMBAREC" trebuie avut în vedere faptul că aceasta se prepară și se pune în operă la rece. Concret, trebuie să se aibă în vedere următoarele aspecte:

- . la așternere trebuie să se țină seama de grosimea finală a stratului pe care dorim să o obținem. Astfel, grosimea mixturii asfaltice necompactate trebuie să fie cu 30...40% mai mare decât grosimea finală pe care dorim să o obținem;

- . compactarea trebuie efectuată în momentul apariției emulsiei sau cu puțin timp înainte, pentru ca mixtura asfaltică să aibă o anumită stabilitate pentru a suporta eforturile din compactare;

- . compactarea se face

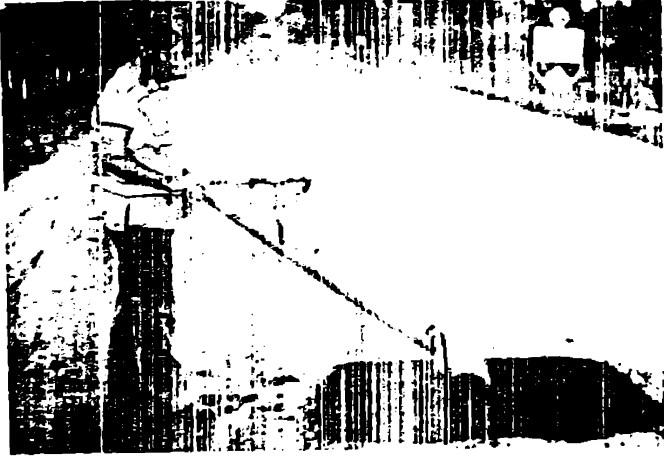


Fig. 4.22. Compactarea mixturii asfaltice.

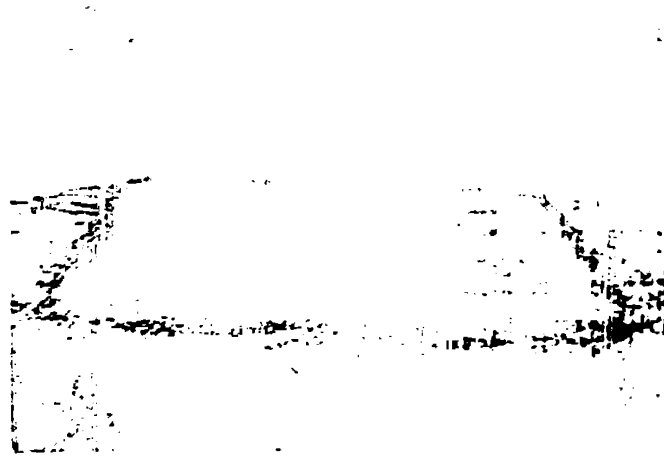


Fig. 4.23. Întoarcerea suprafeței.

fazei lichide se continuă prin procesul de evaporare a solventului, în funcție de condițiile de lucru în operă (temperatură, umiditate, grosimea stratului de asfaltic).

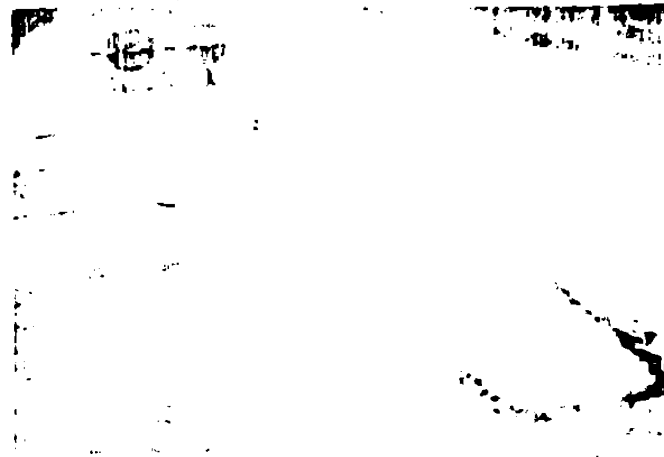


Fig. 4.24. Repararea defectuă cu mixtură asfaltică tip B.C. 10/20.

aplicării energiei electrice și mai mari decât în cazul mixturii asfaltice B.C. 10/20, evitându-se astfel fenomenul de postcompactare și de dilatare traumatică;

după compactarea nivelului suprafeței planșei de beton să fie cu circa 5% peste nivelul suprafeței în câștigul existent, asigurându-se astfel condițiile ulterioare de compactare și nivelare.

Operația de compactare se face cu utilajele speciale (compactoare cu role din cauciuc, role de dinț, plăci vibratorie etc.). Se aplică o cantitate de energie apă câștigul existent în timpul compactării, asigurându-se astfel condițiile de lucru optime.

În funcție de condițiile de lucru și temperaturi (de obicei între 10°C și 20°C) se aplică o cantitate de energie electrică care să asigure o protecție adecvată și să evite fenomenul de faccitate și de dilatare cu ulăp în timpul de compactare.

Factorul pe care se bazează operația de reparare (B.C. 10/20) este faptul că în timpul de lucru se aplică o cantitate de energie electrică care să asigure o protecție adecvată și să evite fenomenul de faccitate și de dilatare cu ulăp în timpul de compactare.

4.2.4.5. Influența factorilor de compoziție asupra calității mixturii asfaltice tip "PLOMBARE"

Pentru a stabili influența factorilor de compoziție asupra calității mixturii asfaltice tip "PLOMBARE", au fost executate în laborator o serie de încercări pe epruvete cubice cu latura de 70,7 mm (fig. 4.25). Avînd în vedere necesitatea compactării energice la punerea în operă a acestui tip de mixtură asfaltică, pentru compactarea epruvetelor s-a aplicat un număr de lovituri cu berbecul sonetei, corespunzător energiei de compactare specifică încercării Proctor modificat. Pentru calculul numărului de lovituri s-a utilizat formula 4.20.

$$L = \frac{mghn}{V}, \quad \left[\frac{\text{j}}{\text{cm}^3} \right] \quad (4.20)$$

în care:

- L este lucrul mecanic specific de compactare, în j/cm^3 ;
- m - masa maului, în kg;
- h - înălțimea de cădere a berbecului, în m;
- n - numărul de lovituri;
- V - volumul epruvetei, în cm^3 .

În condițiile lucrului mecanic specific de compactare corespunzător încercării Proctor modificat ($L = 1,7 \text{ j}/\text{cm}^3$) și ținînd seama de caracteristicile dispozitivului de preparat epruvete cubice din mixturi asfaltice ($m = 0,1 \text{ kg}$, $h = 1,0 \text{ m}$, $V = 1,0 \text{ cm}^3$) a rezultat ca necesar un număr de lovituri $n = 16$.

Încercările de laborator au avut drept scop următoarele aspecte:

- determinarea umidității optime de compactare, w_{opt} ;
- influența conținutului de apă asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale mixturii asfaltice tip "PLOMBARE";
- influența procentajului de solvent asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale mixturii asfaltice tip "PLOMBARE";
- variația în timp a caracteristicilor fizico-mecanice.

Determinarea umidității optime de compactare se face după mixtura asfaltică recuperată, pregătită corespunzător pentru încercarea mixturii asfaltice tip "PLOMBARE", prin încercarea Proctor modificat. În fig. 4.26 se dă o curbă Proctor din care se poate determina umiditatea optimă de compactare, corespunzătoare umidității în stare uscată maximă ($\rho_d \text{ max}$).

Valorile maxime obținute pentru umiditatea în stare uscată în cadrul încercărilor efectuate pe diverse tipuri de

turi asfaltice recuperate, cu conținut de bitum diferit și sunt diferențiate sensibil, ele variind în jurul a 19,0 kg/m³. În ceea ce privește umiditatea optimă de compactare, încercările efectuate au condus la obținerea unor valori cuprinse între 7... .

În laborator au fost preparate epruvete cubice cu conținut diferit de apă și de solvent pe care s-a determinat densitatea aparentă și rezistența la compresiune la 22 °C, după 7 zile, 14 zile și 28 zile păstrare în mediu ambiant. Se menționează că decofrarea epruvetelor s-a făcut imediat după compactare, pentru a da posibilitate solventului și apei să se evapore din masa materialului.

Referitor la conținutul de apă s-a constatat că acesta influențează densitatea mixturii asfaltice obținute, după cum s-a demonstrat și încercarea Proctor modificat (fig. 4.26). În ceea ce privește influența conținutului de apă asupra rezistenței la compresiune nu au fost obținute rezultate concludente, în primul rând datorită faptului că, practic este imposibil ca apa să se evapore în totalitate din masa epruvetei cubice și de asemenea datorită faptului că tehnologia de preparare a epruvetelor a fost cea prevăzută pentru mixturile asfaltice la cald, cu diferența că s-a aplicat o energie de compactare superioară.

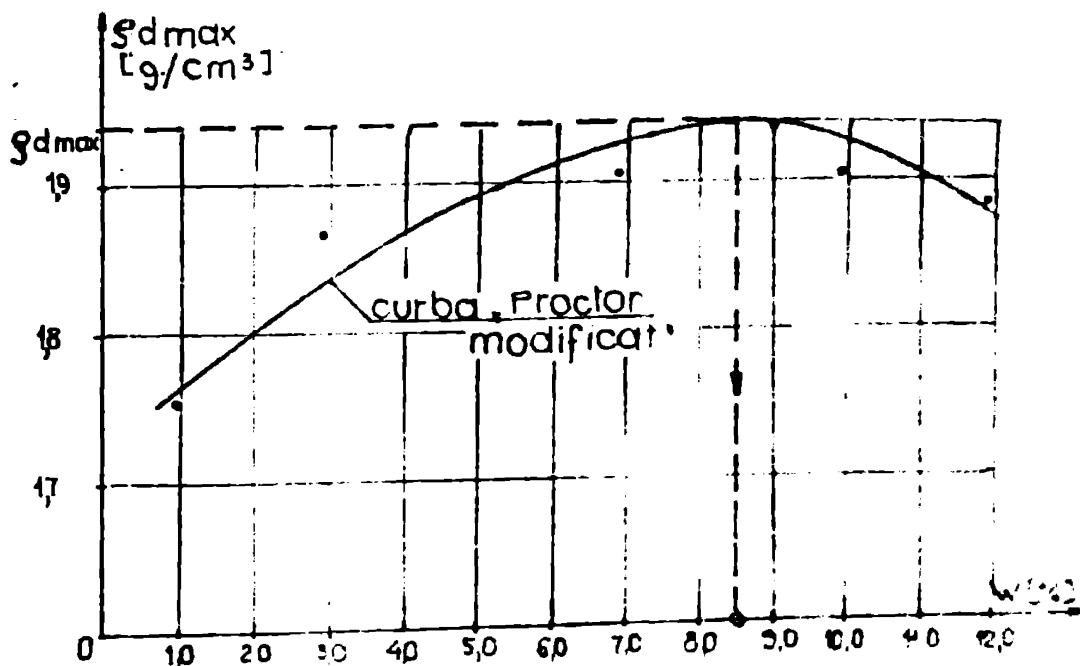


Fig. 4.26. Curba Proctor pentru amestare asfaltică recuperată.

Se menționează că instrucția privind metodologia de încercare a mixturilor asfaltice preparate la rece [12] a apărut ulterior efectuării încercărilor de laborator din cadrul acestui program.

În fig. 4.27, 4.28 și 4.29 se prezintă variația caracteristicilor fizico-mecanice în funcție de procentajul de solvent și de timpul după care s-a efectuat încercarea.

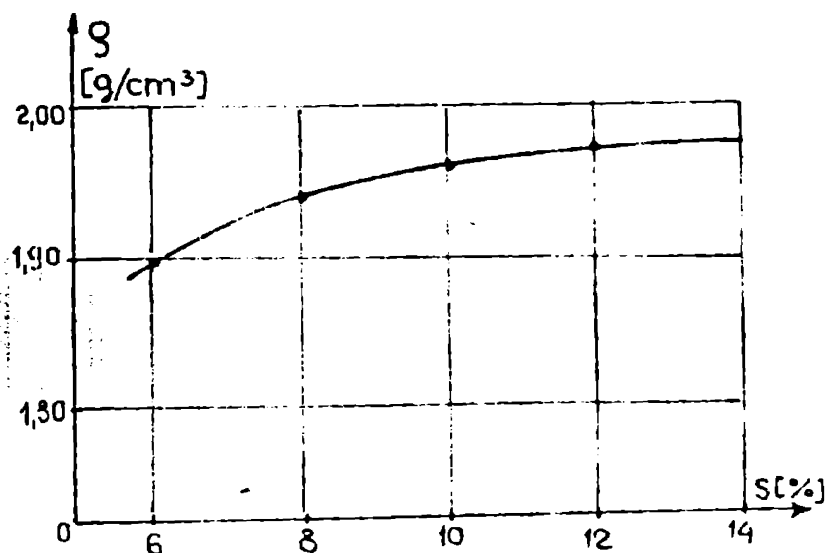


Fig. 4.27. Variația densității în funcție de procentajul de solvent.

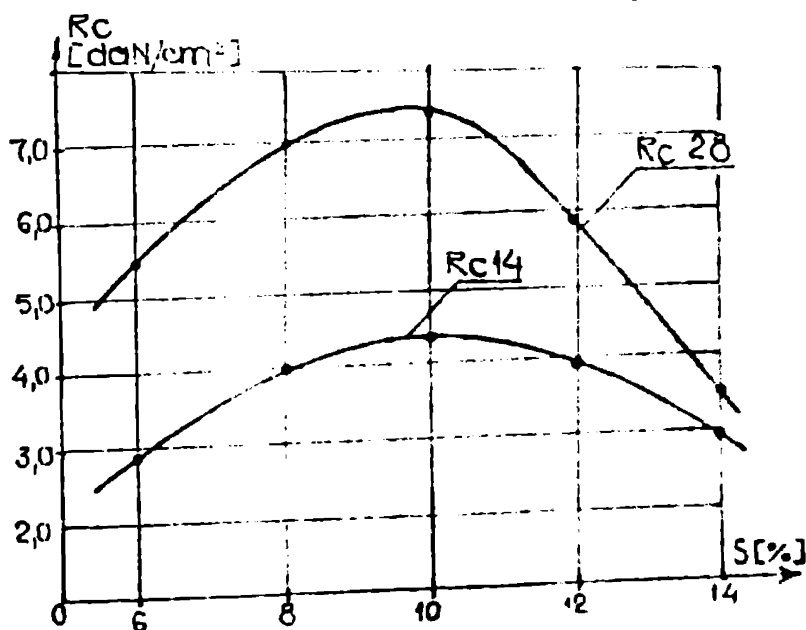


Fig. 4.28. Variația rezistenței la compresiune în funcție de procentajul de solvent.

Analizând rezultatele obținute se poate trage concluzia că procentajul optim de solvent variază în jurul valorii de 10%, raportat

la masa bitumului total din mixtura asfaltică tip "ILCHEM 12".

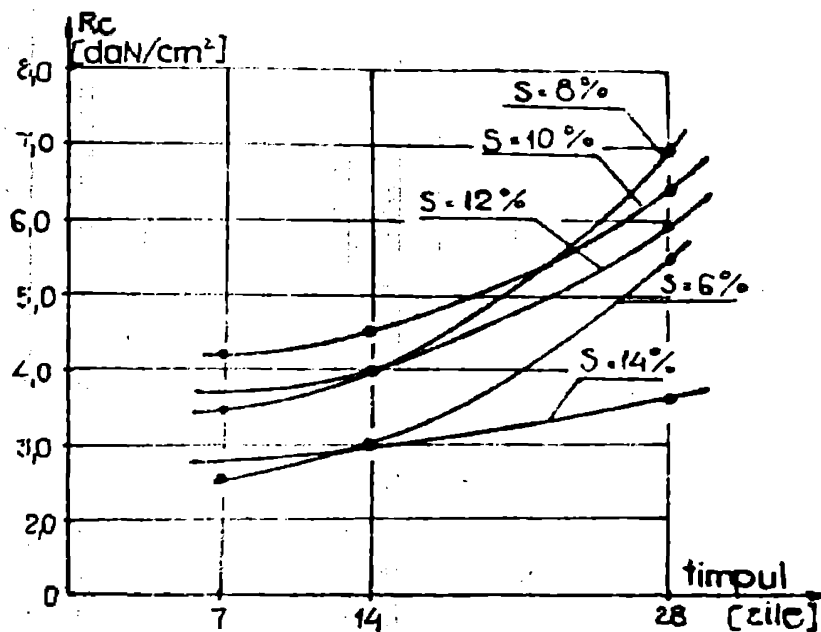


Fig. 4.29. Variația rezistenței la compresiune în timp pentru diferite procentaje de solvent.

Pentru dozaaje mai mari de solvent se remarcă nu numai o creștere neînsemnată sau chiar o aplatizare a curbei densității, ci și de-a lungul timpului o reducere considerabilă a rezistențelor la compresiune. Această reducere este justificată de caracterul plastic și de rezistență conferă mixturii asfaltice o cantitate prea mare de solvent.

În ceea ce privește variația în timp a rezistenței la compresiune, aceasta este deosebit de pronunțată și este datorată în mare măsură de procesul de creștere a stabilității mixturii prin evaporarea fenomenului de evaporare a apei și solventului.

Valorile reduse ale rezistențelor mecanice sunt datorate în mare măsură de nepotrivirea metodelor clasice de preparare și îndosărire a amestecurilor (pentru mixturi asfaltice la cald) cu acest tip de mixtura asfaltică. Valorile relative ale acestor caracteristici sunt în evidență foarte bine influența factorilor de compoziție și de calitate a mixturii asfaltice tip "ILCHEM 12". Comportamentul în condiții de exploatare, sub acțiunea traficului și factorilor climatici, a amestecurilor efectuate cu acest tip de mixtura asfaltică confirmă aceste concluzii.

4.2.4.6. Comportarea în exploatarea a mixturii asfaltice tip "ILCHEM 12"

Rezultatele bune obținute în laborator au determinat trecerea la aplicarea acestei tehnologii la prepararea mixturii asfaltice.

pentru efectuarea reparațiilor îmbrăcămintelor bituminos-pe unele sectoare de drumuri din cadrul DLP Timișoara și pe unele străzi din municipiul Timișoara în anul 1983. Astfel, a fost experimentată această tehnologie pentru prima dată pe DN 7 Timișoara - Săniocolau Mare, km 607+640 dr., 608+515 dr., 611+150 stg., 611+100 dr., 613+340 dr., DN 79 A km 34+200 - 34+300, pe străzile Oltul, Stadion și Siret. Mixtura asfaltică a fost preparată într-o betonieră obișnuită, cu amestec liber, cu capacitatea de 100 l și a fost pusă în operă conform tehnologiei prezentată la pct. 4.2.4.4. Reparațiile efectuate (fig. 4.24) s-au comportat foarte bine în exploatare, suportând în condiții bune sarcinile provenite din trafic. Examinarea vizuală a sectoarelor experimentale a atestat o stare foarte bună a acestora, pe parcursul exploatării neapărând defecțiuni. Pentru completarea informațiilor au fost prelevate probe de mixtură asfaltică folosită la efectuarea reparațiilor care au permis determinarea caracteristicilor fizico-mecanice și de compoziție în laborator. Rezultatele obținute sînt prezentate în tabelul 4.1. [83].

Tabelul 4.1.

Caracteristica	U.M.	Valori	
		carota I	carota II
Conținut de bitum	%	6,8	6,7
Densitate aparentă pe plăcuțe	g/cm ³	2,0	2,0
Absorbție de apă volumică	%	3,0	3,0
Rezistența la compresiune	N/mm ²		
. la 22 °C		5,5	5,5
. la 50 °C		2,4	2,4
Stabilitatea Marshall (S)	daN	1400	1300
Indice de fluaj (I)	mm	4,4	4,1
Raport S/I	daN/mm	313	314
Coefficient de termostabilitate	-	2,3	2,3

Analiza rezultatelor obținute atestă o bună comportare în exploatare a reparațiilor efectuate cu mixtură asfaltică "PIONBARFC", ceea ce recomandă aplicarea acestei tehnologii și în viitor în vedere și importanțele avantaje economice și energetice de folosire integrală a mixturii asfaltice recuperate în drumuri, printr-un procedeu simplu, ușor de aplicat și cu posibilități de utilizare la orice punct de lucru (teraziile sau districtele drumuri).

4.2.5. Refolosirea mixturilor asfaltice uzate, fără adăugarea de materiale, la execuția străzilor rutiere

În cazul fresării sau răbotării la cald a îmbrăcămintei bituminoase uzate, materialul rezultat are o temperatură suficient de ridicată încât poate fi refolosit la execuția unor străzi rutiere bituminoase. În funcție de caracteristicile mixturii asfaltice recuperate se stabilește și posibilitatea de reabilitare a acesteia. Având în vedere faptul că bitumul este în mare măsură îmbătrânit, iar scheletul mineral necorespunzător, mixtura asfaltică se refolosește pe drumurile secundare, cu trafic redus. Pentru a asigura punerea în operă în condiții corespunzătoare, înălțimea de transport nu trebuie să fie prea mare pentru a evita răcirărea mixturii asfaltice recuperate sub limita admisă pentru compactarea acesteia.

4.3. Eficiența economică și energetică a refolosirii mixturilor asfaltice recuperate din îmbrăcămintele bituminoase uzate

Problema eficienței economice și energetice a refolosirii mixturilor asfaltice rezultate din îmbrăcămintele bituminoase uzate a fost întotdeauna analizată cu profunzime de specialiști, având în vedere actuala criză energetică și de materii prime, precum și diminuarea fondurilor alocate sectorului rutier.

Calculul eficienței economice și energetice se face pornind de la ipoteza că prin tehnologiile clasice, respectiv prin tehnologiile care refolosesc mixturile asfaltice recuperate se realizează lucrări de calitate comparabilă, ceea ce conduce la durate de exploatare aproximativ egale.

În ceea ce privește tehnologiile de refolosire la locul locului a mixturilor asfaltice din îmbrăcămintele bituminoase uzate se poate afirma că acestea prezintă o eficiență economică și energetică puțin importantă de în caz la caz în funcție de tehnologia, utilajele de care se dispune, gradul de degradare al îmbrăcămintei etc. Dar, în toate cazurile se economisesc importante cantități de materiale granulare, respectiv lianți hidrocarbonați.

Eficiența refolosirii mixturilor asfaltice în contextul acesta poate determina și înălțimea sumei de cheltuielile, respectiv economiile de energie aferente producerii mixturii asfaltice cu lianți hidrocarbonați.

rial recuperat (inclusiv cele date de aprovizionarea materialelor), celelalte cheltuieli fiind comparabile în cele două cazuri. Referitor la utilizarea mixturilor asfaltice recuperate, parametrii care influențează eficiența folosirii acestora sînt:

- recuperarea mixturii asfaltice;
- transportul la șantier a mixturii asfaltice recuperate;
- concasarea mixturii asfaltice recuperate.

Din punct de vedere economic refolosirea mixturilor asfaltice în centrale este cu atât mai avantajoasă cu cît prețul agregatelor naturale și al bitumului este mai mare, cheltuielile de recuperare sînt mai reduse și transportul acestora este mai ieftin. Avînd în vedere și necesitatea utilizării unor mașini și utilaje speciale (freze, instalații de producere a mixturilor asfaltice recuperate, concasare de mixtură asfaltică) rezultă că se impune o analiză temeinică din punct de vedere economic și energetic înainte de a se trece la recuperarea mixturilor asfaltice din fabrică și din bituminoase uzate. În fig. 4.30 se prezintă o abacă [3] utilizată în Franța pentru stabilirea operativă a economiilor care sînt rezultate prin refolosirea mixturilor asfaltice. În funcție de chel-

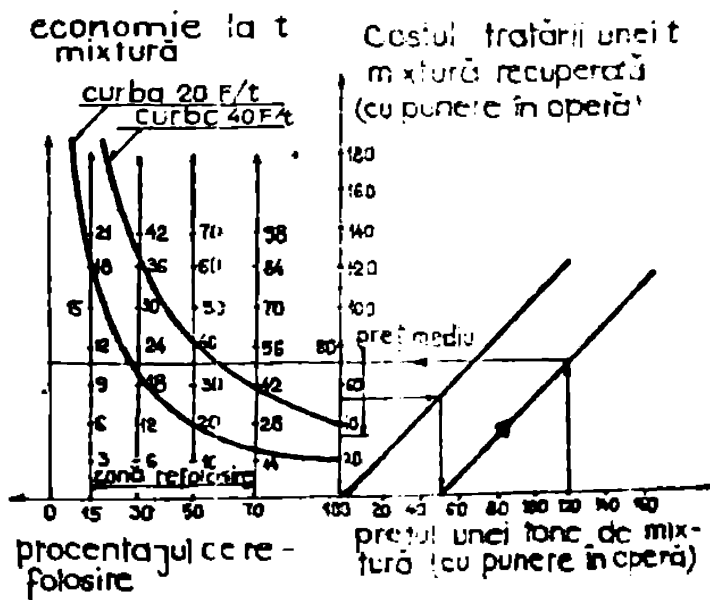


Fig. 4.30. Abacă pentru determinarea eficienței economice a refolosirii mixturilor asfaltice în centrale.

tuilele de producere a mixturii asfaltice recuperate și cheltuielile de recuperare și prelucrare a agregatelor asfaltice din fabrică și din bituminoase uzate, la un anumit procentaj de recuperare, se rezultă economiile care se realizează prin refolosirea mixturilor asfaltice.

Din punct de vedere al consumului de energie, în tabelul 4.2 se prezintă valoarea în therate (tth) energiei consumate la prepararea unei tone de mixtură asfaltică utilizată în

și material recuperat în diverse procente, în ipoteza consumării bitumului ca și material energointensiv, respectiv reziduului la distilarea țițeiului [3].

Tabelul 4.30.

Procentajul de refolosire		0	10	20	40	50	65
Bitum energointensiv	Consum de energie [th/t]	670	614	558	445	389	304
	Economie de energie [%]	0	8	17	34	42	55
Bitum reziduu	Consum de energie [th/t]	129	126	124	120	118	114
	Economie de energie [%]	0	2	3	7	8	11

Analizând datele din tabelul 4.30 rezultă că consumurile de energie sînt mult mai mari în cazul considerării bitumului ca și material energointensiv. Aceasta se explică prin ponderea mare pe care o are bitumul în consumul de energie aferent preparării mixturilor asfaltice, în raport cu celelalte materiale utilizate. Rezultă deci în mod evident că prin refolosirea mixturilor asfaltice se realizează importante economii de bitum (material deficitar) și reduceri ale consumului de energie.

În ceea ce privește refolosirea la rece "in situ" a amestecurilor asfaltice din fabricămiștile bituminoase uzate urmînd instalatii complexe, în tabelele 4.31 și 4.32 se dau consumurile energetice la tone de mixtură asfaltică preparată, respectiv la m² pentru diverse variante [11].

Tabelul 4.31.

Mixtura asfaltică	Consum energetic [th/t]	
	la cald	la rece
Anrobat bituminos	130	-
Anrobat bituminos	-	60
Beton asfaltic	145	-
Anrobat drenant	-	55
Refolosire la rece	-	50

Rezultă din aceste date că refolosirea la rece a amestecurilor asfaltice (în amestec cald sau rece) se realizează cu importante economii de energie comparativ cu tehnologia obișnuită de preparare.

La noi în țară, în momentul de față există posibilitatea de refolosire a amestecurilor asfaltice din fabricămiștile bituminoase uzate în următoarele variante:

- refolosirea la prepararea amestecurilor asfaltice în instalatiile electrice adaptat [12]
- refolosirea la rece pentru repararea înlocuirii și pentru reparații tip "cambria" [13]

... refolosirea la prepararea mixturilor asfaltice pentru reparații la cald prin regenerare cu nisip bituminos [129].

Tabelul 4.32.

Mixtura asfaltică	kg/m ²	Consum energetic [th/m ²]	
		la cald	la rece
Beton asfaltic	100	14	-
Termoregenerare	40	12	-
Anrobat bituminos	100	-	6
Anrobat drenant	80	-	5,5
Refolosire la rece	100	-	5

Mixtura asfaltică recuperată poate să provină din decaparea îmbrăcămintilor bituminoase la renforșarea complexelor rutiere nerigide cu îmbrăcăminți din beton de ciment sau de la decaparea unor porțiuni din îmbrăcăminte cu ocazia efectuării reparațiilor curente sau a unor lucrări care impun decaparea îmbrăcămintei. În general, pentru calculul eficienței economice și energetice, comparativ cu tehnologiile clasice de producere a mixturilor asfaltice s-a luat în considerare următoarele operații:

- decaparea îmbrăcămintei bituminoase existente (desfășurare, adunare în cordon, încălzire în mijloacele de transport);
- transport la șantier;
- prelucrarea mixturii asfaltice recuperate prin făcându-se la dimensiuni adecvate reolosirii;
- nivelarea și compactarea platformei părții care s-a decapată după decapare în vederea execuției dalei de beton de ciment;
- prepararea mixturii asfaltice utilizând materialul rezultat din decapare.

În funcție de tehnologia aplicată pentru refolosire, una sau mai multe dintre operațiile menționate pot să lipsească. De exemplu în cazul decapărilor efectuate cu ocazia reparațiilor sau intervențiilor nu s-a luat în considerare în calculul economic și energetic operația de decapare pentru că aceasta oricum trebuie efectuată indiferent dacă materialul rezultat se refolosește sau nu.

De asemenea se menționează că pentru efectuarea celor mai economice și energetice s-au utilizat normele de deviere de la tehnologii noi (în unele cazuri adaptări impuse de noile tehnologii) în funcție de dotarea cu utilități posibil să fi realizat.

4.3.1. eficiența refolosirii la cald în centrale
mixturilor asfaltice recuperate la rășină
complexelor rutiere neasfaltate cu lubrifiere
din beton de ciment

Calculule de eficiență s-au efectuat referitor la economiile bănești, respectiv economiile de energie care rezultă din recuperarea unei tone de mixtură asfaltică.

Pentru calculul economiilor bănești s-a utilizat relația:

$$\Delta C_c = \Delta C_{pc} - C_r \quad (1.3)$$

în care:

ΔC_c sînt economiile realizate prin reutilizarea mixturii asfaltice la cald, în centrale, în lei/t;

ΔC_{pc} - diferența cheltuielilor la prepararea mixturii asfaltice cu și fără mixtură recuperată, în lei/t;

C_r - cheltuielile de recuperare a mixturii asfaltice, în lei/t.

Pentru calculul economiei de energie s-a aplicat relația:

$$\Delta E_c = \Delta E_{pc} - E_r \quad (1.4)$$

în care:

ΔE_c sînt economiile de energie realizate prin reutilizarea mixturii asfaltice la cald, în centrale, în kwh/t;

ΔE_{pc} - diferența consumului de energie la prepararea mixturii asfaltice cu și fără mixtură recuperată, în kwh/t;

E_r - consumul de energie la recuperarea mixturii asfaltice, în kwh/t.

În calcule s-a considerat că mixtura asfaltică recuperată are un conținut de bitum mediu de 4%, procentajul de recicloare fiind de 20% raportat la masa mixturii asfaltice noi. Cei doi parametri variabili au fost luați în considerare grosimea straturilor bituminoase existente și distanța de transport de la locul de recuperare la șantiierul unde are loc instalația de preparare a mixturii asfaltice. La recuperare, s-au avut în vedere și costurile pierderi de material, prin introducerea unui coeficient de recuperare de 80%.

La recuperarea mixturii asfaltice din fabrică s-a utilizat

noasă existentă au fost prevăzute următoarele activități:

- scarificarea îmbrăcămintei bituminose cu buldozerul pe senile;
- adunarea materialului în cordon;
- încărcarea în mijlocul de transport;
- transportul la pantierul de preparare a mixturii asfaltice;
- pregătirea platformei pentru execuția dalei din beton de ciment (nivelare, strat de balast de 5 cm, compactare).

Având în vedere influența grosimii îmbrăcămintei asupra cantității de mixtură recuperată, aceasta s-a considerat variabilă. Pentru a putea exprima costul transportului în funcție de distanță printr-o relație matematică s-a efectuat o analiză de regresie statistică prin metoda celor mai mici pătrate [5], ținându-se seama de prețurile corespunzătoare diferitelor distanțe, prevăzute de normativele în vigoare, obținându-se în final relația:

$$C_t = 7 + 1,95 D, \quad [101/t] \quad (4.30)$$

în care:

- C_t - cheltuielile de transport cu autobasculantele ...
- 7 t, corespunzătoare unei tone de material, ... [101/t];
- D - distanța de transport, în km.

La prepararea mixturii asfaltice cu și fără mixtură recuperată s-au avut în vedere următoarele activități:

- pregătirea mixturii asfaltice recuperate (mărunțirea și dimensiuni corespunzătoare);
- prepararea mixturii asfaltice în instalații LIX;
- prepararea mixturii asfaltice în instalații cu dozaj automat pentru a permite refolosirea mixturii asfaltice.

S-a avut în vedere un procentaj mediu de refolosire de 17,2%, ceea ce înseamnă că o tonă de mixtură recuperată se utilizează la prepararea a 5 t mixtură asfaltică nouă.

În urma calculelor efectuate s-a obținut relația:

$$\Delta C_c = 180 - \frac{172}{h} - 1,95 L, \quad [101/t] \quad (4.31)$$

în care notațiile sînt cele prezentate anterior, h fiind grosimea îmbrăcămintei bituminose existente, exprimată în cm.

Pentru efectuarea unor calcule operative, relația (4.31) a fost transpusă într-o nomogramă (fig. 4.31).

Pentru consumul de energie a fost obținută relația (4.32) care a fost transpusă în nomograma din fig. 4.32.

$$\Delta L_c = 941 - \frac{111}{k} - 0,9 L \quad [\text{cm/t}] \quad (4.3.1)$$

La stabilirea eficienței finale a refolosirii mixturilor asfaltice trebuie luat în considerare și eventualul surplus de grosime necesar pentru dala din beton de ciment care poate să rezulte în ipoteza decapării îmbrăcămintei bituminoase existente. Pentru aceasta trebuie efectuat, de la caz la caz, calculul de dimensionare ținând seama de solicitările din trafic, variații de temperatură și de ceilalți factori prevăzuți în instrucțiuni [47], precum și de gradul de degradare al îmbrăcămintei bituminoase existente.

4.3.2. Eficiența economică și energetică a reciclării
mixturilor asfaltice la rece prin tehnologia
"PLOMBAREC"

Prin tehnologia "PLOMBAREC" se pot refolosi atât mixturile asfaltice recuperate la ranforsarea complexelor rutiere asfalgide cu îmbrăcăminți din beton de ciment, cât și mixturile asfaltice rezultate la decaparea îmbrăcămintei bituminoase ca urmare efectuării reparațiilor sau a altor lucrări care impun decaparea. Relațiile generale utilizate în calculul eficienței sunt:

$$\Delta L_r = \Delta L_{pr} - C_r \quad [\text{cm/t}] \quad (4.3.2)$$

$$\Delta E_r = \Delta E_{pr} - E_r \quad [\text{kWh/t}] \quad (4.3.3)$$

în care:

ΔL_r - economiile realizate prin refolosirea
mixturilor asfaltice prin tehnologia "PLOMBAREC";

ΔE_r - economia de energie realizată prin refolosirea
la rece a mixturilor asfaltice prin tehnologia
"PLOMBAREC";

ΔL_{pr} - diferența cheltuielilor la prepararea
asfaltice stocabile și a mixturii asfaltice
prin tehnologia "PLOMBAREC";

ΔE_{pr} - diferența consumului de energie la
asfaltice stocabile și a mixturii asfaltice
prin tehnologia "PLOMBAREC".

Diferența cheltuielilor (ΔL_{pr}), respectiv
de energie (ΔE_{pr}) la prepararea
a mixturii asfaltice prin tehnologia "PLOMBAREC".

derare următoarele activități:

- pregătirea mixturii asfaltice recuperate (mărunțirea la dimensiuni corespunzătoare);
- prepararea mixturii asfaltice stocabile;
- prepararea mixturii asfaltice tip "PLOMBAJ".

În cazul utilizării mixturilor asfaltice rezultate din decuparea îmbrăcămintelor bituminoase la ranforsarea complexelor rutiere nerigide cu îmbrăcămintă din beton de ciment s-au obținut următoarele relații:

$$\Delta C_R = 200 - \frac{172}{h} = 1,95 D, \quad [\text{lei/t}] \quad (4.33)$$

$$\Delta E_R = 800 - \frac{213}{h} = 0,9 D, \quad [\text{kwh/t}] \quad (4.34)$$

Cu ajutorul nomogramelor din fig. 4.33 și 4.34 se poate efectua operativ calculul grafic al eficienței.

Dacă la prepararea mixturii asfaltice tip "PLOMBAJ" se folosește mixtură asfaltică rezultată la decuparea îmbrăcămintei bituminoase cu ocazia reparațiilor, cheltuielile, respectiv consumul de energie, la recuperare sînt nule. În această împrejurare se realizează economii în valoare de cca 212 lei/t și o reducere a consumului de energie cu cca 800 kwh/t mixtură asfaltică. În paralel se obțin importante economii de materiale, așa cum rezultă din tabelul 4.33.

Tabelul 4.33

Material	Consum în kg		Economii	
	mixtură asfaltică	PLOMBAJ	Valoare [lei/t]	[%]
criblură	485	-	485	100
filer	120	-	120	100
nisip concasaj	370	-	370	100
bitum				
• D 80-120	60,2	-	60,2	100
• din emulsie bituminoasă	-	27	-	-
var	7,3	-	7,3	100
petrosin	25,4	6,5	18,9	75
motorină	37,5	-	37,5	100

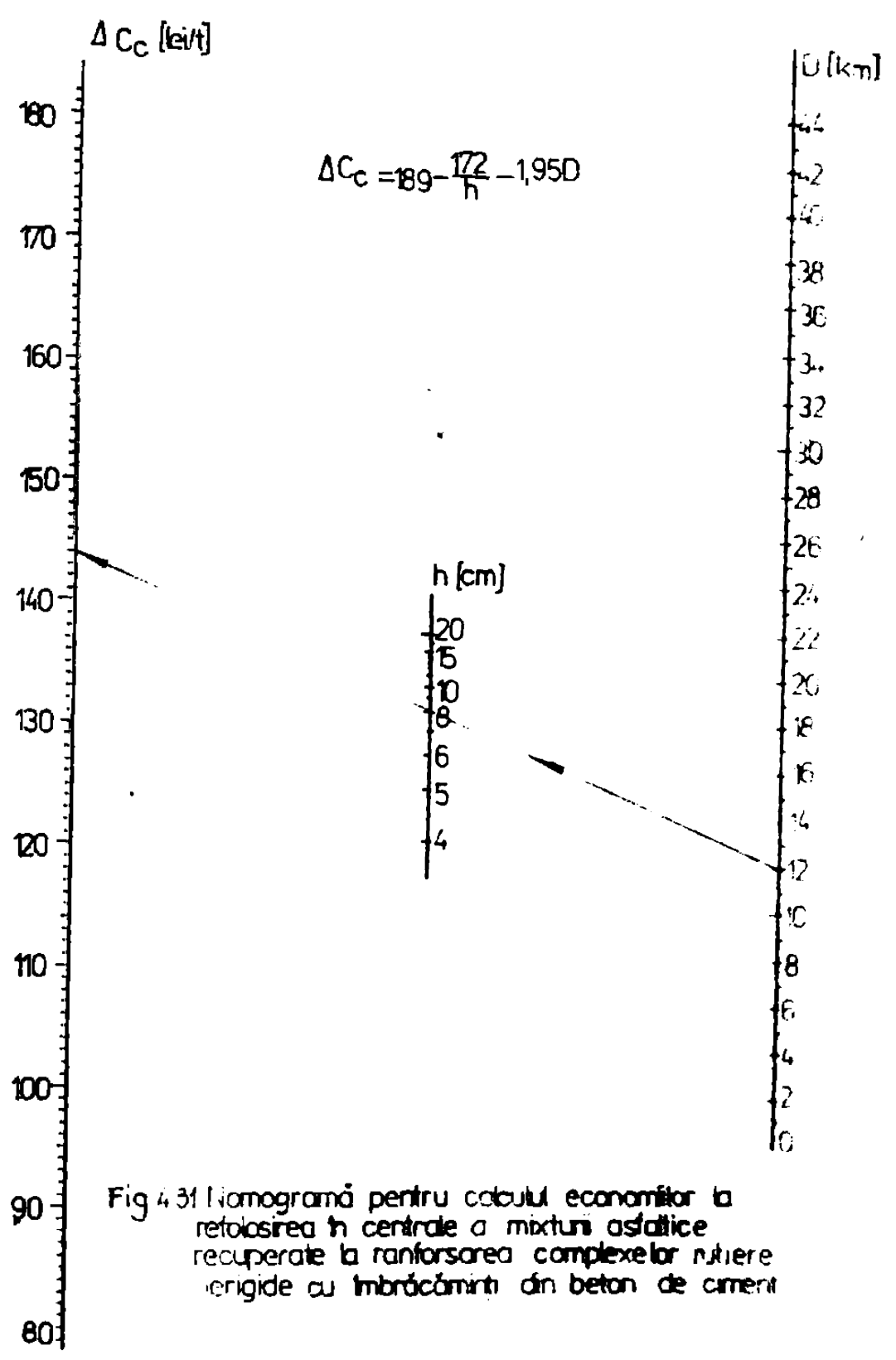


Fig 4.31 Nomogramă pentru calculul economiilor la re folosirea în centrale a mixturii asfaltice recuperate la ranforsarea complexelor rutiere rigide cu îmbrăcăminti din beton de ciment

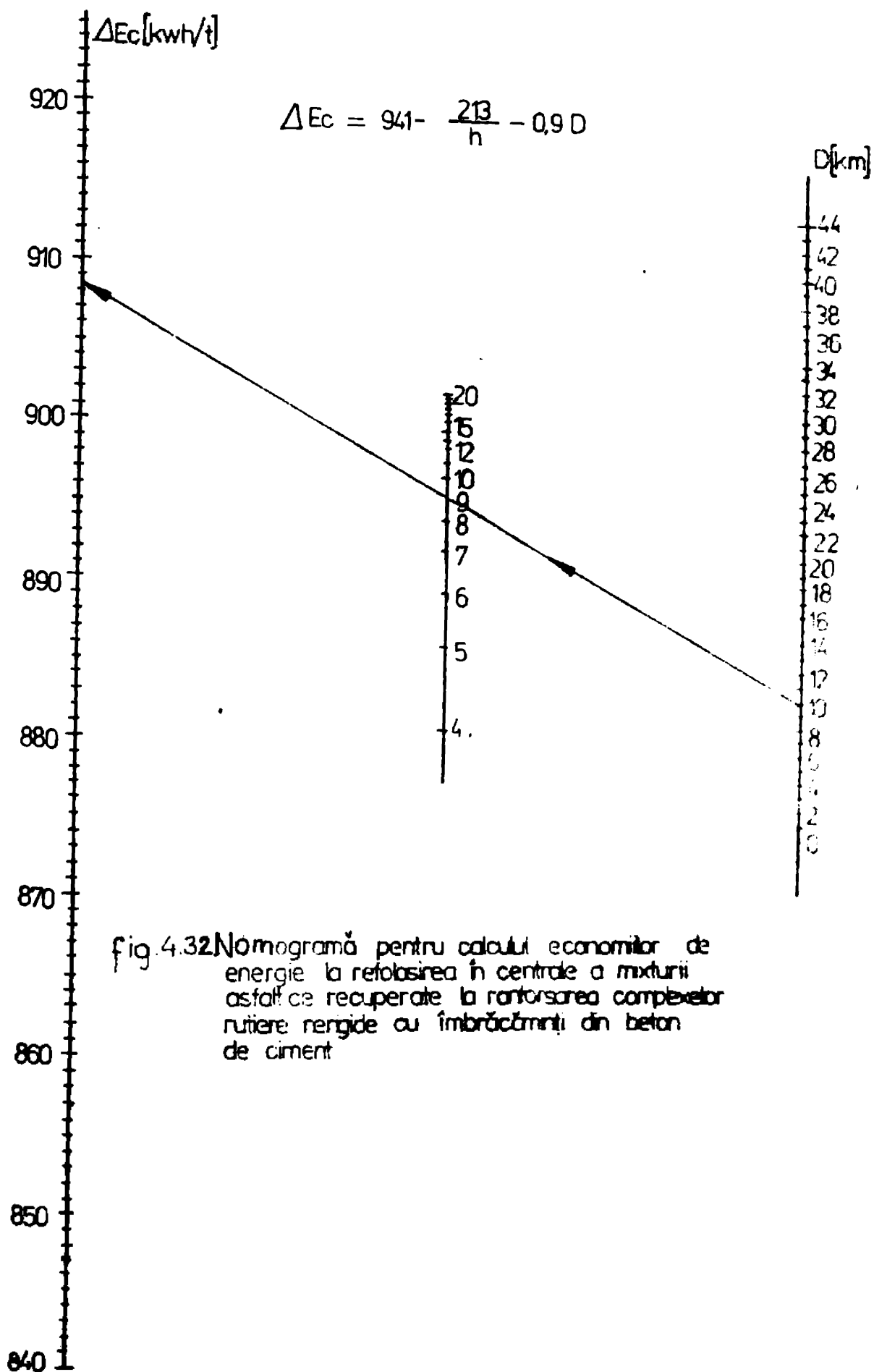


fig.4.32 Nomogramă pentru calculul economiilor de energie la refolosirea în centrale a mixturii asfaltice recuperate la rãntorsarea complexelor rutiere rëngide cu îmbrãcãmîti din beton de ciment

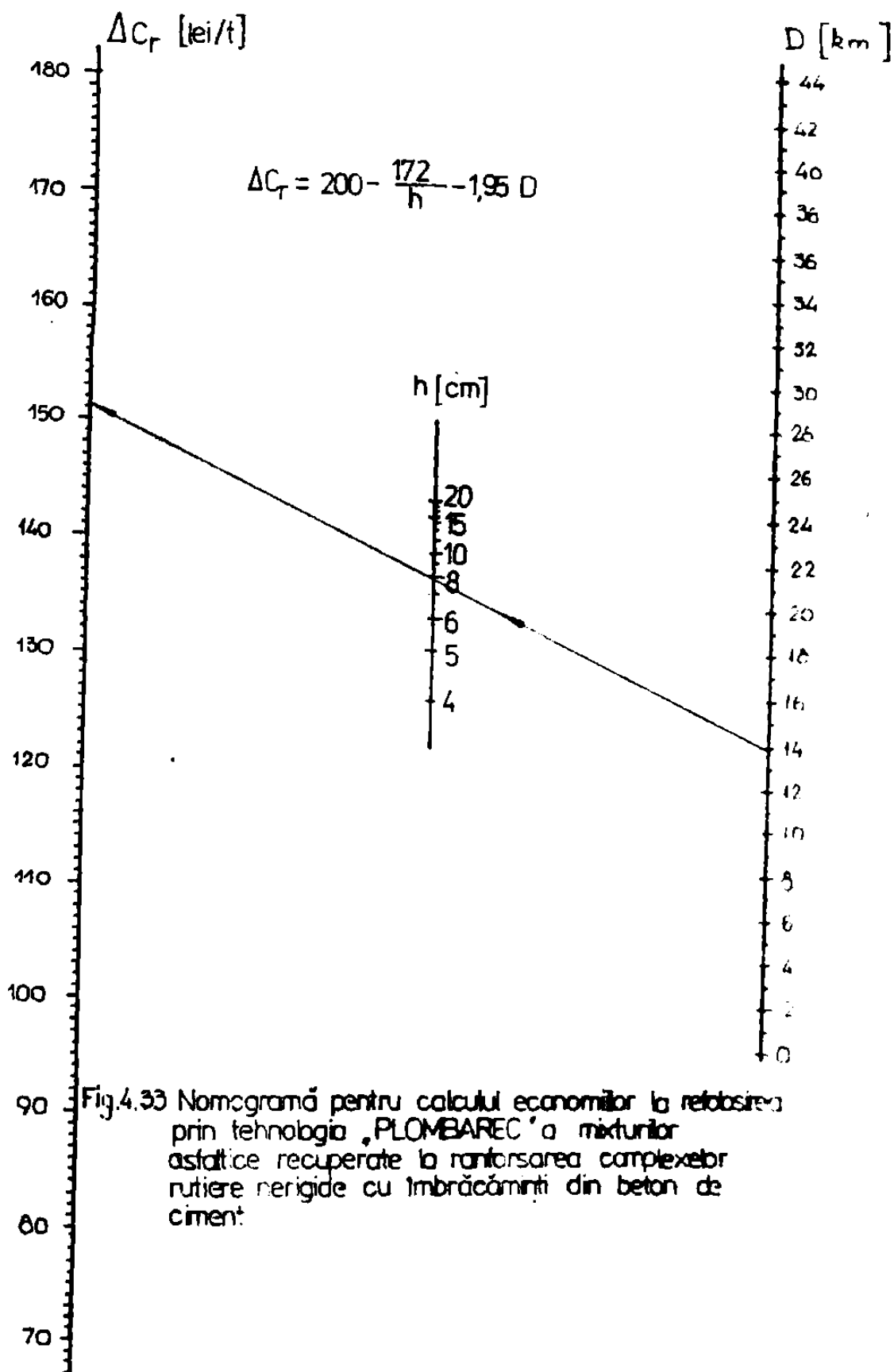


Fig.4.33 Nomogramă pentru calculul economiilor la reabilitarea prin tehnologia „PLOBAREC” a mixturilor asfaltice recuperate la rânforsarea complexelor rutiere rigide cu îmbrăcămînti din beton de ciment.

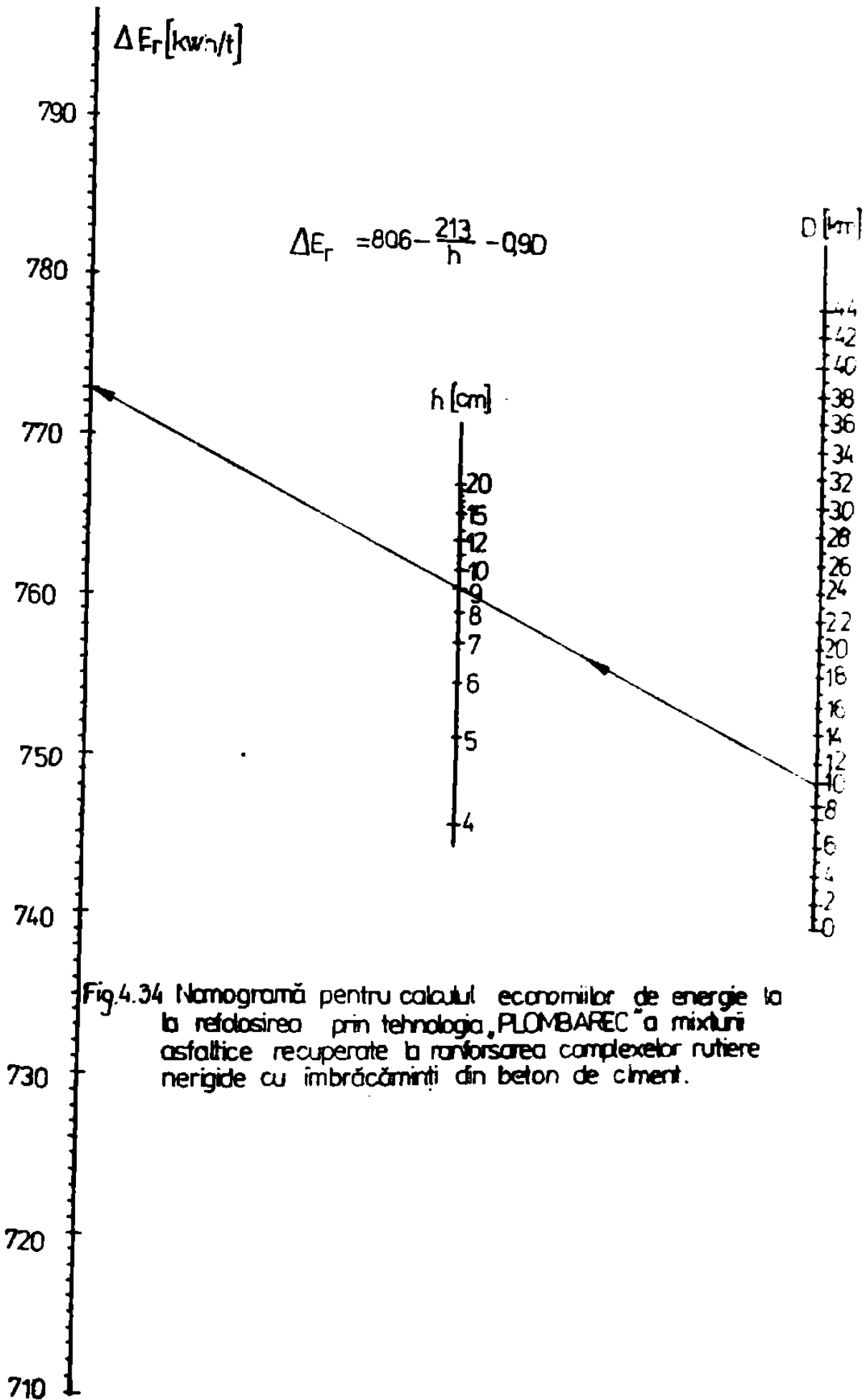


Fig.4.34 Nomogramă pentru calculul economiilor de energie la reafosirea prin tehnologia PLOMBAREC a mixturii asfaltice recuperate la renovarea complexelor rutiere nerigide cu îmbrăcăminti din beton de ciment.

În tabelul 4.33 sînt date valorile unui coeficient de elasticitate al unei mixturi asfaltice recuperate cu conținut de bitum. În tabelul 4.34 de 4% și a unui conținut final de bitum. În mixtura tipică conținutul de bitum este de 6,5%. De la caz la caz se pot efectua calcule exacte pentru determinarea de parametrii caracteristici.

4.4. Concluzii și propuneri

Actuala conjunctură economică, marcată profund de criza mondială de energie a determinat specialiștii din numeroase sectoare de activitate să-și orienteze preocupările în direcția cercetării unor tehnologii eficiente, cu consum redus de energie, utilizării materialelor cu energie înglobată minimă, a valorificării deșeurilor și subproduselor industriale. În acest context cercetările din sectorul rutier în domeniul refolosirii mixturilor asfaltice din îmbrăcămintă bituminosă uzate sînt deosebit de actuale și importante.

Studiile documentare, precum și cercetările proprii efectuate și prezentate în cadrul acestui cartou permit formularea următoarelor concluzii și propuneri:

• mixturile asfaltice din care se realizează îmbrăcămintă bituminosă sînt materiale de construcție cu consum ridicat de energie, care prezintă o comportare reală, nefiind în măsură să prezinte caracteristicile în timpul exploatării. Pentru prepararea lor sînt necesare materiale deficitare (agregate naturale, filer și bitum) și echipamente scumpe și au un conținut ridicat de energie înglobată;

• studiile și cercetările au demonstrat că mixturile asfaltice îmbătrînite, provenite din îmbrăcămintă bituminosă uzată pot fi refolosite la construcția și întreținerea drumurilor;

• pentru refolosirea mixturilor asfaltice s-au dezvoltat o serie de tehnologii, la cald sau la rece, cu sau fără adăugarea de materiale noi care permit alegerea soluției optime în funcție de condițiile existente;

• pe lângă avantajele economice și energetice ale refolosirii mixturilor asfaltice, acțiunea vine și în folosul protecției mediului în situații în care mixturile asfaltice se constituie în deșuri rezultate în activitatea de întreținere a drumurilor;

• creșterea continuă a prețului bitumului și, în unele cazuri, al agregatelor naturale face competitivă recuperarea mixturilor asfaltice și utilizarea acestora în procesul tehnologic de

preparare a unor noi mixturi asfaltice;

. în multe țări tehnologiile de refolosire a mixturilor asfaltice se află în fază de experimentare;

. mixturile asfaltice preparate prin refolosirea celor provenite din înbrăcămintăile bituminoase uzate pot fi utilizate la execuția oricărui tip de strat al sistemului rutier;

. pentru refolosirea mixturilor asfaltice se utilizează o gamă mare de utilaje și instalații, mai mult sau mai puțin complexe;

. în general, utilajele de refolosire la fața locului a mixturilor asfaltice sînt foarte complexe și necesită investiții mari pentru procurare;

. utilizarea instalațiilor cu uscător-melaxor permite realizarea unor importante economii de energie prin reducerea temperaturilor de lucru și, în același timp, creșterea procentajului de refolosire;

. unele tehnologii de refolosire (termoprofilarea, termoregenerarea) se pot aplica în condiții foarte bune în localitățile urbane unde se impune păstrarea cotei înbrăcămintei existente;

. tehnologiile care permit menținerea cotei suprafeței de rulare se recomandă și pentru aplicarea pe rectoare de necesitățile de refolosire a mixturilor asfaltice și necesită tratarea parțială pe lățimea părții carosabile și suplimentară pentru vehiculele lente, de exemplu);

. la renforșarea complexelor rutiere rigoide sau din beton de ciment, recuperarea înbrăcămintei bituminoase este efectuată în vederea unei refolosiri a mixturii asfaltice existente, eficiența acestei lucrări depinzînd de situație;

. cercetările proprii întreprinse în direcția refolosirii mixturilor asfaltice au avut drept scop elaborarea unor tehnologii simple, care să necesite dotări minime; astfel s-a elaborat procedeul "PLOMBAREC" de refolosire a mixturilor asfaltice.

Tehnologia de refolosire a mixturilor asfaltice prin procedeul "PLOMBAREC" a fost elaborată în anul 1968 și a constituit obiectul unei invenții brevetată de C.C.I.M. cu nr. 87776/11. Această tehnologie a fost aplicată cu rezultate bune în cadrul S.I.I. și precum și în activitatea unor direcții de drumuri județene: Arad, Giurgiu, Vaslui, Mergu Mureș, Bihor, Caraș-Severin, Vâlcea, Sălaj etc.

Dintre avantajele acestei tehnologii se menționează:

. permite refolosirea integrală a mixturilor asfaltice rezultate

tate din decaparea îmbrăcămintei bituminoase cu ocazia reparațiilor curente, a unor intervenții la instalațiile amplasate sub partea carosabilă sau a recuperării acesteia la ranforsarea complexelor rutiere nerigide cu îmbrăcăminți din beton de ciment;

. prepararea mixturii asfaltice pentru reparații prin tehnologia "PLOMBAREC", utilizând materialul rezultat din decaparea îmbrăcămintelor bituminoase nu necesită dotări deosebite, utilajele necesare putându-se procura ușor, cu cheltuieli reduse. În aceste condiții tehnologia poate fi aplicată fără probleme la nivelul unui district de drumuri;

. tehnologia permite prepararea "la rece" a mixturilor asfaltice pentru reparații, cu un consum redus de energie;

. mixtura asfaltică rezultată poate fi utilizată imediat la efectuarea reparațiilor sau poate fi stocată în vederea unei utilizări ulterioare, după necesități;

. tehnologia "PLOMBAREC" poate fi aplicată în orice perioadă a anului, fiind deosebit de utilă mai ales în perioadele de iarnă în care instalațiile de producere a mixturilor asfaltice la cald nu lucrează;

. comportarea în exploatare a reparațiilor efectuate cu mixtură asfaltică tip "PLOMBAREC" este foarte bună, neobservându-se diferențe față de lucrările executate cu mixtură asfaltică la cald sau cu mixtură asfaltică stocabilă;

. comparativ cu mixtura asfaltică stocabilă, prin aplicarea acestei tehnologii se realizează economii în valoare de circa 212 lei/t și o reducere a consumului de energie cu circa 309 kWh/t mixtură asfaltică. De asemenea, se elimină consumul de arăbăluță, filer, nisip, var și motorină, iar consumul de bitumene scade cu circa 55% și cel de petrosin cu circa 75%.

Referitor la refolosirea mixturilor asfaltice, în cadrul studiilor și cercetărilor efectuate s-au rezolvat următoarele probleme:

. conceperea și elaborarea tehnologiei de refolosire integrală a mixturilor asfaltice rezultate din decaparea îmbrăcămintelor bituminoase prin procedeul "la rece", pentru prima dată pe plan național și după cunoștința noastră pe plan mondial;

. efectuarea studiilor de laborator privind influența factorilor de compoziție asupra calității mixturii asfaltice tip "PLOMBAREC" în vederea definitivării compoziției și a stabilirii

relațiilor de calcul al dozajului;

. experimentarea pe teren, prin executarea de secțiuni experimentale, pentru verificarea comportării în exploatare, sub trafic, a mixturii asfaltice tip "PLOMBAREC";

. conceperea și elaborarea metodologiei de calcul al dozajului pentru mixtura asfaltică tip "PLOMBAREC" utilizând materialul rezultat din decaparea îmbrăcămintei bituminoase și stabilirea relațiilor de calcul;

. întocmirea de diagrame și nomograme, corespunzătoare relațiilor de calcul pentru determinarea operativă a dozajului;

. conceperea și elaborarea unui model matematic pentru calculul eficienței economice și energetice a mixturilor asfaltice în diverse ipoteze de proveniență și de utilizare a acestora, ținând seama de condițiile concrete existente la noi în țară; deducerea relațiilor de calcul aferente;

. transpunerea relațiilor de calcul privind eficiența economică și energetică a refolosirii mixturilor asfaltice în nomograme.

Rezultatele obținute în cadrul studiilor și cercetărilor efectuate referitoare la refolosirea mixturilor asfaltice prin procedeul "PLOMBAREC", alături de particularitățile acestora, demonstrează că tehnologia se pretează foarte bine pentru activitatea de întreținere a drumurilor în condițiile țării noastre.

Cap.V. Concluzii finale

Lucrarea de doctorat prezintă contribuțiile aduse în ceea ce privește studiul și realizarea unor mixturi asfaltice și îmbrăcăminți bituminoase cu consum redus de energie. Cercetările efectuate s-au desfășurat în perioada 1978-1985 și au fost determinate de necesitatea găsirii unor soluții eficiente de construcție și întreținere a drumurilor cu îmbrăcăminți bituminoase, în contextul actualei crize de energie care afectează și sectorul rutier. Aceste cercetări au fost efectuate în laboratorul de drumuri al Catedrei de drumuri, fundații și instalații în construcții, în cadrul unor contracte de cercetare încheiate cu unități din producție (DDP Timișoara), cercetare (ICPTT București) și proiectare (I.P.T.A.N.A. București - Filiala Timișoara). Studiile au fost continuate prin experimentări pe teren, la scară naturală, care au confirmat rezultatele bune obținute în laborator, secvențele experimentale atestând o bună comportare în exploatare. Pentru noile tehnologii s-au efectuat calcule de eficiență economică și energetică, în baza cărora au fost evidențiate avantajele pe care le prezintă noile soluții. Rezultatele cercetărilor întreprinse s-au concretizat printr-o propunere de inovație și patru propuneri de invenții, dintre care trei au fost deja brevetate de OSIM.

Oportunitatea studiilor și cercetărilor efectuate este dată de tendințele actuale din domeniul producerii și punerii în operă a mixturilor asfaltice, dintre care se menționează:

. perfecționarea aparaturii de laborator și de teren în scopul determinării cât mai exacte a caracteristicilor materialelor care intră în compoziția mixturilor asfaltice, ceea ce permite atârnarea în condiții mai bune a procesului de proiectare, producere și punere în operă a mixturilor asfaltice și conduce implicit, la obținerea unor lucrări calitativ superioare;

. producerea unor mixturi asfaltice cu caracteristici mecanice superioare, care permit realizarea unor îmbrăcăminți bituminoase care să poată prelua în bune condiții eforturile deosebite care iau naștere datorită sarcinilor pe osie din ce în ce mai mari, caracteristice traficului actual;

. utilizarea de substanțe pentru aditivarea biturilor în scopul îmbunătățirii caracteristicilor mixturilor asfaltice;

. folosirea diverselor produse care pot substitui o parte din bitum la producerea mixturilor asfaltice, în condițiile obținerii unor performanțe comparabile ale acestora, ceea ce conduce la realizarea unor importante economii financiare și de energie;

. elaborarea unor metode de determinare și urmărire a evoluției stării tehnice a drumurilor în vederea adaptării unei strategii optime de întreținere a acestora;

. introducerea tehnologiilor de preparare și punere în operă la rece a mixturilor asfaltice în scopul economisirii combustibilului și energiei;

. re folosirea mixturilor asfaltice din îmbrăcămintile bituminoase uzate, ceea ce asigură utilizarea eficientă a bitumului conținut în masa acestora și implicit realizarea unor economii însemnate de bitum ca material deficitar și energointensiv, reducerea costului lucrărilor și a consumului de combustibil și energie;

. diversificarea și perfecționarea permanentă a aparatului de investigare a drumurilor, automatizarea acestuia și a procesului de prelucrare a datelor obținute, care asigură un randament superior și, în consecință o eficiență sporită.

Ținând seama de tendințele menționate, cercetările efectuate au reușit să rezolve o serie de probleme ale sectorului rutier în țara noastră.

5.1. Perfecționarea aparatului de laborator

În direcția perfecționării aparatului de laborator, în cadrul laboratoarelor de încercare a lianților bituminoși și mixturilor asfaltice, studiile și cercetările efectuate au condus la conceperea și realizarea unor aparate noi, automatizate și la formularea unor concluzii:

. pentru cunoașterea caracteristicilor reale ale mișcărilor de deformare ale mixturilor asfaltice care să permită luarea în considerare a comportamentului acestora sub acțiunea solicitărilor în cadrul proiectării și execuției drumurilor rutiere bituminoase este necesară existența unei aparaturi adecvate și a unor metode de încercare complexe. Este necesară, în acest scop, determinarea modulului complex al mixturilor asfaltice, comportamentul acestora la oboseală și la formarea deformațiilor plastice sub acțiunea repetată a sarcinilor, în special a autovehiculelor rutiere.

. determinarea caracteristicilor fundamentale ale amestecurilor asfaltice necesită aparatură perfecționată, constituită din următoarele:

ne afectarea unui timp relativ îndelungat. Aceste considerații nu fac operante aceste încercări în activitatea curentă de laborator, permițând aplicarea lor doar în laboratoarele de cercetare:

. între caracteristicile fundamentale ale mixturilor asfaltice și caracteristicile clasice ale acestora determinate curent în activitatea de laborator, prin metodologii operative, respectiv parametrii de compoziție ai mixturilor asfaltice și condițiile de încercare specifice se pot stabili relații de corelare pe baza cărora se pot determina ulterior, în mod indirect, anumite caracteristici fundamentale;

. caracteristicile materialelor și în special ale biturilor utilizate la prepararea mixturilor asfaltice influențează foarte mult proprietățile acestora și, în consecință apar la relațiile care permit determinarea indirectă a unor caracteristici ale mixturilor asfaltice. Astfel indicele de penetrație, punctul de înmuiere înel și bilă și penetrația bitumului sînt luate în considerare la determinarea modulului de rigiditate al bitumului, care servește la rîndul lui la calculul modulului de rigiditate al mixturilor asfaltice;

. pentru determinarea cît mai precisă a caracteristicilor bitumului (penetrația și punctul de înmuiere) este necesar o aparatură perfecționată a cărei utilizare să conducă la obținerea unor rezultate cît mai puțin influențate de diverși factori obiectivi sau subiectivi;

. valoarea penetrației bitumului, determinată cu penetrometrul Richardson (aparatul clasic, utilizat în laboratoarele de producție) este dependentă de operatorii care efectuează încercarea prin corelarea care trebuie realizată între momentul începerii pătrunderii acului în masa bitumului, respectiv al opririi pătrunderii și declanșarea cronometrului, respectiv blocarea acului după 5 s.

Pentru înlăturarea acestor inconveniente s-a conceput și realizat aparatul electronic pentru determinarea penetrației bitumului, care a fost testat în cadrul laboratorului de drumuri al Catedrei de drumuri, fundații și instalații în condițiile de lucru. Prelucrarea statistică a rezultatelor obținute prin măsurători efectuate în paralel cu aparatul electronic și cu penetrometrul Richardson au atestat o calitate superioară a celor realizate cu noul aparat, date de omogenitatea mai bună a acestora;

. penetrometrul electronic constituie o noutate tehnică și drept urmare a făcut obiectul unei invenții brevetate de D. ... cu brevetul nr.87504 din 1985. De asemenea, și cu alte ocazii acest aparat a fost apreciat obținând mențiuni la salonul de investiții Timișoara, iulie 1985 și premiul I în cadrul festivalului național de creație tehnică "Cîntarea României", ediția a 2-a, 1985. El prezintă certe avantaje prin calitatea datelor furnizate, productivitatea sporită, concomitent cu eliminarea importului. Se menționează că aparatul se realizează în întregime cu piese locale și este în curs de asimilare de IMEC București pentru a fi realizat pe scară largă, în vederea dotării laboratoarelor de drumuri;

. punctul de înmuiere inel și bilă este o caracteristică a bitumului care se determină în mod curent în laborator folosind un aparat simplu. Valoarea acestei caracteristici este mult influențată de viteza de încălzire a apei din vasul în care se efectuează încercarea. Pentru eliminarea acestui dezavantaj s-a conceput și realizat aparatul electronic pentru determinarea punctului de înmuiere inel și bilă care asigură o încălzire uniformă a apei. De asemenea, efectuarea încercării cu acest aparat nu necesită prezența operatorului, ceea ce influențează pozitiv productivitatea muncii. Compararea datelor obținute prin utilizarea acestui aparat cu cele date de aparatul clasic a condus la concluzia că primele sînt superioare din punct de vedere al calității (omogenitate sporită);

. aparatul electronic inel și bilă a primit brevetul nr.88352/1985. Pe lângă avantajul calității superioare a datelor furnizate și creșterea productivității muncii, se menționează faptul că acest aparat a fost realizat în întregime cu piese locale, evitîndu-se astfel importul unor aparate similare;

. cele două aparate noi, concepute și realizate de un colectiv din care face parte și autorul, permit obținerea unor informații de calitate superioară privind caracteristicile biturilor, contribuînd astfel favorabil asupra determinării prin calcul a caracteristicilor mixturilor asfaltice. De asemenea eficiența acestora se recomandă pentru utilizarea în toate laboratoarele de drumuri.

3.2. Calitatea îmbrăcămintelor bituminoase

Exigențele din ce în ce mai mari care se impun drumurilor din punct de vedere al confortului și siguranței oferite participanților lor

la circulația pot fi satisfăcute numai prin realizarea unor lucrări de foarte bună calitate și, în primul rînd prin realizarea unor îmbrăcămînți rutiere care să asigure o suprafață de rulare corespunzătoare cerințelor. Acest lucru se poate obține prin investigarea permanentă a stării tehnice a drumurilor în vederea stabilirii nivelului de calitate la un moment dat, precum și a evoluției acestuia în scopul adoptării unor măsuri eficiente și raționale de întreținere. În ceea ce privește calitatea îmbrăcămînților bituminose se pot desprinde următoarele concluzii în urma cercetărilor efectuate, menționîndu-se în același timp și realizările originale obținute în acest domeniu:

. calitatea îmbrăcămînților bituminose influențează direct eficiența transporturilor rutiere, confortul și siguranța circulației;

. principalele caracteristici care trebuie luate în considerare la aprecierea calității îmbrăcămînților bituminose sînt: uniformitatea și rugozitatea suprafeței de rulare, starea de degradare a îmbrăcămînții bituminose și capacitatea portantă a complexului rutier;

. avînd în vedere stadiul actual pe plan mondial în domeniul investigării drumurilor, pentru determinarea stării tehnice a acestora s-a participat la elaborarea, sub coordonarea lui J. J. Lacroix, a "Instrucțiunilor tehnice pentru determinarea indicatorilor de stare ai drumurilor modernizate și cu îmbrăcămînți bituminose ușoare", primele de acest fel din țara noastră. Acestea descriesc modul de determinare a indicilor de stare care se referă la uniformitatea, rugozitatea suprafeței de rulare, starea de degradare a îmbrăcămînții și deformabilitatea complexului rutier. Pe baza acestor indici se poate aprecia prin cuantificare starea tehnică a drumului la un moment dat și evoluția acesteia în timp în vederea stabilirii unei strategii raționale de întreținere a drumurilor, respectiv a momentului optim de intervenție. Pentru determinarea indicilor de stare se folosește aparatură de investigare aflată în dotarea laboratoarelor de drumuri de la noi din țară, ceea ce conferă metodei de lucru elaborată aplicabilitate imediată:

. pentru determinarea indicelui de capacitate portantă pe baza deflexiunilor obținute prin măsurătorile care se efectuează periodic, pe întreaga lățime de drumuri publice cu ajutorul deflectografului Lacroix s-a elaborat un program de calcul automat. Acesta ține seama de caracterul aleator al valorilor deflexiunii efectuînd automat împărțirea tronsonului de drum investigat în secțiuni omo-

gene pe baza unui test statistic. Programul de calcul este transpus
atit în limbaj FORTRAN cit și în limbaj BASIC pentru aplicarea pe
calculatoare personale;

. determinarea indicelui de degradare a îmbrăcămintei rutiere
are la bază inventarierea defecțiunilor îmbrăcămintei bituminoase,
conform "Instrucțiunilor tehnice departamentale pentru preveni-
rea și remedierea defecțiunilor îmbrăcămintelor rutiere moderne" ce-
re au fost revizuite în perioada 1983-1985 în cadrul unui contract
cu DDP Timișoara ținând seama de rezultatele ultimelor cercetări e-
fectuate în acest domeniu și de necesitatea impusă de particulari-
tățile solicitărilor din trafic în etapa actuală. Noile instrucțiuni
valorifică cercetările proprii efectuate în direcția studiului cau-
selor și metodelor de prevenire a defecțiunilor
de. S-a stabilit o nouă clasificare a defecțiunilor în funcție de
urgenta de remediere a acestora ținând seama atit de influența unui
anumit tip de defecțiune asupra confortului, siguranței și eficien-
ței transporturilor, cit și de implicațiile pe care această defec-
țiune le are asupra evoluției ulterioare, în timp, a stării drumului.
De asemenea s-a sintetizat într-un tabel centralizator influența
mai mult sau mai puțin importantă pe care o grupă de factori are
asupra apariției unui anumit tip de defecțiune. În ceea ce privește
tehnologiile de remediere a defecțiunilor se remarcă într-ade-
vărarea celor mai noi tehnologii, printre care și tehnologia de trata-
re cu mixtură asfaltică tip "PLOMBAREC" la elaborarea cărora
rul și-a adus contribuția. Noile instrucțiuni sînt elaborate în
formă finală și au fost avizate în ședința C.I.E. a Direcției
murilor din M.T.Tc. din 23.VI.1986 urmînd a fi publicate în
introducerii acestora în practica unităților de întreținere
rilor.

5.3. Mixturi asfaltice speciale

Dintre concluziile și rezultatele obținute în cadrul
lui mixturilor asfaltice speciale se menționează următoarele

. mixturile asfaltice speciale, obținute prin utilizarea unor
materiale cu caracteristici deosebite, a unor lianți aditivi
prin proiectarea unor compoziții speciale prezintă caracte-
ristici fizico-mecanice superioare, care le recomandă pentru utili-
zarea în condiții deosebite de solicitare;

. pe lîngă obținerea unor caracteristici fizico-mecanice su-

perioare, gama mixturilor asfaltice speciale vizează și economisirea unor materiale deficitare (bitumul, criblura 3-8), utilizarea unor deșeuri sau subproduse industriale (cauciuc) sau aplicarea la prepararea și punerea în operă a unor tehnologii cu consum redus de energie (mixturi asfaltice la rece);

. pentru reducerea consumului de bitum la prepararea mixturilor asfaltice s-a experimentat utilizarea pudreii de cauciuc ca înlocuitor parțial al bitumului. Rezultatele promițătoare ale încercărilor de laborator au fost confirmate de experimentările pe teren (D.C. 147 Recaș - Cheveregu Mare). Astfel, se poate afirma că prin utilizarea unui procentaj de pudră de cauciuc de până la 10 % se pot prepara mixturi asfaltice cu caracteristici comparabile cu cele la a căror preparare s-a utilizat bitum. Mixturile asfaltice cu procent mai mare de 10 % pudră de cauciuc se pot utiliza pentru straturi de bază și straturi de legătură;

. având în vedere faptul că criblura 3-8 este un material deficitar s-au proiectat și studiat în laborator doze pentru mixturi asfaltice din compoziția cărora lipsește acest sort de criblură. Încercările efectuate au condus la obținerea unor rezultate corespunzătoare prescripțiilor tehnice în vigoare, ceea ce s-a confirmat și prin comportarea în exploatare a sectoarelor experimentale executate. Pe lângă eliminarea sortului de criblură 3-8, aceste mixturi prezintă și un conținut de bitum relativ determinat de suprafața specifică mai mică a agregatului natural;

. în scopul reducerii consumului de combustibil și de energie la prepararea mixturilor asfaltice s-a studiat posibilitatea preparării la rece a acestora utilizând ca liant emulsia bituminoasă cationică cu rupere lentă preparată la stația de emulsie de la Săcălaz. Cercetările s-au efectuat în colaborare cu BDR Timișoara, rezultatele promițătoare obținute în laborator permițând trecerea la experimentarea pe teren. Pentru experimentare s-a procedat la modificarea unei stații de preparare a mixturilor asfaltice tip LPX (de la F.M.S. Voiteg) care a fost dotată cu instalații de alimentare cu apă și cu emulsie bituminoasă a malaxorului, respectiv cu o bandă transportoare care realizează un circuit al agregatelor naturale predozate, prin exteriorul uscătorului. De menționat că instalația LPX astfel modificată poate fi utilizată după dorință, atât pentru prepararea la rece, cât și la cald a mixturilor asfaltice. Mixtura asfaltică preparată la rece a fost pusă în operă pe DN 59 Timișoara-Moravița, km 42+290 - 42+410, în toamna

anului 1985. Sectorul executat se comportă bine în exploatarea. Urmează ca acesta să fie ținut în continuare sub observație, în paralel efectuându-se cercetări pentru perfecționarea tehnologiei;

. tehnologia de preparare la rece a mixturilor asfaltice a făcut obiectul unui dosar de invenție înaintat la O.S.I.M. cu nr. BDP Timișoara 40/1121/12.XI.1985. De asemenea modificările aduse instalației LPX în vederea utilizării acesteia și pentru prepararea la rece a mixturilor asfaltice au stat la baza întocmirii unui dosar de invenție înregistrat la O.S.I.M. cu nr. 120739/9.XI.1985;

. prepararea la rece a mixturilor asfaltice conduce la obținerea unor economii de combustibil lichid (motorină) de cca 11,8 kg/t mixtură asfaltică), energie electrică de 50 % (2,7 kWh/t mixtură asfaltică). De asemenea prețul de cost se reduce cu cca 7 % (10 lei/t mixtură asfaltică);

. în ceea ce privește domeniul de aplicare al mixturilor asfaltice preparate la rece, acestea se recomandă pentru straturile de bază și de legătură, putând fi utilizate și ca straturi de uzură pe drumuri cu trafic redus, cu condiția efectuării unei etanșări a suprafeței stratului.

5.4. Refolosirea mixturilor asfaltice

Problema refolosirii mixturilor asfaltice din îmbrăcămintele bituminoase uzate este deosebit de actuală având în vedere criza de energie care se manifestă și în sectorul rutier și care impune refolosirea în cât mai mare măsură a tuturor resurselor. În acest sens, studiile efectuate au condus la formularea următoarelor concluzii:

. mixturile asfaltice sînt materiale de construcție cu consum mare de energie, alcătuite din materiale deficitare. Bitumul care se utilizează la producerea acestora este un material care își modifică proprietățile în timp, sub efectul solicitărilor din trafic și ale factorilor climaterici. Aceste modificări se reflectă în procesul de îmbătrînire a bitumului și determină reducerea performanțelor fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice, ceea ce implică degradarea sub diverse forme a îmbrăcămintelor bituminoase;

. cercetările au demonstrat că există posibilitatea regenerării proprietăților bitumului și ale mixturilor asfaltice prin diverse procedee, permițându-se astfel refolosirea mixturilor asfaltice din îmbrăcămintele uzate;

. prin refolosirea mixturilor asfaltice se realizează importante economii de materiale (agregate naturale și bitum) și de energie

gie concomitent cu crearea posibilității de utilizare a resurselor existente pentru construcția și întreținerea unei lungimi suplimentare din rețeaua rutieră;

. creșterea prețului bituzului și al agregatelor naturale face eficiente tehnologiile de refolosire și sub aspectul efortului financiar;

. pentru refolosirea mixturilor asfaltice s-au elaborat o serie de tehnologii, la cald sau la rece, cu sau fără adaos de materiale noi, care permit alegerea soluției optime în funcție de condițiile existente. Prin refolosirea mixturilor asfaltice se poate executa oricare din straturile unui sistem rutier;

. pentru aplicarea tehnologiilor de refolosire a mixturilor asfaltice se folosesc o mare varietate de utilaje și instalații, în general cele pentru refolosirea la fața locului fiind foarte complexe și costisitoare;

. la noi în țară a fost introdusă pînă în prezent tehnologia de refolosire a mixturilor asfaltice în instalațiile clasice aflate în dotarea unităților de drumuri, tehnologie care permite utilizarea unui procentaj de refolosire de cca 20 %;

. studiile și cercetările proprii în domeniul refolosirii mixturilor asfaltice au fost orientate spre elaborarea unei tehnologii eficiente, aplicabilă în condițiile țării noastre și activitatea de întreținere a drumurilor, utilizând materialul recuperat la decaparea îmbrăcămintelor bituminoase care se face ca urmare a reparațiilor curente sau a unor intervenții la instalațiile tehnico-edilitare în case etc. Astfel, în anul 1983 a fost introdusă tehnologia de refolosire a mixturilor asfaltice prin metoda "PLOMBAREC";

. tehnologia "PLOMBAREC" permite refolosirea întregului material la rece a mixturilor asfaltice rezultate din decapări folosite la utilaje simple și ușor de procurat. Ea poate fi aplicată cu succes la nivelul districtelor de întreținere a drumurilor;

. tehnologia "PLOMBAREC" a fost brevetată de C.I.T. Timișoara cu nr. 87775/1985 și a fost generalizată în cadrul Direcției Drumurilor, aplicându-se de asemenea și într-o serie de direcții județene de drumuri și poduri (Timiș, Arad, Giurgiu, Vaslui, Buzău, Mureș, Bihor, Caraș-Severin, Dâmbovița, Sălaj etc.). Mixtura asfaltică preparată prin această tehnologie poate fi utilizată imediat sau poate fi stocată în vederea unei folosiri ulterioare;

. comparativ cu mixtura stocabilă, mixtura stocabilă preparată prin tehnologia "PLOMBAREC" conduce la realizarea de economii medii agregatele naturale(100 %), bitum(cca 55 %), var(100 %), petrosin(15 %) și motorină(100 %);

. studiile de laborator și experimentările pe teren au demonstrat viabilitatea acestei tehnologii și au stat la baza rezolvării următoarelor aspecte privind aplicarea sa în practică: elaborarea metodologiei de calcul al dozajului pentru re folosirea mixturilor asfaltice, stabilirea relațiilor de calcul și determinarea influenței factorilor de compoziție asupra calității mixturii asfaltice;

. relațiile de calcul pentru stabilirea dozajului au fost transpuse în diagrame și nomograme de calcul care permit stabilirea iterativă pe șantier a compoziției optime în funcție de caracteristicile materialelor utilizate;

. pentru calculul eficienței economice a re folosirii mixturilor asfaltice în condițiile țării noastre au fost elaborate modele sistematice de calcul care au fost transpuse și în nomograme pentru aprecierea rapidă a eficienței re folosirii mixturilor asfaltice în anumite condiții reale. S-a avut în vedere posibilitatea re folosirii instalațiilor clasice de producere a mixturilor asfaltice și prin tehnologia "PLOMBAREC". De asemenea s-a luat în considerare cazul re folosirii îmbrăcămintei bituminoase la ranforsarea complexelor rutiere cu îmbrăcăminți din beton de ciment și cel al re folosirii mixturilor asfaltice provenite din decapări. În final au rezultat soluții concrete ținând seama de posibilitățile de re folosire și de proveniența mixturii asfaltice.

5.5. Principalele contribuții originale ale tezei de doctorat și valorificarea rezultatelor cercetărilor

Studiile și cercetările efectuate au condus la rezolvarea unor probleme deosebit de importante pentru sectorul rutier din țara noastră. Principalele contribuții originale prezentate în teza de doctorat sunt:

. conceperea și realizarea penetrometrului electronic pentru determinarea penetrației bitumului, care a obținut brevetul de invenție nr. 87504/1985;

. proiectarea și realizarea aparatului electronic pentru determinarea punctului de înmuiere înel și vâscozității bitumului, care a obținut brevetul de invenție nr. 88352/1985;

. participarea în calitate de colaborator, alături de ing. G. București și D.D.P. Timișoara la elaborarea "Instrucțiunilor tehnice

departamentale pentru determinarea indicilor de stare ai drumurilor modernizate și cu îmbrăcămînți bituminoase ușoare";

. elaborarea unui model matematic pentru prelucrarea automată a deflexiunilor înregistrate cu deflectograful Lacroix și a programului de calcul aferent în limbaj FORTRAN și BASIC;

. elaborarea în calitate de autor principal a ediției a 2-a revizuită a "Instrucțiunilor tehnice departamentale pentru prevenirea și remedierea defecțiunilor îmbrăcămînților rutiere moderne";

. elaborarea în laborator a dozajelor pentru mixturi asfaltice cu granulozitate discontinuă, experimentarea acestora pe teren și introducerea acestora în realizarea îmbrăcămînții bituminoase;

. elaborarea dozajelor pentru mixturi asfaltice cu bitum-cauciuc utilizînd deșeurile de cauciuc sub formă de pudră de la întreprinderea Dermatina și experimentarea acestei tehnologii pe teren;

. conceperea și elaborarea în laborator a dozajelor pentru mixturi asfaltice la rece cu emulsie bituminoasă cationică cu rupere lentă și experimentarea pe teren. Tehnologia a fost depusă pentru obținerea brevetului de inovație (nr. 7/191 din 11.02.1985 - S.B.P. Timișoara);

. participarea la conceperea, proiectarea și realizarea modificărilor la instalația de preparare a mixturilor asfaltice tip IPA în scopul folosirii acesteia și pentru prepararea aștelor asfaltice la rece. Soluția a constituit obiectul unui dosar de invenție înregistrat la O.S.I.M. cu nr.120739/ 21.10.85;

. conceperea și elaborarea tehnologiei de refolosire la rece a mixturilor asfaltice din îmbrăcămînți bituminoase prin procedeul "PLOMBAREC". Tehnologia a constituit obiectul unui dosar de invenție înaintat la O.S.I.M. în anul 1985 și brevetat cu nr. 87776/1985;

. elaborarea modelului de compoziție pentru amestec asfaltic tip "PLOMBAREC";

. stabilirea relațiilor pentru calculul dozajelor pentru amestecuri asfaltice tip "PLOMBAREC" și transpunerea acestora în formă de nomograme de calcul;

. stabilirea prin încercări în laborator a indicatorilor de compoziție asupra calității amestecurilor asfaltice tip "PLOMBAREC";

. elaborarea unui model matematic pentru calculul indicilor de

economice și energetice a refolosirii mixturilor asfaltice prin diverse procedee aplicabile la noi în țară și în situațiile reale întâlnite în practică privind sursele din care provin mixturile asfaltice recuperate;

. transpunerea în nomograme de calcul a relațiilor pentru determinarea eficienței economice și energetice a refolosirii mixturilor asfaltice.

Rezultatele studiilor și cercetărilor efectuate au fost valorificate prin trei brevete de invenții, o propunere de invenție înregistrată la O.S.I.M. și o propunere de inovație. De asemenea acestea au fost utilizate la elaborarea a două instrucțiuni tehnice, una în calitate de colaborator și una în calitate de elaborator principal.

Urmare cercetărilor efectuate s-a introdus în activitatea unităților de drumuri tehnologia de refolosire la rece a mixturilor asfaltice din îmbrăcămințile bituminoase uzate pentru producerea mixturilor asfaltice necesare la efectuarea reparațiilor îmbrăcăminților bituminoase.

BIBLIOGRAPHIE

1. Ceaușescu, N. - Raport la cel de-al XIII-lea Congres al Partidului Comunist Român, Ed. politică. București 1984.
2. Ceaușescu, N. - Cuvîntare la Congresul științei și învățămîntului. Ed. politică. București 1985.
3. Abrache, M. - Etudes sur l'uni des revêtements routiers et le confort des véhicules automobile. Rapport de recherche. Paris. L.C.P.C. 1974.
4. Ajour, A., M. Mouton, Y. - Bitume. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées. Spécial V, 1977.
5. Andrei, R. - Metode statistice aplicate la drumuri. București. Editura tehnică, 1983.
6. Archinard, P., Iesage, J. - Les revêtements Routoflex. Une solution économique et sérieuse pour l'entretien des chaussées déjà fatiguées. Revue générale des routes et des aérodrômes, no 574. avril 1981.
7. Aussedat, G. - L'essai de fluage dynamique dans la formulation des enrobés et la dimensionnement des chaussées. Spécial V, décembre 1977.
8. Baroux, R., Plant, J., F. - Le recyclage des enrobés en centrale. Bilan après deux ans. Revue générale des routes et des aérodrômes, no 598, juin 1983.
9. Baroux, R., Champion, M., Poirier, J., C. - Recyclage des enrobés en centrale. Aspects technique. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, no 119, mai-juin 1982.
10. Baroux, R. - Recyclage des enrobés bitumineux en centrale d'enrobage. Les problèmes de matériel. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, no 105/1980.
11. Baroux, R., J. A. - Les routes en R. deux ans après. Revue générale des routes et des aérodrômes, no 594 février 1983.
12. Béranger, J., Guérin, G. - L'enrobé Accorex. Revue générale des routes et des aérodrômes, no 578, septembre 1981.

13. Beuran, M. - Proiectarea și construcția drumurilor. Institutul Politehnic Cluj-Napoca, 1977.
14. Bicheron, G. - Le recyclage des revêtements en enrobés hydrocarbonés. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées. No 105/1980.
15. Bilțiu, Aurica - Cauzele producerii vălurilor la îmbrăcăminti asfaltice executate cu nisip bituminos și posibilitatea reutilizării mixturilor asfaltice din sectoarele vălurite. Construcții în transporturi, vol.XXV 1971.
16. Bilțiu, Aurica - Contribuții la studierea și realizarea unor tipuri de mixturi asfaltice pentru îmbrăcăminti rutiere bituminoase. Teză de doctorat. Timișoara 1982.
17. Bilțiu, Aurica, Szitar, Rodica - Soluții tehnice pentru repararea îmbrăcămintilor bituminoase pe timp de iarnă. AIV-a Sesiune de comunicări științifice DDP Timișoara și Catedra de drumuri și fundații, noiembrie 1981, Timișoara.
18. Bilțiu, Aurica - Considerații privind realizarea mixturilor asfaltice cu procent redus de bitum și filler. Revista transporturilor nr.4/1980.
19. Bilțiu, Aurica, Nicoară, L. - Études sur les variations sous le trafic de quelques caractéristiques des couches bitumineuses. HILEM. Technoinform. Budapest 1975.
20. Bilțiu, Aurica - Metode moderne de control a calității lucrărilor de drumuri. Referat pentru doctorat. I.P."I.V." Timișoara, 1980.
21. Bilțiu, Aurica - Studii și experimentări privind reutilizarea îmbrăcămintilor bituminoase vălurite sau uzate. Sesiunea de comunicări științifice IASTI București, 1981.
22. Bob, C., Roșu, Maria, Bilțiu, Aurica, Lucaci, Geo., Nicoară, L. - Aspects concernant l'utilisation des cendres volantes du laitier de haut fourneau et de l'argile expansée pour réaliser des revêtements routiers. Bulletinul Științific și Tehnic al I.P."Traian Vuia" Timișoara. Tom (144), 1985.

23. Bob, C., Velica, Paraschiva - Materiale de construcții. Editura didactică și pedagogică, București, 1978.
24. Boicu, M., Dorobanțu, S., Nicoară, L., Zarojanu, H. - Autostrazi. București. Editura tehnică. 1981.
25. Boicu, M., Munteanu, V., Ceguș, P. - Considerații asupra fundamentării direcțiilor de dezvoltare și întreținere a rețelei de drumuri publice în următorii ani. Studiu. Direcția Arzurilor. S.T.Tc. 1985.
26. Brien, D. - Formulation des enrobés bitumineux à granulométrie discontinue. Revue générale des routes et des aérodromes, nr. 487/1973.
27. Brien, D., Hills, J., P., Van de Loo, J., P. - Relation entre des essais de fluage et d'ornièrisme sur des enrobés bitumineux. Revue générale des routes et des aérodromes, no 499/1974.
28. Brown, S., P. - Essais triaxiaux sur enrobés bitumineux en chargement répété ou en fluage. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées. Special V, décembre 1977.
29. Cerchez, M., Dinuț, Th. - Probleme pentru aplicarea mecanicii în practică. București, Editura didactică și pedagogică 1982.
30. Chauvin, J., Dubout, Ch., Barbé, H., Lartant, M. - Les enrobés au liant bitume-soufre. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, no 118, mars-avril 1982.
31. Chappat, M., Plant, J., T. - Le recyclage des enrobés en centrale. Bilan après un an. Revue générale des routes et des aérodromes, no 584, mars 1982.
32. Chappat, M. - Résultats de contrôles sur un chantier de fabrication d'enrobé à base de bitume-soufre. Revue générale des routes et des aérodromes, no 587, juin 1982.
33. Coquand, R. - Routes. Paris. Editions Eyrolles 1980.
34. Costescu, I., Lucaci, Ghe. - Considerații asupra apariției defectiunilor sub formă de fâgare, vâlcări și refulări la îmbrăcămințile rutiere bituminose. Revista transporturilor și telecomunicațiilor nr. 1/1981

35. Costescu, I., Lucaci, Ghe., Stelea, Ileana - Considerații asupra realizării unor straturi rutiere cu consum redus de energie. Creația tehnico-stiințifică. Timișoara 1984.
36. Doan, T., H. - Les études de fatigue des enrobés bitumineux au LCPC. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées. Spécial V, décembre 1977.
37. Doan, T., H., Grignard, A., Ugé, P. - Evolution sur route de liants et enrobés bitumineux. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées. Spécial V, décembre 1977.
38. Dorobanțu, S., ș.a. - Drumuri. București. Editura tehnică 1980.
39. 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.
40. Dorobanțu, S., Popescu, P., Mănășteanu, O. - Posibilități de folosire a liantului bitum-sulf. A V-a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri, Timișoara 1978, vol.I.
41. Dorobanțu, S., Jercan, S., - Pista de încercări auto pentru viteze mari. A V-a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri, Timișoara 1978, vol.I.
42. Dragomir, V. - Elemente de nomografie. Editura de stat didactică și pedagogică. București 1961.
43. Duriez, M., Arrambide, J. - Nouveau traité de matériaux de construction. Tome III. Liants et béton bitumeux-carbonés, deuxième édition. Edition Eyrolles. Paris 1962.
44. Elhionel Abdeslam, Taibi Ahmed - Evaluation économique d'un revêtement en centrale des béton bitumineux. Revue générale des routes et des aérodrômes, no 498, juin 1983.
45. Elvira, J., L., Fernandez del Campo, Y., A. - Comportement mécanique des mélanges bitumineux. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, spécial V, décembre 1977.
46. Faure, B., Eckmann, B., Plainedoux, M., Serfass, J., P. - Revêtements à base de bitume-caoutchouc. Revue générale des Routes et des aérodrômes, no 602, novembre 1983.

47. Fodor, Georgeta, Teodorescu, Dorina, Bradler, M. ș.a. - Incercarea la oboseală a amestecurilor asfaltice - o posibilitate de simulare în laborator a solicitărilor straturilor rutiere bituminoase. Revista transporturilor nr.2/1979.
48. Fodor, Georgeta, Teodorescu, Dorina, ș.a. - Cercetări privind modelarea reologică a comportării sub solicitarea sarcinilor din trafic a straturilor bituminoase. A V-a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri, Timișoara 1978, vol. II.
49. Fodor, Georgeta, Teodorescu, Dorina, ș.a. - Metodă de verificare a rezistenței la oboseală a straturilor rutiere din amestec bituminoasă în vederea îmbunătățirii comportării în exploatarea sistemelor rutiere nerigide. A V-a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri, Timișoara 1978, vol. I.
50. Francken, L. - Module complexe des mélanges bitumineux. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, spécial V, décembre 1977.
51. Goddard, R., Powell, W., D. - Résistance à la fatigue des enrobés denses. Influence des facteurs de formulation et température. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, spécial V, décembre 1977.
52. Grimaux, J., P., Hiernaux, R. - Utilisation de l'inducteur type LPC. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, spécial V, décembre 1977.
53. Grimaux, J., Grignand, A., Haret, M. - Revêtement en béton de liants hydrocarbonés modifiés. Rapport de recherche LPC. No 62, décembre 1976.
54. Grimaux, J., P., - Les enrobés denses à froid à l'inducteur. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, spécial V, les applications de bitume. Juin 1984.
55. Guinard Guy - La collecte des enrobés de récupération et leur traitement. Revue générale des ponts et des aérodromes, no 598, juin 1978.

56. Gugiuman, Ghe., - Contribuții la realizarea îmbrăcămintilor asfaltice colorate în scopuri rutiere. Teză de doctorat. I.P. Iași 1983.
57. Iliescu, D., V., Vodă, Ghe. - Statistică și toleranțe. București. Editura tehnică. 1977.
58. Ionescu, N., Lucaci, Ghe. - Studiul cauzelor unor defecțiuni ale îmbrăcămintei bituminoase. A III-a Sesiune de comunicări științifice a cadrelor tehnice și economice din DDP Timișoara și Catedra de drumuri și fundații. Deva 1977.
59. Ionescu, N., Lucaci, Ghe. - Studiul cauzelor unor defecțiuni ale îmbrăcămintilor bituminoase. Anuarul rutier nr. 1/1979.
60. Iosifescu, M., Moineagu, C., Trebici, V., Ureianu, E. - Măcă enciclopedie de statistică. București. Editura științifică și enciclopedică 1980.
61. Isaac-Maniu, A. - În căutarea optimului. București. Editura Albatros 1985.
62. Jeuffroy, G. - Conception et construction des chaussées. Tome 1. Paris. Editions Eyrolles, 1983.
63. Knoll, E., ș.a. - La réutilisation des matériaux en construction routière: un des aspects d'une technique moderne d'entretien des chaussées. Revue générale des routes et des aérodromes, no 584, mars 1982.
64. Knoll, E., Heide, W. - Utilisation à froid de matériaux bitumineux fraisés non traités. Revue générale des routes et des aérodromes, no 583, janvier 1984.
65. Kraiovan, M., Lucaci, Ghe. - Efectul termoizolant al unor structuri rutiere în alcătuirea straturilor rutiere nerigide. Sesiunea a 1-a de referate și comunicări tehnico-științifice Baia Mare 1979.
66. Kraiovan, M., Lucaci, Ghe., ș.a. - Căi de comunicații rutiere. Indreptar pentru lucrări practice. I.P. "Traian Vuia" Timișoara 1984.
67. Lafou, J., P. - Enrobés à froid traités à l'émulsion de bitume répandus en couches continues. Enrobés denses et enrobés ouverts. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, no 136, mars-avril 1985.

68. Langumier, G. - Enrobés spéciaux. Bourquet et compagnie.
Revue générale des routes et des aérodrômes
no 572, février 1981.
69. Lartant, M. - Béton bitumineux coulé au soufre. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, no 109, septembre-octobre 1980.
70. Leger, Ph. - L'uni des revêtements routiers. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées décembre 1970.
71. Livadiu, M., Pricop, M. - Cei trei "R" de aur. Bucuresti. Editura stiintifică și enciclopedică 1984.
72. Loubet, P., Grinaux, J., P. - Une technique de restauration en place à chaud des couches de roulement. Une technique de repaving. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, no 105/1980.
73. Lucaci, Ghe., Bota, A. - Considerații asupra defecțiunilor apărute în îmbrăcămințile rutiere de pe unele poduri. A VI-a Consfătuire de țară a lucrărilor de drumuri, poduri și cai ferate. Tugnad. 1982.
74. Lucaci, Ghe., Stelea, Ileana, Pașca, I. - Studii privind folosirea depozitelor de cauciuc la prepararea mixturilor asfaltice. Consfătuirea a VII-a a drumarilor, Sibiu 1986.
75. Lucaci, Ghe., Pașca, I. - Studiul cauzelor apariției unor defecțiuni pe drumul național Timișoara-Arad și propuneri pentru prevenire și remediere. Comportarea in situ a construcțiilor. Constanța 1986.
76. Lucaci, Ghe., Pașca, I. - Preocupări privind automatizarea aparaturii și introducerea unor metode noi de încercare în laboratoarele de drumuri. Cea de a V-a sesiune de comunicări tehnico-stiintifice a DDP Timișoara și Catedra de drumuri și fundații. Timișoara 1984.
77. Lucaci, Ghe., Lazie, I., Schubert, O. - Considerații privind alcătuirea și întreținerea podurilor. Cea de a V-a sesiune de comunicări tehnico-stiintifice a DDP Timișoara și Catedra de drumuri și fundații. Timișoara 1984.

8. Lucaci, Ghe., - Condiții de calitate pentru suprafața de rulare a îmbrăcăminților rutiere. Referat de doctorat. I.P. "Traian Vuia" Timișoara 1980.
9. Lucaci, Ghe. - Analiza metodelor de dimensionare a sistemelor rutiere nerigide. Referat de doctorat. I.P. "Traian Vuia" Timișoara 1980.
10. Lucaci, Ghe. - Studiul compactării straturilor rutiere. Referat de doctorat. I.P. "Traian Vuia" Timișoara 1980.
11. Lucaci, Ghe., Stelea, Ileana, Pașca, I. - Refolosirea îmbrăcăminților bituminoase vechi. Conferința de drumuri de la Sofia. 1986.
12. Lucaci, Ghe., Stelea, Ileana - Refolosirea materialilor rezultate din decuparea îmbrăcăminților bituminoase uzate prin procedeul "LOK-BAREC". Consfătuirea a VII-a a inginerilor, Pitești 1986.
13. Lucaci, Ghe., Stelea, Ileana - Considerații asupra comportării în exploatare a plombarecului. Comportarea in situ a construcțiilor. Ediția a I-a. Piatra Neamț, 1984.
14. Lucas, J., Viano, A. - Mesure systematique de l'un sur le reseau routier. L'APL à grand rendement - Union 1978. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, no 101, mai-juin 1979.
15. Marchionna, A. - Recyclage et régénération des matériaux des chaussées souples. Rapport général, question II, Construction et entretien des chaussées, XVII Congrès Mondial de la Route, Sydney 1983.
16. Martineau, Y. - Les enrobés d'entretien au bitume élastomère. Gripflex. Revue générale des routes et des aérodromes, no 596, avril 1983.
17. Mesnil de Adèle, M., Peybernard, J. - Traitement automatique des résultats de mesures en continu. Application aux mesures de déflexion. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, no 130, mars-avril 1984.
18. Moutier, P. - Utilisation et possibilités de la presse à doublement giratoire. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, special V, décembre 1977.

89. Moutier, F. - Melanges hydrocarbonés à l'émulsion. Etude de départ de l'eau à l'aide de la resine à cisaillement giratoire. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, no 99, juillet-août 1977.
90. Munteanu, V. - Calitatea biturilor și a mixturilor asfaltice. Referat de doctorat. I.P. "Traian Vuia", Timișoara, 1982.
91. Nicoară, L., Bilițiu, Aurica - Imbrăcăminți rutiere moderne. București. Editura tehnică 1983.
92. Nicoară, L., Munteanu, V., Ionescu, N. - Intreținerea și exploatarea drumurilor. Editura tehnică 1983.
93. Nicoară, L., Păunescu, M., Bob, C., Bilițiu, Aurica - Indrumătorul laboratorului de drumuri. București. Editura tehnică 1985.
94. Nicoară, L., Lucaci, Ghe. - Considerații privind apariția și tratarea vălurilor din imbrăcămințile bituminoase. Comportarea in situ a construcțiilor. Ediția a IV-a. Iași 1982.
95. Nicoară, L., Bota, V., Lucaci, Ghe. - Raport general de execuție E "Căi de comunicație". Comportarea in situ a construcțiilor. Ediția a IV-a. Iași 1982.
96. Nicoară, L., Bota, V., Lucaci, Ghe. - Raport general de execuție E "Căi de comunicație". Comportarea in situ a construcțiilor. Ediția a V-a. Iași Neamț 1984.
97. Nicoară, L., Lucaci, Ghe., ș.a. - Cercetări. Indrumătorul lucrării de laborator. I.P. "Traian Vuia" Timișoara 1980.
98. Nicoară, L., Lucaci, Ghe., ș.a. - Imbrăcăminți rutiere. Indrumător de proiectare. I.P. "Traian Vuia" Timișoara, 1983.
99. Nicoară, L. - Drumuri, vol. III-V. I.P. "Traian Vuia" Timișoara 1975.
100. Nicoară, L. - Defecțiunile imbrăcăminților rutiere. Referat de doctorat. I.P. "Traian Vuia" Timișoara 1974.

101. Nicoară, L., Bilițiu, Aurica, Lucaci, Ghe., ș.a. - Considerații privind producerea mixturilor asfaltice la rece utilizând emulsie bituminosă cationică, cu rupere lentă. A 7-a Conferință a drumarilor. Pitești 1986.
102. Nicoară, L., Zarojanu, H., - Autostrăzi, I.P. "Traian Vuia" Timișoara 1976.
103. Nicoară, L., Bilițiu, Aurica, Ionescu, N. - Routes économiques. Routes à faible circulation. Rapport national la tema VIII. Al XV-lea Congres Mondial de drumuri, Mexico 1978.
104. Nicoară, L. Codul terminologiei rutiere. Buletinul nr. 1/1977.
105. Nicoară, L. - Despre necesitatea îmbunătățirii terminologiei rutiere și introducerea unor simboluri pentru mixturile asfaltice. A V-a Conferință a lucrătorilor de drumuri și poduri, Timișoara 1978, vol.1.
106. Nicoară, L., Fodor, G., Lucaci, Ghe. - Cunoașterea stării tehnice a drumului, necesitate stringentă pentru întreținerea eficientă și economică a acestuia. Simpozionul Academiei R.S.R., Baza de cercetări științifice Timișoara, 29 mai 1986.
107. Perez, F. - Technique d'entretien des routes nationales renforcées. Revue Générale des Routes et des Aéroports, no 551, 1979.
108. Phanzu, D. - Etude de la variation de deux paramètres importants, granulométrie du sable et teneur en liant des enrobés destinés au revêtements hydrocarbonés. Rapport d'étude, Lausanne 1982.
109. Pritz, T., Zakar, P. - Analyse des caractéristiques viscoélastiques dynamiques des bitumes routiers. Revue générale des routes et des aéroports, no 561/1980.
110. Prodea Virgil - Povestea celor trei R. București. Editura Albatros 1985.
111. Roussel, C., Deleurence, C. - Enrobés drainants au bitume caoutchouc rue Solférino à Lille. Revue Générale des Routes et des Aéroports, no 614/avril 1985.

112. Saintou, A. - Les aspects technique des enrobés élastiques au bitume caoutchouc. Flexochape. Spécial Drainochape. Revue Générale des Routes et des Aérodrômes, no 618, avril 1985.
113. Sauterey, R., Enrobés bitumineux pour couches de surface et assises. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, Spécial I, mars 1975.
114. Sauterey, R., Autret, P. - Guide d'auscultation des chaussées souples. Paris, Editions Eyrolles 1977.
115. Scala, Della, P., Giannini, P. - Technique de régénération et de recyclage. Rapport du Comité technique des routes souples, XVII Congrès Mondial de la Route, Sydney 1983.
116. Serfass, J., P. - Nouvelles technique d'entretien utilisant les bitumes-caoutchouc. Flexochape. Revue Générale des Routes et des Aérodrômes, no 596, avril 1983.
117. Serfass, J., P. - Recyclage des enrobés et retraitement en place de chaussées à l'émulsion. Revue générale des routes et des aérodrômes, no 627, février 1986.
118. Soliman, S., Khan, T., H. - Influence des paramètres de formulation sur le module et la résistance à la fatigue des graves-bitume. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, Spécial V, décembre 1977.
119. Tessonneau, Dominique - Chantier expérimental de recyclage à froid d'enrobés "Recycold", revue générale des routes et des aérodrômes, no 594, février 1983.
120. Udvardy, L., Mihaiu, Aurica, Bontean, S. - Proiectarea mixturilor asfaltice în condițiile optimizării tehnico-economice complexe. Aplicația informatică PROMIX. Revista transporturilor și telecomunicațiilor nr. 2/1981.

121. Ugé, P., Gest, G., Gravois, A., Bonnaure, P. - Nouvelle méthode de calcul du module des mélanges bitumineux. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, Spécial V, décembre 1977.
122. Ugé, P., Gravois, A. - Le comportement en fatigue des enrobés bitumineux; influence du liant. Revue générale des routes et des aérodrômes, no 521/1976.
123. Verstraeten, J., - Résistance à la déformation permanente. Rapport au XVI-ème Congrès Mondial des Routes. Viena 1979.
124. Viser, W. - Liants modifiés et additifs divers. Rapport général, question VI, Construction et entretien des chaussées. XVII Congrès mondial de la Route. Sydney 1983.
125. Zarojanu, Horia - Drumuri. Suprastructura. Institutul politehnic Iași 1973.
126. x x x Refolosirea mixturilor asfaltice la rece. Institutul de asfalt, 1983.
127. x x x Asphalt hot-mix recycling. Asphalt Institute, 1981.
128. x x x Instrucțiuni tehnice departamentale pentru determinarea indicilor de stare ai drumurilor modernizate cu îmbrăcăminti bituminose uscate. M.T.Tc., Institutul de cercetări și proiectări tehnologice în transporturi. București 1985.
129. x x x Instrucțiuni tehnice de execuție a mixturilor asfaltice pentru reparații pe bază de nisip bituminos. M.T.Tc. - Institutul de cercetări și proiectări tehnologice în transporturi. București 1986.
130. x x x Instrucțiuni tehnice departamentale pentru prevenirea și remedierea defecțiunilor îmbrăcămintelor rutiere. I.P. "Traian Vuia" Timișoara, Catedra de drumuri, fundații și instalații în construcții, 1985.

131. x x x - Normativ departamental privind folosirea directă a nisipurilor bituminose cu și fără adaos de bitum dur la executarea la cald a straturilor bituminose rutiere.
132. x x x - Instrucțiuni tehnice departamentale pentru măsurarea denivelărilor în profilul longitudinal al drumurilor cu ajutorul aparatului Viagraf. M.T.Tc. - Institutul de Cercetări și Proiectări Tehnologice în Transporturi. București 1985.
133. x x x - Colecție STAS. Lucrări de drumuri.
134. x x x - Coloque sur la route et l'energie. Construction et Entretien. A.I.P.C.R. Comité Francais. Rapport préparatoire. 1981.
135. x x x - Essai à l'ornieureur, avant-projet de mode opératoire. Laboratoire central des ponts et chaussées, 1981.
136. x x x - Catalogue de dégradations de chaussées S.E.T.R. A. et A.I.P.C.R. 1971.
137. x x x - Rapport du Comité Technique de la glissance et de l'uni, A.I.P.C.R., XV-e Congrès mondial de la route, Mexico 1975.
138. x x x - Instrucțiuni tehnice departamentale C.D. 31-77 pentru determinarea deformabilității drumurilor cu ajutorul deflectometrelor cu pîrghie. I.C.P.T.T. București, 1977.
139. x x x - Instrucțiuni pentru reciclarea mixturilor asfaltice. DDP Craiova 1983.
140. x x x - Instrucțiuni tehnice departamentale pentru dimensionarea sistemelor rutiere rigide și nerigide, indicație P.D. 177-76. I.C.P.T.T. și I.I.T.T.R.A. București, 1977.

141. x x x - Instrucțiuni tehnice de execuție a straturilor bituminoase cilindrate, realizate la rece pe bază de emulsie cationică de bitum (proiect). I.C.P.T.T. București, 1986.
142. x x x - Instrucțiuni metodologice de încercare a anrobatelor bituminoase la rece pe bază de emulsie cationică de bitum. I.C.P.T.T. București, 1986.
143. x x x - Instrucțiuni tehnice departamentale privind determinarea rezistenței la oboseală a straturilor bituminoase din alcătuirea sistemelor rutiere nerigide. I.C.P.T.T. București, 1979.
144. x x x - Les liants améliorés au caoutchouc de SACER. Revue Générale des Routes et des Aérodrômes, n^o 596, avril 1983.
145. x x x - Le Sacerflex. Revue Générale des Routes et des Aérodrômes, n^o 596, avril 1983.
146. x x x - Instrucțiuni tehnice de execuție a straturilor bituminoase cilindrate realizate la rece pe bază de emulsie cationică de bitum. INCERTKANS București 1986.
147. x x x - Rapport du Comité technique des routes souples. XVII Congrès Mondial de la Routes. Sydney 1983.
148. x x x - Rapport général, question II Construction et entretien des chaussées. Congrès Mondial de la Route, Sydney 1983.
149. x x x - Decretul Consiliului de Stat al R.S.R. nr. 465/1979 privind recuperarea și valorificarea resurselor materiale refolosibile, utilizarea și circulația ambalajelor.
150. x x x - Instrucțiuni C.D. 98-76 pentru prevenirea și remedierea defecțiunilor la îmbrăcămințile rutiere moderne. I.C.P.T.T., 1977.