

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII

Ing. Ioan PAȘCA

TEZĂ DE DOCTORAT

Contribuții la studiul posibilităților de obținere a
unor mixturi asfaltice fiabile

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

Conducător științific

Prof. dr. ing. Laurențiu NICOARĂ

Lucretia Nicoara

TIMIȘOARA, 1998

PREFAȚĂ

Datorită faptului că în România, din totalul lungimii drumurilor modernizate, cele cu îmbrăcămînți bituminoase au o pondere de peste 90 %, o parte însemnată a activității de cercetare în domeniul rutier a fost orientată, în ultimii douăzeci de ani, spre găsirea unor soluții moderne privind proiectarea și realizarea unor îmbrăcămînți bituminoase eficiente care să asigure drumurilor o stare de viabilitate corespunzătoare, în condițiile creșterii continue a traficului rutier și în special a celui greu.

Studiile și cercetările efectuate în acest scop au vizat în principal obținerea unor mixturi asfaltice de foarte bună calitate, realizate cu o gamă largă de agregate naturale dar și cu un conținut redus de bitum.

În acest sens au fost și sunt necesare cercetări laborioase privind calitatea agregatelor naturale și a liantului bituminos utilizate la fabricarea mixturilor asfaltice, concomitent cu studii și încercări sistematice, care să ducă la posibilitatea proiectării și realizării unor mixturi asfaltice care să fie utilizate cît mai eficient în tehnica rutieră.

În contextul acestor preocupări se înscrie și efortul autorului prezentei teze de doctorat, care a căutat să aducă unele contribuții la studiul și posibilitățile de realizare a unor mixturi asfaltice, în condiții de calitate și eficiență, utilizabile în mod curent în tehnica rutieră.

Teza de doctorat cuprinde cinci capitole extinse pe 269 pagini în care sunt incluse 58 figuri, 63 tabele, 46 formule și relații de calcul și 219 titluri bibliografice.

*

*

*

Cu alese sentimente, autorul își exprimă recunoștința sa față de conducătorul științific, domnul prof. dr. ing. Laurențiu NICOARĂ, care de-a lungul anilor i-a îndrumat, cu înaltă competență și exigență activitatea de studii și cercetări în vederea elaborării tezei de doctorat, precum și pentru perseverența cu care i-a călăuzit drumul în formarea sa profesională și științifică.

Îmi exprim recunoștința față de colectivul Catedrei de Drumuri și Fundații a Facultății de Construcții din Timișoara, care m-a găzduit mai mulți ani în laboratoarele sale de drumuri, acordându-mi tot sprijinul în realizarea unor studii și cercetări care în cea mai mare parte s-au materializat în elaborarea tezei de doctorat.

Adresez mulțumirile mele colegilor din Direcția Regională Drumuri și Poduri Timișoara, în special colectivului Laboratorului Central pentru ajutorul dat de-a lungul anilor, deosebit de necesar în elaborarea prezentei lucrări.

Călduroase mulțumiri aduc colectivului Firmei ALBIX Timișoara pentru sprijinul esențial și încurajările pe care mi le-au acordat în toată activitatea mea.

Mulțumesc cu considerație domnilor profesori universitari dr. ing. Horia ZAROJANU, dr. ing. Stelian DOROBANȚU și dr. ing. Gheorghe LUCACI, referenți științifici oficiali care, cu multă bunăvoință au analizat conținutul tezei de doctorat și care mi-au oferit, cu multă generozitate, prețioase sfaturi și îndemnuri pentru finalizarea acesteia.

Mulțumesc cu recunoștință tuturor colegilor și colaboratorilor din diverse unități de proiectare, cercetare ori producție care într-un fel sau altul, m-au ajutat și încurajat în finalizarea tezei.

În final doresc să-mi exprim, cu toată dragostea mea, grațitudinea față de soția Florica și fiul Ovidiu, pentru sprijinul și încurajările lor, pentru faptul că au fost și sunt pentru mine suporteri deosebiți.

Autorul

PREFAȚĂ	3
CUPRINS	6
Cap. 1. STUDIUL AGREGATELOR NATURALE	10
1.1. Clasificarea rocilor	11
1.2. Caracteristicile agregatelor naturale	15
1.3. Determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale agregatelor naturale din diverse cariere	17
1.3.1. Caracteristicile fizico-mecanice ale agregatelor naturale de la carierele Brănișca și Zam	17
1.3.2. Caracteristicile fizico-mecanice ale agregatelor naturale de la cariera Zlaști	28
1.3.3. Caracteristicile fizico-mecanice ale agregatelor naturale de la carierele Tălagiu, Romanița și Vîrfurile	32
1.3.4. Caracteristicile fizico-mecanice ale agregatelor naturale de la cariera Șanovița	34
1.3.5. Caracteristicile fizico-mecanice ale agregatelor naturale de la carierele Meri și Porceni	37
1.3.6. Caracteristicile fizico-mecanice ale agregatelor naturale de la cariera Maidan – Brădișorul de Jos	45
1.3.7. Caracteristicile fizico-mecanice ale agregatelor naturale de la cariera Crușovița	47
1.4. Concluzii privind calitatea criblurilor folosite la fabricarea amestecurilor asfaltice	50
1.5. Preocupări privind introducerea în practică a unor noi metode și tehnici vizînd ameliorarea calității agregatelor naturale	51
1.5.1. Încercarea cu albastru de metilen	52
1.5.2. Mașina mobilă pentru resortarea agregatelor naturale	56
Cap. 2. STUDIUL BITUMULUI UTILIZAT LA LUCRĂRILE DE DRUMURI	58
2.1. Considerații generale	59
2.2. Studii și investigații privind fabricarea bitumurilor pentru drumuri	62
2.3. Constatări privind calitatea bitumului de la rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău	67

2.3.1. Aspecte privind calitatea bitumului pentru drumuri produs în România	67
2.4. Caracterizarea bitumului din punct de vedere al compoziției	69
2.4.1. Grupele de componenți din bitum	71
2.4.2. Spectroscopia de absorbție în infraroșu IR	74
2.4.2.1. Caracterizarea compoziției biturilor prin spectroscopia de absorbție în IR	77
2.4.3. Cercetarea röntgenostructurală	78
2.5. Unele aspecte privind reologia bitumului	80
2.6. Îmbătrânirea bitumului	85
2.6.1. Metode de determinare a îmbătrânirii bitumului	91
2.6.2. Concluzii cu privire la îmbătrânirea biturilor fabricate din țițeiuri neparafinoase românești	97
2.7. Adezivitatea bitumului față de agregatele naturale	98
2.7.1. Metode de determinare a adezivității bitum – agregat	105
2.7.1.1. Metoda Riedel – Weber	106
2.7.1.2. Metode cu imersiune	106
2.7.1.3. Metode standardizate în România	112
2.7.1.4. Rezultate obținute în laborator privind adezivitatea	115
2.8. Preocupări privind modernizarea aparaturii de laborator	117
2.8.1. Aparat electronic pentru determinarea penetrației biturilor	117
2.8.2. Aparat electronic pentru determinarea punctului de înmuiere al biturilor	123
2.9. Considerații privind bitumul aditivat	128
2.9.1. Compoziția și proprietățile aditivilor	129
2.9.2. Tehnologia de obținere a bitumului aditivat	134
2.10. Bitumul modificat cu polimeri	134
2.10.1. Spectroscopia în IR pentru studierea bitumului modificat cu polimeri	144
CAP. 3. STUDIUL MIXTURILOR ASFALTICE REALIZATE CU BITUM D 80/120 DE LA RAFINĂRIA PETROLSUB SUPLACU DE BARCĂU	151
3.1. Tendințe actuale de cercetare a mixturilor asfaltice	152
3.2. Mixturi asfaltice realizate cu bitum pur (fără adaosuri)	153
3.2.1. Betoane asfaltice pentru stratul de uzură (B.A.16)	154

3.2.2. Betoane asfaltice deschise pentru stratul de legătură (B.A.D.25).....	158
3.2.3. Sectoare experimentale	158
3.3. Modulul de rigiditate al mixturilor asfaltice realizate cu bitum pur de la PETROLSUB	160
3.3.1. Determinarea modulului de rigiditate	160
3.4. Considerații privind comportarea la oboseală a mixturilor asfaltice	170
3.4.1. Generalități	170
3.4.2. Natura fizică și mecanismul fenomenului de oboseală	171
3.4.3. Caracterizarea energetică a fenomenului de oboseală	174
3.4.4. Curbele lui Wohler	175
3.4.5. Legea de cumulare a degradărilor Palmgren - Miner	177
3.4.6. Incercări la oboseală asupra mixturilor asfaltice	178
3.4.6.1. Legea de oboseală a mixturilor asfaltice	180
3.5. Mixturi asfaltice cu bitum D 80/120 aditivat	185
3.5.1. Sector experimental realizat din mixtură asfaltică tip B.A.16 pentru strat de uzură cu bitum D 80/120 de la PETROLSUB Suplacu de Barcău aditivat cu 1 % NFDA	188
3.5.2. Mixturi asfaltice realizate cu bitum D 80/120 de la PETROLSUB aditivat cu ITERLENE-IN 400	191
Cap. 4. CONSIDERAȚII PRIVIND FIABILITATEA LUCRĂRILOR RUTIERE REALIZATE DIN MIXTURI ASFALTICE	194
4.1. Noțiuni generale	194
4.1.1. Definierea noțiunii de fiabilitate	194
4.1.2. Sensurile interpretării (utilizării) conceptului de fiabilitate în domeniul construcției și întreținerii drumurilor	198
4.1.3. Clasificarea fiabilității	200
4.1.4. Modelarea matematică a fiabilității	202
4.1.5. Mentenabilitate. Disponibilitate	203
4.2. Structura rutieră - produs tehnic complex și fiabilitatea	205
4.2.1. Defectarea structurilor rutiere	206
4.2.2. Solicitățile drumului în exploatare	207
4.2.3. Culegerea datelor privind fiabilitatea	208

4.2.4. Sistemul informațional al ciclului de viață al drumurilor	208
4.3. Fiabilitatea structurilor rutiere realizate cu mixturi asfaltice.	
Concepții și metode adoptate din teoria fiabilității	212
4.3.1. Fiabilitatea straturilor și a structurilor rutiere	212
4.3.2. Fiabilitatea empirică și parametrică Weibull aplicată la structurile, respectiv straturile rutiere	214
4.3.3. Studiu de caz privind încercările de fiabilitate asupra îmbrăcăminților bituminoase	217
4.3.3.1. Observații privind prelucrarea și interpretarea informațiilor	222
4.3.3.2. Concluzii	224
Cap. 5. CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI APLICABILITATEA ACESTORA	225
BIBLIOGRAFIE	239

CAP. 1. STUDIUL AGREGATELOR NATURALE

Agregatele naturale sunt materiale de origine minerală, care provin din sfărâmarea naturală sau artificială a rocilor. Ele reprezintă 85 % din masa totală a structurii rutiere, ceea ce echivalează cu 50...75 % din valoarea suprastructurii drumurilor. Agregatele naturale reprezintă 93...96 % din conținutul mixturilor asfaltice și cea mai mare parte a betoanelor de ciment pentru drumuri.

Proprietățile agregatelor naturale variază în limite largi, în funcție de structura, modul de formare și procesul de alterare pe care l-a suferit roca din care acestea provin. Folosirea agregatelor naturale în diferite sectoare ale construcției de drumuri impune ca o necesitate cunoașterea caracteristicilor fizico-mecanice ale acestora știind că acestea pot avea un mare impact asupra fiabilității drumurilor.

Cercetările în domeniul agregatelor naturale se fac întodeauna pe o bază pluridisciplinară fiind antrenați cercetători geologi, geotehnicieni și ingineri de drumuri.

Studiile de laborator se referă la stabilirea caracteristicilor agregatelor pentru diverse utilizări și rezolvarea unor probleme privind concasarea, sortarea și spălarea agregatelor.

Pentru execuția lucrărilor de întreținere și reparații pentru drumurile naționale, se consumă anual agregate naturale de carieră și balastieră în cantitate de 1300000 tone de criblură și 7000000 tone produse de balastieră.

Pentru execuția aceluiași lucrări, la drumurile locale se consumă anual 6300000 tone produse de carieră și balastieră, din care 1000000 tone criblură și 2000000 tone piatră spartă din care 2500000 tone producție industrială în regie.

În acest context se evidențiază necesitatea de a cunoaște parametrii calitativi ai agregatelor naturale, a amplasamentului carierelor și balastierelor precum și a cerințelor cărora trebuie să le corespundă, tocmai pentru a le putea utiliza în modul cel mai eficient.

Din datele prezentate rezultă importanța care trebuie acordată calității agregatelor naturale.

În acest studiu autorul se referă cu precădere la ceea ce în mod curent se numește “piatră naturală pentru drumuri” provenită prin prelucrarea rocilor extrase din zăcămintele masive, sub formă de piatră spartă în formele și dimensiunile necesare lucrărilor rutiere în general și în mod special la cribluri.

1.1. Clasificarea rocilor

În tratatele de specialitate [33; 35] rocile se clasifică după mai multe criterii și anume: geneză, textură, structură etc.

În ceea ce privește utilizarea rocilor la lucrările de drumuri interesează în mod special conținutul de cuarț (SiO_2), dar și caracteristicile fizico-mecanice ale acestora. Clasificarea rocilor în funcție de conținutul de cuarț este prezentată în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1

Natura rocii	Conținutul de SiO_2 , în %
Rocile acide	65...75
Roci neutre	50...65
Roci bazice	40...50

Această clasificare este foarte importantă din punct de vedere practic întrucât indică dacă pe rocile respective există o bună sau o slabă adezivitate a bitumului, problemă pe care autorul o tratează în capitolul următor dedicat studiului bitumului pentru drumuri.

În general la lucrările rutiere și în mod special pentru producerea criblurilor, se recomandă utilizarea cu precădere a rocilor eruptive (magmatice) de următoarele tipuri:

- roci granitice (granit, diorit, granodiorit, gabrou);
- roci porfirice (porfir, dacit);
- roci bazaltice (bazalt, andezit, trabit).

Aceste roci sunt caracterizate de proprietăți fizico-mecanice (densitate, duritate și rezistență la compresiune) foarte mari.

Rocile eruptive. Acestea s-au format în urma solidificării magmei vulcanice la niveluri diferite ale scoarței terestre.

Din punct de vedere chimico-mineralogic [35] rocile eruptive sunt alcătuite în principal din cuarț, feldspat și mică. Cuarțul este componentul stabil al rocilor eruptive, de conținutul căruia depind proprietățile fizico-mecanice și chimice ale acestora. Funcție de conținutul de cuarț (liber sau sub formă de SiO_2) rocile eruptive au un caracter acid, neutru sau bazic.

Rocile acide au o culoare deschisă, densitatea aparentă cuprinsă între 2200 și 2600 kg/m^3 , rezistență la compresiune mare, 1200...2000 daN/m^2 și sunt indicate în amestecuri cu lianți hidraulici. Nu sunt indicate la fabricarea mixturilor asfaltice deoarece adezivitatea bitumului la aceste roci este slabă tocmai datorită acidității lor. Amintesc aici granitul și porfirul.

Rocile neutre sunt mai închise la culoare, au o densitate aparentă între 2500...2700 kg/m^3 și o rezistență la compresiune între 1500...2500 daN/m^2 . În această categorie intră dioritul și dacitul.

Rocile bazice sunt de culoare închisă, cu o densitate aparentă în jur de 3000 kg/m^3 și cu o rezistență la compresiune de pînă la 4500 daN/m^2 . În această categorie intră bazaltul, gabroul, diabazul și andezitul.

Rocile sedimentare se prezintă sub forma unor depozite obținute în urma proceselor de distrugere fizico-chimică a rocilor eruptive sau metamorfice.

După modul lor de formare pot fi de origine mecanică, de precipitație sau de origine organică. Din categoria rocilor sedimentare sectorul rutier folosește mai ales: nisipul, balastul, calcarele și bolovanii după concasare.

Rocile metamorfice s-au format prin transformarea rocilor eruptive și sedimentare sub acțiunea presiunii și a temperaturii înalte. Pricipalele roci metamorfice sunt: gnaisurile și micașisturile, cuarțitele și marmura.

În tabelul 1.2 se prezintă conținutul de SiO_2 al câtorva tipuri de roci

Tabelul 1.2

Tipul rocii	Conținutul de SiO_2, %
Marmură	0...14
Calcar	0...50
Bazalt	40...53
Diorit	49...65
Gresie	60...100
Granit	64...70
Cuarț	86...100

Deoarece în tehnica rutieră un rol important îl au agregatele naturale amestecate cu diferiți lianți ca: lianții minerali (cimentul și varul); lianții puzzolanici (cenușa de termocentrală, zgura de furnal, fosfogipsul și tufurile vulcanice) și lianții hidrocarbonați (bitumul și emulsiile bituminoase), afinitatea dintre componenții amestecurilor trebuie să fie foarte bună. În acest sens se precizează că lianții minerali și puzzolanici au o afinitate bună față de orice tip de agregate naturale, indiferent dacă provin din roci acide sau bazice. Problema este complet diferită în cazul lianților bituminoși, întrucât bitumul are o adezivitate foarte bună pe roci de natură bazică și slabă pe roci de natură acidă.

1.2. Caracteristicile agregatelor naturale

Caracteristicile agregatelor naturale folosite în lucrările de drumuri se pot clasifica în:

- caracteristici intrinseci, care depind în special de natura rocilor din care acestea provin;
- caracteristici de fabricație, care depind în special de modul de obținere a agregatelor naturale.

România dispune de materiale pietroase de foarte bună calitate. Studierea completă a caracteristicilor acestora a fost realizată de CESTRIN București - Secția Drumuri. Pentru o cunoaștere cât mai precisă a calității produselor de carieră a fost necesară precizarea clasei rocii la carierele furnizoare de materiale pentru sectorul rutier, domeniul de utilizare la lucrările de drumuri a acestora fiind în funcție de clasa minimă în care se încadrează roca.

Scopul studiului este tocmai determinarea caracteristicilor fizico-mecanice care definesc clasa rocii, atât pe roca de proveniență cât și pe agregatele naturale rezultate în urma prelucrării acesteia.

Un mare volum de cercetări de laborator au fost efectuate în acest scop și de laboratoarele direcțiilor regionale de drumuri și poduri, context în care se înscrie și contribuția autorului care a lucrat în cadrul laboratorului D.R.D.P. Timișoara și al Laboratorului de încercări al Catedrei de Drumuri și Fundații de la Facultatea de Construcții din Timișoara, timp de peste 10 ani.

Întrucît experimentările și cercetările ulterioare s-au făcut cu agregate naturale prelucrate și neprelucrate folosite la lucrările de drumuri și în special pentru fabricarea mixturilor asfaltice, în teză vor fi tratate în continuare numai carierele care au aprovizionat D.R.D.P. Timișoara (fig. 1.1).

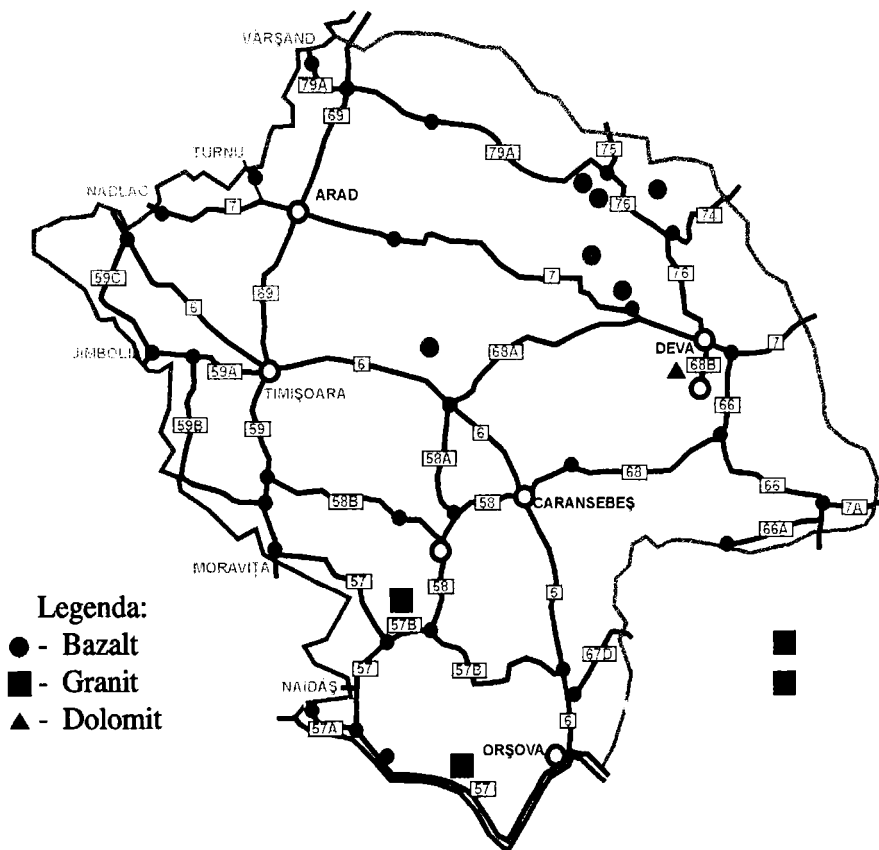


Fig. 1.1. Carierele care au aprovizionat D.R.D.P. Timișoara.

În tabelul 1.3 sunt prezentate carierele de la care s-au aprovizionat criblurile respective.

Tabelul 1.3

Nr. crt.	Carieră	Natura petrografică
1	Zam	dolerit
2	Brănișca	bazalt (andezit bazaltoid)
3	Zlaști	dolomit
4	Tălagiu	andezit cu piroxeni și amfiboli
5	Romanița	andezit cu piroxeni
6	Șanovița	bazalt cu olivină
7	Meri	granit cu biotit și hornblendă
8	Porceni	granit
9	Vîrfurile	andezit piroxenic
10	Maidan - Brădișoru de Jos	granodiorit
11	Crușovița	granit cu biotit și hornblendă

În continuare se vor prezenta succint rezultatele cercetărilor întreprinse în mod sistematic asupra calității agregatelor provenite de la cele 11 cariere folosite ca surse de aprovizionare.

1.3. Determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale agregatelor naturale din diverse cariere

1.3.1. Caracteristicilor fizico-mecanice ale agregatelor naturale de la carierele Brănișca și Zam

Studiile au fost realizate pe piatră brută, piatră spartă 25 - 63 și pe criblurile sorturi 3 - 8; 8 - 16 și 16 - 25. S-au determinat principalele caracteristici fizico-mecanice: porozitatea, rezistența la compresiune, uzura Los Angeles, coeficientul de calitate, rezistența la îngheț-dezghet, granulozitatea criblurilor etc. Rezultatele sunt prezentate în tabelele: 1.4; 1.5; 1.6; 1.7.

02. 10/2010

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Proba				
			1	2	3	4	5
			Valori medii				
1	Densitate	g/cm ³	2,775	2,790	2,780	2,830	2,829
2	Densitate aparentă						
	- prin măsurători	g/cm ³	2,668	2,671	2,662	2,666	2,662
	- prin volum de apă distilată	g/cm ³	2,669	2,678	2,669	2,666	2,661
3	Compactitate	%	96,88	95,88	95,90	94,10	94,10
4	Porozitate aparentă la presiune normală	%	3,12	4,12	4,10	5,9	5,9
5	Porozitate	%	0,56	0,54	0,01	1,09	1,06
6	Absorbția de apă						
	- la presiune normală	%	0,21	0,20	0,23	0,41	0,40
	- prin fierbere	%	0,25	0,23	0,25	0,48	0,45
7	Coeficient de saturație	-	0,84	0,87	0,92	0,85	0,89
8	Coeficient de gelivitate	%	0	0	0	0	0
9	Rezistența la compresiune						
	- în stare uscată	N/mm ²	199	163	162	122	114
	- în stare saturată	N/mm ²	143	153	155	114	104
	- după 25 cicluri de îngheț-dezghet	N/mm ²	112	148	138	101	98
10	Coeficient de înmuiere după saturare cu apă	%	28,14	6,13	4,32	6,56	8,77
11	Coeficient de înmuiere după 25 cicluri de îngheț-dezghet	%	43,72	9,20	14,81	17,21	14,04
12	Rezistența la șoc mecanic	N/mm ²	4,3	3,12	3,82	4,4	2,8
13	Uzura prin frecare pe cale uscată (Böhme)	g/cm ²	0,170	0,153	0,185	0,183	0,171

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Proba				
			1	2	3	4	5
			Valori medii				
1	Densitate	g/cm ³	2,829	2,857	2,829	2,849	2,858
2	Densitate aparentă						
	- prin măsurători	g/cm ³	2,742	2,741	2,730	2,779	2,745
	- prin volum de apă distilată	g/cm ³	2,744	2,744	2,738	2,782	2,750
3	Compactitate	%	96,96	96,00	96,64	97,58	96,15
4	Porozitate aparentă la presiune normală	%	3,04	4,00	3,36	2,42	3,85
5	Porozitate	%	0,38	1,45	0,41	0,33	1,46
6	Absorbția de apă						
	- la presiune normală	%	0,14	0,53	0,15	0,12	0,53
	- prin fierbere	%	0,17	0,67	0,22	0,15	0,67
7	Coeficient de saturație	-	0,82	0,79	0,68	0,80	0,79
8	Coeficient de gelivitate	%	0	0	0	0	0
9	Rezistența la compresiune						
	- în stare uscată	N/mm ²	142	158	165	159	161
	- în stare saturată	N/mm ²	124	142	149	144	144
	- după 25 cicluri de îngheț-dezghet	N/mm ²	74	86	120	103	90
10	Coeficient de înmuiere după saturare cu apă	%	12,68	10,12	9,70	9,43	10,56
11	Coeficient de înmuiere după 25 cicluri de îngheț-dezghet	%	47,89	45,57	27,27	35,22	44,10
12	Rezistența la șoc mecanic	N/mm ²	4,0	4,0	5,0	4,9	4,1
13	Uzura prin frecare pe cale uscată (Böhme)	g/cm ²	0,07	0,11	0,14	0,09	0,11

Nr. ert.	Caracteristica	UM	Proba				
			1	2	3	4	5
			Valori medii				
1	Porozitate la presiune normală	%	3,12	4,12	4,10	5,9	5,9
2	Rezistența la compresiune în stare uscată	N/mm ²	199	163	162	122	114
3	Rezistența la uzură cu mașina Los Angeles	%	6,60	6,67	6,70	7,2	7,5
4	Coeficientul de calitate	%	9,30	9,46			
5	Rezistența la îngheț-dezghet - coeficientul de gelivitate - sensibilitatea la îngheț	%	0	0			
		%	18,2	17,4			
6	Clasa rocii (SR - 667)		B	B	B	B	B

Nr. ert.	Caracteristica	UM	Proba				
			1	2	3	4	5
			Valori medii				
1	Porozitate la presiune normală	%	3,04	4,00	3,36	2,42	3,85
2	Rezistența la compresiune în stare uscată	N/mm ²	142	158	165	159	161
3	Rezistența la uzură cu mașina Los Angeles	%	6,81	6,72	6,80	6,85	6,68
4	Coeficientul de calitate	%	11,94	11,77			
5	Rezistența la îngheț-dezghet - coeficientul de gelivitate - sensibilitatea la îngheț	%	0	0			
		%	15,6	19,1			
6	Clasa rocii (SR - 667)		B	B	B	B	B

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Proba	
			1	2
			Valori medii	
1	Densitate	g/cm ³	2,814	2,812
2	Densitate aparentă	g/cm ³	2,621	2,621
3	Porozitate aparentă la presiune normală	%	6,86	6,79
4	Densitate în grămadă			
	- în stare afînată	g/cm ³	1,275	1,277
	- în stare îndesată	g/cm ³	1,512	1,517
5	Absorbția de apă la presiune normală	%	1,02	1,02
6	Volum de goluri			
	- în stare afînată	%	51,3	51,28
	- în stare îndesată	%	42,1	42,12
7	Forma granulelor - coeficient de formă	%	23,42	23,4
8	Rezistența la uzură Los Angeles			
	- în stare uscată	%	11,73	11,92
	- după 25 cicluri de îngheț-dezghet	%	13,05	13,16
9	Rezistența la îngheț-dezghet			
	- coeficientul de gelivitate	%	0,03	0,06
	- sensibilitatea la îngheț	%	11,25	10,40
10	Conținutul de impurități			
	- corpuri străine argilă	%	Nu	Nu
	- conținut de fracțiuni sub 0,09 mm	%	0,04	0,03
11	Compoziția granulometrică			
	- rest pe ciurul de 25 mm	%	33	38
	- rest pe ciurul de 16 mm	%	57,5	54,5
	- treceri prin ciurul de 16 mm	%	9,5	7,5
	Abateri de la granulozitate			
	- rest pe ciurul cu d _{max}	%	33	38
- trecere prin ciurul cu d _{min}	%	9,5	7,5	

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Proba	
			1	2
			Valori medii	
1	Densitate	g/cm ³	2,887	2,887
2	Densitate aparentă	g/cm ³	2,739	2,740
3	Porozitate aparentă la presiune normală	%	5,13	5,09
4	Densitate în grămadă			
	- în stare afînată	g/cm ³	1,330	1,325
	- în stare îndesată	g/cm ³	1,423	1,428
5	Absorbția de apă la presiune normală	%	0,99	0,88
6	Volum de goluri			
	- în stare afînată	%	51,44	51,64
	- în stare îndesată	%	48,05	47,89
7	Forma granulelor - coeficient de formă	%	23,42	22,10
8	Rezistența la uzură Los Angeles			
	- în stare uscată	%	11,6	11,80
	- după 25 cicluri de îngheț-dezgeț	%	13,40	13,67
9	Rezistența la îngheț-dezgeț			
	- coeficientul de gelivitate	%	0,92	1,07
	- sensibilitatea la îngheț	%	15,52	15,85
10	Conținutul de impurități			
	- corpuri străine argilă	%	lipsă	lipsă
	- conținut de fracțiuni sub 0,09 mm	%	1,11	0,49
11	Compoziția granulometrică			
	- rest pe ciurul de 25 mm	%	57,0	58,0
	- rest pe ciurul de 16 mm	%	39,0	37,1
	- treceri prin ciurul de 16 mm	%	4,0	4,9
	Abateri de la granulozitate			
	- rest pe ciurul cu d_{max}	%	57,0	58,0
	- trecere prin ciurul cu d_{min}	%	4,0	4,9

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Proba	
			1	2
			Valori medii	
1	Densitate	g/cm ³	2,760	2,761
2	Densitate aparentă	g/cm ³	2,597	2,595
3	Porozitate aparentă la presiune normală	%	6,7	6,0
4	Densitate în grămadă			
	- în stare alfinată	g/cm ³	1,230	1,225
	- în stare îndesată	g/cm ³	1,530	1,530
5	Absorbția de apă la presiune normală	%	1,60	1,61
6	Volum de goluri			
	- în stare alfinată	%	50	53
	- în stare îndesată	%	39	41
7	Rezistența la uzură Los Angeles			
	- în stare uscată	%	13,5	13,0
	- după 25 cicluri de îngheț-dezghet	%	17,0	16,15
8	Rezistența la îngheț-dezghet			
	- coeficientul de gelivitate	%	2,2	1,84
	- sensibilitatea la îngheț	%	24,0	24,2
9	Conținutul de impurități			
	- corpuri străine argilă	%	Nu	Nu
	- conținut de fracțiuni sub 0,09 mm	%	2,5	2,2
10	Compoziția granulometrică			
	- rest pe ciurul cu dimensiunea ochiurilor, d _{max}	%	1,0	0
	- trecere prin ciurul cu dimensiunea ochiurilor, d _{min}	%	8,6	7,5

Criblură sort 8 - 16, cariera ZAM

Tabelul 1.11

Nr. ert.	Caracteristica	UM	Proba	
			1	2
			Valori medii	
1	Densitate	g/cm ³	2,915	2,888
2	Densitate aparentă	g/cm ³	2,748	2,741
3	Porozitate aparentă la presiune normală	%	5,4	5,0
4	Densitate în grămadă			
	- în stare alfinată	g/cm ³	1,415	1,420
	- în stare îndesată	g/cm ³	1,675	1,665
5	Absorbția de apă la presiune normală	%	0,43	0,47
6	Volum de goluri			
	- în stare alfinată	%	48	48
	- în stare îndesată	%	39	39
7	Forma granulelor - coeficient de formă	%	22,78	
8	Rezistența la uzură Los Angeles			
	- în stare uscată	%	11,05	12,15
	- după 25 cicluri de îngheț-dezghet	%	17,43	17,30
9	Rezistența la îngheț-dezghet			
	- coeficientul de gelivitate	%	2,33	2,27
	- sensibilitatea la îngheț	%	57,73	42,39
10	Conținutul de impurități			
	- corpuri străine argilă	%	lipsă	lipsă
	- conținut de fracțiuni sub 0,09 mm	%	1,25	1,05
11	Compoziția granulometrică			
	- rest pe ciurul cu dimensiunea ochiurilor, d_{max}	%	1,05	1,25
	- trecere prin ciurul cu dimensiunea ochiurilor, d_{min}	%	50,0	47,75

Criblură sort 3 - 8, cariera BRĂNIȘCA

Tabelul 1.12

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Proba	
			1	2
			Valori medii	
1	Densitate	g/cm ³	2,765	2,762
2	Densitate aparentă	g/cm ³	2,520	2,515
3	Porozitate aparentă la presiune normală	%	8,7	9,0
4	Densitate în grămadă			
	- în stare afînată	g/cm ³	1,245	1,240
	- în stare îndesată	g/cm ³	1,500	1,500
5	Absorbția de apă la presiune normală	%	2,50	2,77
6	Volum de goluri			
	- în stare afînată	%	49	51
	- în stare îndesată	%	40	40
7	Rezistența la uzură Los Angeles			
	- în stare uscată	%	16,2	17,4
	- după 25 cicluri de îngheț-dezghet	%	18,0	18,5
8	Rezistența la îngheț-dezghet			
	- coeficientul de gelivitate	%	2,4	0,18
	- sensibilitatea la îngheț	%	9,7	6,32
9	Conținutul de impurități			
	- corpuri străine argilă	%	lipsă	lipsă
	- conținut de fracțiuni sub 0,09 mm	%	5,3	4,6
10	Compoziția granulometrică			
	- rest pe ciurul cu dimensiunea ochiurilor, d _{max}	%	1,0	1,0
	- trecere prin ciurul cu dimensiunea ochiurilor, d _{min}	%	10,0	9,2

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Proba	
			1	2
			Valori medii	
1	Densitate	g/cm ³	2,864	2,870
2	Densitate aparentă	g/cm ³	2,513	2,519
3	Porozitate aparentă la presiune normală	%	12,26	12,27
4	Densitate în grămadă			
	- în stare alfinată	g/cm ³	1,40	1,42
	- în stare îndesată	g/cm ³	1,72	1,71
5	Absorbția de apă la presiune normală	%	3,09	3,14
6	Volum de goluri			
	- în stare alfinată	%	43,49	43,63
	- în stare îndesată	%	31,56	31,11
7	Rezistența la uzură Los Angeles			
	- în stare uscată	%	15,0	17,89
	- după 25 cicluri de îngheț-dezghet	%	17,85	18,6
8	Rezistența la îngheț-dezghet			
	- coeficientul de gelivitate	%	2,70	3,00
	- sensibilitatea la îngheț	%	15,97	3,97
9	Conținutul de impurități			
	- corpuri străine argilă	%	lipsă	lipsă
	- conținut de fracțiuni sub 0,09 mm	%	3,73	3,95
10	Compoziția granulometrică			
	- rest pe ciurul cu dimensiunea ochiurilor, d _{max}	%	4,8	5,6
	- trecere prin ciurul cu dimensiunea ochiurilor, d _{min}	%	15,4	19,2

Analizând caracteristicile fizico-mecanice ale celor trei sorturi de criblură livrate de carierele Brănișca și Zam prezentate în tabelele 1.8; 1.9; 1.10; 1.11; 1.12 și 1.13, rezultă următoarele **observații** mai importante:

Criblurile sort 16 - 25 atât de la cariera Brănișca, cât și de la cariera Zam nu respectă condiția de granulozitate, deoarece rest pe ciurul de 25 mm reprezintă 33...38 % la Brănișca și 57...58 % la Zam;

- coeficientul de formă este corespunzător pentru ambele cariere;
- rezistența la uzură Los Angeles este foarte bună 11..12 % pentru criblura de la Brănișca și de la Zam;

- rezistența la îngheț-dezgheț este foarte bună.

Criblura sort 8 - 16, sunt valabile aceleași considerente ca la criblura sort 16 - 25, respectiv nu corespunde ca granulozitate.

Celelalte caracteristici ca rezistența la uzură Los Angeles și rezistența la îngheț-dezgheț sunt bune.

Criblura sort 3 - 8 nu corespunde din punct de vedere al granulozității avînd fracțiunea sub 0,09 mm cuprinsă între 4,6 și 5,3 % pentru cariera Brănișca și între 3,73 și 3,95 % pentru cariera Zam, din punct de vedere al standardului procentul admis fiind de 1,2 %.

Celelalte caracteristici ca Los Angeles, rezistența la îngheț-dezgheț sunt corespunzătoare.

Concluziile privind calitatea criblurilor de la cele două cariere Brănișca și Zam sunt următoarele:

- roca de la cariera Brănișca este de tip bazalt, masivă, fără alterări hidrotermale, în timp ce roca de la Zam este un dolerit cu textură masivă și este afectată de alterări hidrotermale;

- ambele roci sunt roci grele, cu valori bune ale rezistenței la uzura Los Angeles și la îngheț-dezghet;

- criblura sort 16 - 25 mm nu corespunde ca granulozitate avînd un conținut în fracțiuni peste 25 mm prea mare;

- criblura sort 8 - 16 de la Zam nu corespunde ca granulozitate avînd un conținut prea mare în fracțiuni sub 8 mm, respectiv 47...50 %; cea de la Brănișca este bună;

- criblura sort 3 - 8 livrată de ambele cariere prezintă un conținut de fracțiuni sub 0,09 mm, mult peste limita admisă, fapt ce denotă că nu este asigurat gradul de curățenie.

În ceea ce privește granulozitatea criblurilor aceasta poate fi ușor corectată prin sortare (ciuruire). Este foarte important ca să se folosească cribluri de la aceste cariere mai ales pentru lucrări de reabilitare, întrucît rezistența rocilor este foarte bună.

1.3.2. Caracteristicile fizico-mecanice ale agregatelor naturale de la cariera Zlaști

Studiile au fost realizate de către INCERTRANS Secția cercetări drumuri și de către laboratorul D.R.D.P. Timișoara.

Din punct de vedere petrografic roca este un **calcar dolomitic** de culoare cenușie-negricioasă avînd următoarea compoziție mineralogic (exprimată în procente):

- calcit 48...70;
- dolomit 15...20;
- oxizi de fier 2;
- cuarț 2...3;
- feldspați 1;
- minerale opace 1.

Caracteristicile fizico-mecanice ale rocii de proveniență sunt prezentate în tabelul 1.14.

Rocă - cariera ZLAȘTI

Tabelul 1.14

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Proba			Media	Intervalul de variație
			1	2	3		
1	Densitate	g/cm ³	2,844	2,844	2,844	2,844	2,844...2,844
2	Densitate aparentă	g/cm ³	2,812	2,806	2,798	2,805	2,798...2,812
3	Compactitate	%	98,87	98,66	98,40	98,64	98,40...98,97
4	Porozitate la presiune și temperatură normală	%	1,13	1,34	1,60	1,35	1,13...1,60
5	Porozitate aparentă	%	0,961	0,974	0,972	0,969	0,961...0,972
6	Absorbția de apă la presiune și temperatură normală	%	0,34	0,35	0,35	0,35	0,34...0,35
7	Coefficient de gelivitate	%	0	0	0	0	0
8	Rezistența la compresiune						
	- în stare uscată	N/mm ²	145	190	149	161	145...190
	- în stare saturată	N/mm ²	126	179	121	142	121...179
	- după 25 cicluri de îngheț-dezgheț	N/mm ²	112	142	119	122	112...142
9	Coefficient de înmuiere	%	13,1	5,8	18,8	12,5	5,8...18,8
10	Coefficient de înmuiere după 25 cicluri de îngheț-dezgheț	%	22,7	25,2	20,1	22,6	20,1...25,2
11	Rezistența la șoc mecanic	N/mm ²	5,6	4,9	5,7	5,4	4,9...5,7
12	Natura petrografică		calcar dolomitic	calcar dolomitic	calcar saprope-lic	0,09	0,11

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Sort 3 - 8		Sort 8 - 16		Sort 16 - 25		Condiții admisibilitate (SR - 667)
			Valoare medie	Interval de variație	Valoare medie	Interval de variație	Valoare medie	Interval de variație	
1	Densitate aparentă	g/cm ³	-		2.371	2.72...2.738	2.779	2.743...2.805	min 1.800
2	Porozitate aparentă	%	-		1.728	1.504...2.148	1.418	0.81...1.779	max 5
3	Absorbția de apă	%	-		0.63	0.55...0.79	0.519	0.289...0.638	max 3
4	Densitate în stare afînată	kg/m ³	1318	1318...1318	1282	1273...1293	1378	1363...1393	min 140
	În stare îndesată	kg/m ³	1555	1553...1558	1488	1483...1493	1485	1481...1490	
5	Volum de goluri	%	50		51		51		max 50
6	Granulozitate	%	conf. tab. 1.16		conf. tab. 1.16		conf. tab. 1.16		
7	Conținutul de granule	%	7.7	7.4...8	0		0		
		%	3.5		6.7	5.4...8	18.4	17.0...19.8	max 10
8	Coefficientul de formă	%	22	18...24	14.5	13.4...15.4	6.6	3...10	
	Conținutul de impurități	%	lipsă		lipsă		lipsă		nu se admit
9		%	2.47	2.46...2.48	1.1	1.1...1.2	0.6	0.6...0.6	
	Uzura cu mașina Los Angeles	%	24.6	24...25.3	23	22.6...23.5	21.7	20...23.4	max 20...22
10	Uzura cu mașina L.A. după înghet-dezghet	%	-		23.3	22.8...23.8			
11	Rezistența la înghet-dezghet	%	-		0.4	0.3...0.5			
		%	-		1.3	1.0...1.7			

Caracteristicile fizico-mecanice ale criblurilor de la cariera Zlaști sunt prezentate în tabelul 1.15.

Rezultatele privind granulozitatea criblurilor de Zlaști determinate în laboratorul central al D.R.D.P. Timișoara sunt prezentate în tabelul 1.16 și atestă o granulozitate necorespunzătoare pentru toate sorturile de criblură livrate de această carieră.

Granulozitate sorturi, cariera ZLAȘTI

Tabelul 1.16

Nr. crt.	Caracteristica	ϕ mm	UM	Sort				Cond. de calitate (SR-667)
				16 - 25	8 - 16	3 - 8	0 - 3	
1	Granulozitate treceri prin ciur sau sita de mm	30	%	100,0				
		25		99,2	100,0			
		16		30,5	98,3	100,0		
		8		0,8	15,8	95,7	100,0	
		3			1,6	17,0	97,4	
		1				1,9	50,5	
		0,2				0,9	11,4	
	0,9				0,7	3,2		
2	Conținutul de granule	care rămân pe ciurul superior	%	0,8	1,7	4,3		max 5
		care trec prin ciurul inferior	%	31,3	17,4	20,5		max 10
3	Uzura Los Angeles		%	24,0	26,0	31,0		max. 20...22

Concluzii: criblurile provenite din calcarul dolomitic de la cariera Zlaști nu corespund din punct de vedere al granulozității și nici a rezistenței la uzură Los Angeles condițiilor impuse de standardele în vigoare.

0	1	2	3	4	5
10	Rezistența la uzură prin rostogolire	%	3,10	3,40	3,25
11	Coeficient de calitate		11,76	12,90	12,33
12	Rezistența la sfărîmare prin șoc	%	89,64	90,17	89,90
13	Indicele de rezistență la șoc mecanic		22,77	24,50	23,47
14	Rezistența de sfărîmare prin compresivune:				
	- în stare uscată;	%	79,46	80,00	79,3
	- în stare saturată.	%	76,78	77,50	77,14
15	Indicele de rezistență la sfărîmare prin compresivune:				
	- în stare uscată;		5,66	5,85	5,74
	- în stare saturată.		5,40	5,47	5,43
16	Rezistența la strivire	%	11,96	12,68	12,23
17	Coeficient volumic mediu		-	-	0,25
18	Coeficient de gelivitate	%	-	-	0
19	Coeficient de înmuiere: după saturare cu apă	%	-	-	0,97
20	Rezistența la uzură cu mașina tip Los Angeles	%	17,40	17,65	17,52

Din analiza rezultatelor și a concluziilor formulate de laborator reiese că nici o criblură nu corespunde din punct de vedere al granulozității și al rezistenței la uzură Los Angeles, deși roca de proveniență are caracteristici corespunzătoare, întrucît carierele de mai sus nu s-au preocupat de îmbunătățirea calității criblurilor, ele nu pot fi folosite la realizarea îmbrăcăminților bituminoase.

Tabelul 1.18

Cariera	Sort	rest pe ciur superior, %	trecere prin ciur inferior, %	fracțiuni sub 0,09 mm, %	Los Angeles %	Oservații
Vîrfuri II	3 - 8	0	54,0	3,2	29	
	8 - 16	1,1	19,0	3,0	29	
	16 - 25	5,0	17,0	-	29	
Tălagiu	3 - 8	1,7	34,0	-	34,0	
	8 - 16	0,0	2,0	-	30,0	
	16 - 25	3,2	25,2	-	29,0	
Romanița	3 - 8	4,8	28,0	1,5	34,9	granule plate și aciculare necorespun- zătoare
	8 - 16	1,5	5,0	-	-	
	16 - 25	3,5	14,7	-	34,9	

1.3.4. Caracteristicile fizico-mecanice ale agregatelor naturale de la cariera Șanovița

Roca de la cariera Șanovița este o rocă eruptivă bazică, bazalt cu olivină, de culoare neagră avînd următoarea compoziție medie (exprimată în procente):

- olivină20;
- angit30;
- feldspați45;
- minerale opace5.

Tabelul 1.19

Nr. crt.	Caracteristicile fizico-mecanice	UM	Valori		
			medii	minime	maxime
1	Densitate	kg/m ³	2.901	2.898	2.904
2	Densitate aparentă	kg/m ³	2.609	2.596	2.631
3	Compactitate	%	89,93		
4	Porozitate	%	10,07		
5	Densitate în vrac, în stare afînată	kg/m ³	1.245	1.240	1.250
6	Densitate în vrac, în stare îndesată	kg/m ³	1.398	1.395	1.400
7	Absorbție de apă, la presiune și temperatură normală	%	1,27	1,02	1,50
8	Volum de goluri, în stare afînată	%	52,29		
9	Volum de goluri, în stare îndesată	%	46,42		
10	Forma granulelor, φ < 16 mm b/a c/a	-	0,76	0,49	0,96
			0,51	0,33	0,82
11	Forma granulelor, φ > 16 mm b/a c/a	-	0,74	0,54	0,95
			0,54	0,33	0,81
12	Rezistența la sfărîmare prin compresiune				
	- în stare uscată	%	71,49	70,66	72,33
	- în stare saturată	%	68,49	67,33	69,66
	- după îngheț-dezghet	%	66,50	66,00	67,00
13	Rezistența la sfărîmare prin șoc	%	78,33	78,00	78,66
14	Rezistența la uzură prin rostogolire (mașina Deval)	%	2,90	2,80	3,00

Studiile privind calitatea rocii au fost realizate de către Intreprinderea Geologică de Prospekțiuni pentru Mineralale Solide Utile, caracteristicile mai importante fiind prezentate în tabelul 1.19.

Caracteristicile criblurilor sort 3 - 8; 8 - 16; și 16 - 25 este prezentată în tabelul 1.20.

Cribluri - cariera ȘANOVITA

Tabelul 1.20

Nr. crt.	Caracteristici fizico-mecanice	UM	Valori medii pe sort		
			sort 3 - 8	sort 8 - 16	sort 16 - 25
0	1	2	3	4	5
1	Densitate	kg/dm ³	2,809	2,791	2,829
2	Densitate aparentă	kg/dm ³	2,685	2,693	2,761
3	Compactitate	%	95,51	96,49	97,61
4	Porozitate	%	4,49	3,51	2,39
5	Porozitate aparentă	%	4,27	3,26	1,19
6	Densitate în vrac				
	- în stare afînată	kg/dm ³	1,475	1,356	1,456
	- în stare îndesată	kg/dm ³	1,663	1,595	1,656
7	Absorbția de apă				
	- la presiune și temperatură normală	%	1,55	1,21	0,42
8	Volum de goluri				
	- în stare afînată	%	45,02	49,65	47,26
	- în stare îndesată	%	38,02	40,77	40,02
9	Forma granulelor :				
	- $\phi < 16$ mm	b/a	-	0,66	-
		c/a	-	0,46	-
	- $\phi > 16$ mm	b/a	-	-	0,74
	c/a		-	-	0,43

1.3.5. Caracteristicile fizico-mecanice ale agregatelor naturale de la carierele Meri și Porceni

Caracteristicile fizico-mecanice ale criblurilor de la carierele meri și Porceni au fost determinate de către INCERTRANS București, Secția Cercetări Drumuri [7].

Din punct de vedere petrografic, roca de la cariera Meri, jud. Gorj este un granit cu hornblendă și biotit de culoare cenușie, cu structura grăunțoasă și textura masivă uneori slab șistoasă.

Compoziția mineralogică a rocii, exprimată în procente, este:

- cuarț	25...40;
- feldspați potasici (ortoze)	15...30;
- feldspații plagioclazi	18...20;
- amfiboli	10...12;
- biotit	4... 5.

Caracteristicile fizico-mecanice ale rocii de proveniență sunt prezentate în tabelul 1.21.

Din datele obținute în urma cercetărilor de laborator rezultă următoarele caracteristici ale rocii:

- roca este o rocă grea cu o densitate aparentă de 2.835 kg/m³;
- roca este puțin poroasă avînd porozitatea aparentă de 2,7916 %;
- roca este foarte puțin absorbantă avînd absorbtia de apă la presiune normală de 0,20 %;

• roca are rezistență mare la compresiune în stare uscată de 152 N/mm²;

• roca este foarte rezistentă la șoc mecanic avînd $K = 10,8$ N/mm²;

În ceea ce privește caracteristicile fizico-mecanice ale criblurilor sort 3 - 8, 8 - 16 și 16 - 25, acestea sunt prezentate în tabelul 1.22.

Referitor la granulozitatea criblurilor și a nisipului de concasaj acestea sunt arătate în tabelul 1.23.

Rocă - cariera MERI

Tabelul 1.21

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Proba			Media	Interval de variație	
			1	2	3			
1	Densitate	g/cm ³	2,945	2,886	2,947	2,926	2,886...2,947	
2	Densitate aparentă	g/cm ³	2,857	2,794	2,856	2,835	2,794...2,857	
3	Compactitate	%	97,00	96,80	96,9	96,9	96,8...97,00	
4	Porozitate	la pres. și temp. normale	%	3,0	3,20	3,1	3,1	3,0...3,2
5	Porozitate aparentă	%	2,802	2,764	2,817	2,791	2,764...2,807	
6	Absorbția de apă	la pres. și temp. normale	%	0,18	0,16	0,24	0,20	0,16...0,24
7	Coef. de gelivitate	%	.0	0	0			
8	Rezistența la sfărîmarea prin compresiune - în stare uscată - în stare saturată - după îngheț-dezghet	N/mm ²	137	161	157	152	137...161	
		N/mm ²	126	128	108	121	108...129	
		N/mm ²	98	137	132	113	98...132	
9	Coeficient de înmuiere după 25 cicl. îngheț-dezgh.	%	28,4	14,9	15,9	19,7	14,9...28,4	
10	Rezistența la șoc mecanic	N/mm ²	10,5	11,5	10,3	10,8	10,3...11,5	
11	Natura petrografică		Granit	Granit	Granit			

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Sort 3 - 8		Sort 8 - 16		Sort 16 - 25		Condiții admisibilitate (SR)
			Valoare medie	Interval de variație	Valoare medie	Interval de variație	Valoare medie	Interval de variație	
1	Densitate aparentă	g/cm ³	-	-	2.616	2.608...2.621	2.675	2.657...2.692	
2	Porozitate aparentă	%	-	-	3.76	3.60...3.88	2.30	2.07...2.49	
3	Absorbția de apă	%	-	-	1.44	1.38...1.48	0.86	0.77...0.93	
4	Densitate în stare afînată	kg/m ³	1355	1352...1357	1313	1313...1314	1365	1361...1372	
	Densitate în stare îndesată	kg/m ³	1555	1553...1558	1488	1483...1493	1485	1481...1490	
5	Volum de goluri	%	52	-	54	-	53	-	
6	Conținutul de granule	%	1.2	0.9...1.5	0.25	0...0.50	0.45	0.3...0.60	max 5
		%	5.82	5.2...6.4	15.6	14.7...16.5	8.34	6.80...9.86	max 10
7	Coefficientul de formă	%	-	-	18.6	18.1...19.1	20.2	19.2...21.2	max 25
8	Conținutul de impurități	%	lipsă	-	lipsă	-	lipsă	-	nu se admit
		%	0.66	0.64...0.68	0.26	0.24...0.28	0.15	0.14...0.16	1.2...0.5
9	Uzura cu mașina Los Angeles	%	22.2	22.0...22.4	17.1	16.8...17.5	-	-	max 20...22
10	Rezistența la îngheț-dezghet	%	-	-	3	0.3...0.5	-	-	max 3
		%	-	-	24	1.0...1.7	-	-	max 25

Nr. crt.	Caracteristica	ϕ mm	UM	Sort				Cond. de calitate (SR)
				16 - 25	8 - 16	3 - 8	0 - 3	
1	Granulozitate treceri prin ciur sau sita de ... mm	30	%	100,0				
		25		99,76	100,0			
		16		15,76	99,56	100,0		
		8		0,16	8,34	98,8	100,0	
		3			0,28	5,8	97,8	
		1					53,9	
		0,2					2,7	
		0,9				2,4		
2	Conținutul de granule	care rămân pe ciurul superior	%	0,24	0,44	1,2	2,2	max 5
		care trec prin ciurul inferior	%	15,76	8,34	5,8	5,1	max 10

Concluzii: Roca extrasă este un granit cu hornblendă și biotit de culoare cenușie. Caracteristicile care definesc clasa rocii permit încadrarea ei în clasa B, însă din studiile efectuate ulterior de INCERTRANS [7] la fața locului, rezultă că în fronturile de lucru ale carierei Meri jud. Gorj apare o mare varietate de roci cu grade de alterare și cu caracteristici fizico-mecanice foarte diferite care permit încadrarea rocii în clase de la A - E. Pentru producerea criblurilor însă este absolut necesară exploatarea zonelor de zăcămint, cu caracteristici fizico-mecanice corespunzătoare, cum este zona din care au fost prelevate probele analizate. Rocile cu caracteristicile fizico-mecanice mai slabe pot fi utilizate la producerea pietrei sparte pentru drumuri.

În consecință, în vederea producerii criblurilor pentru drumuri este necesară selecționarea cu atenție a zonelor de rocă nealterată din cadrul zăcămintului.

Cariera Porceni. Studiul petrografic [7] arată că roca de bază este un granit cu biotit de culoare cenușie-albicioasă, fiind formată din: cuarț 18...30 %, biotit 3...14 % și minerale accesorii și secundare 1...3 %.

Agregatele naturale, piatra spartă și criblurile sunt formate din granite nealterate în proporție de 58...61 %, granite slab alterate și alterate cu oxizi de fier 20...23 % și gresii cuarțitice, gnais etc. în proporție de 13...18 %. Caracteristicile fizico-mecanice ale rocii de proveniență sunt prezentate în tabelul 1.24.

Caracteristicile fizico-mecanice ale criblurilor de la cariera Porceni sunt prezentate în tabelul 1.25.

Caracteristicile privind granulozitatea, rezistența la uzură cu Los Angeles etc. sunt prezentate pentru criblurile sort 8 - 16 și 16 - 25 în tabelul 1.26.

Concluzii: Cercetările au arătat ca și în cazul criblurilor de la Meri că pentru a produce cribluri la cariera Porceni este absolut necesară selecționarea cu atenție a zonelor cu rocă nealterată din cadrul zăcămintului și prelucrarea separată a rocii rezultate din această zonă, astfel încât ponderea materialului alterat din masa agregatelor să nu depășească 10...20 % [7].

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Valoarea medie	Variație	Clasa rocii
1	Densitate	g/cm ³	2,654	2,644...2,666	-
2	Densitate aparentă	g/cm ³	2,604	2,582...2,623	-
3	Compactitate	%	98,14	97,65...98,39	-
4	Porozitate la pres. și temp. normale prin fierbere	%	1,86	1,61...2,35	-
			1,16	0,92...1,52	-
5	Porozitate aparentă	%	0,92	0,79...1,21	A
6	Absorbția de apă la pres. și temp. normale prin fierbere	%	0,36	0,28...0,47	-
		%	0,45	0,35...0,59	-
7	Rezistența la sfărâmare prin compresiune - în stare uscată - în stare saturată - după îngheț-dezghet	N/mm ²	120	111...126	C
		N/mm ²	102	91...108	-
		N/mm ²	84	77...93	-
8	Coeficient de înmuiere : - după saturație cu apă - după 25 cicl. îngh. - dezgh.	%	13,2	2,7...27,8	-
		%	29,0	16,2...38,9	-
9	Coeficient de saturație	%	0,80	0,80	-
10	Coeficient de gelivitate	%	0	0	-
11	Rezistența la șoc mecanic	N/mm ²	2,1	1,4...2,8	-
12	Uzura prin frecare uscată	g/cm ²	0,137	0,114...0,158	-
		cm ³ /cm ²	0,052	0,043...0,060	-
		mm	0,52	0,43...0,60	-

Cribluri - cariera PORCENI

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Sort 3 - 8			Sort 8 - 16			Sort 16 - 25			Condiții admisibi-litate (SR 667)
			Valoare medie	Interval de variație	Valoare medie	Interval de variație	Valoare medie	Interval de variație	Valoare medie	Interval de variație		
1	Densitate în	kg/m ³	1352	1313...1343	1353	1352...1353	1353	1336...1366	-	-	-	
	grămadă	kg/m ³	1503	1498...1508	1500	1472...1521	1511	1504...1524	-	-	-	
2	Volum de goluri	%	49.0	48.5...49.5	46.9	46.8...47.0	47.8	47.3...48.3	-	-	-	
3	Conținutul de	%	3.5	-	1.7	-	4.7	-	-	-	max 5	
	granule	%	7.5	-	8.7	-	9.2	-	-	-	max 10	
4	Coefficientul de formă	%	5.3	5.0...6.0	16.2	14.6...19.5	7.2	6.4...7.5	-	-	max 25	
	Corpurii străine	%	lipsă	-	lipsă	-	lipsă	-	-	-	nu se admit	
5	Fracțiuni fine sub	%	0.87	0.80...1.00	0.72	0.50...1.10	0.57	0.50...0.65	-	-	max 1.2(3-8)	
	0.09 mm	%	30.8	30.3...31.3	28.1	27.6...28.5	23.8	23.1...24.5	-	-	max 20...22	
6	Uzura cu mașina	%	31.0	-	29.2	-	24.4	-	-	-	-	
	La uzura Los Angeles	%	1.1	-	3.0	-	3.5-	-	-	-	max 3	
7	Rezistența la	%	0.6	-	3.9	-	2.5	-	-	-	max 25	
	îngheț-dezgeț	%	0.6	-	3.9	-	2.5	-	-	-	max 25	

Nr. crt.	Caracteristici fizico-mecanice	UM	Valori medii pe sort		Cond. de calitate (SR)
			sort 8 - 16	sort 16 - 25	
1	Conținutul de granule: - care rămân pe ciurul superior	%	10,00	1,42	max 10
	- care trec pe ciurul inferior	%	2,36	1,33	max 5
2	Coeficient de formă	%	10,13	11,83	max 25
3	Conținutul de impurități: - corpuri străine	%	NU	NU	NU SE ADMIT
	- argilă	%	NU	NU	NU SE ADMIT
	- conținut de fracțiuni sub 0,09 mm	%	0,53	0,20	8/16 mm max 10 16/25 mm max 0,5
4	Forma granulelor : - b/a		0,77	0,74	min 0,66
	- c/a		0,61	0,57	min 0,33
5	Rezistența la uzura Los Angeles	%	22,80	20,40	max 20...22
	Rezistența la uzura Los Angeles după îngheț-dezghet	%	25,60	23,60	-
6	Sensibilitatea la îngheț-dezghet		12,28	15,68	max 25
7	Rezistența la strivire stare uscată		12,34	9,90	max 15
	Rezistența la strivire stare saturată		14,38	12,07	-
8	Coeficient de înmuiere după sat. cu apă		0,86	0,82	min 0,80
9	Rezistența la îngheț-dezghet	%	0,3	0,2	max 3

1.3.6. Caracteristicile fizico-mecanice ale agregatelor naturale de la cariera Maidan - Brădișorul de Jos

Studiile de laborator au fost realizate de către Laboratorul de geotehnică, infrastructura căii și fundații din cadrul Ministerului Transporturilor - Departamentul Căilor Ferate și de către Laboratorul central al D.R.D.P. Timișoara.

Caracteristicile petrografice arată că roca este granodiorit de vârstă paleogenă ce aparține magmatismului banatic, avînd o culoare cenușie și o textură masivă cu structură holocristalină.

Caracteristicile fizico-mecanice determinate pe epruvete și piatră spartă sunt prezentate în tabelul 1.27.

Rocă, cariera MAIDAN

Tabelul 1.27

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Valoare a medie	Interval de variație	Clasa rocii (SR 667)
1	Porozitate aparentă	%	2,6	2,5...2,9	A
2	Rezistența la compresiune	N/mm ²	135	128...140	B
3	Uzura cu mașina Los Angeles	%	16,9	16,0...18,0	A
4	Coefficient de calitate	-	9	8,8...9,4	B
5	Rezistența la îngheț-dezghet - coeficient de gelivitate (25 cicluri)	%	0,1	0...0,3	A...E
	- sensibilitate la îngheț (25 cicluri)	%	10	9,2...11,0	A...E
Clasa ROCII (SR - 667)					B

Caracteristicile privind granulozitatea criblurilor sunt prezentate în tabelul 1.28.

Granulozitate sorturi - cariera MAIDAN

Tabelul 1.28

Nr. crt.	Caracteristica	ϕ mm	UM	Sort			Cond. de calitate SR 667
				16 - 25	8 - 16	3 - 8	
1	Granulozitate treceți prin ciur sau sita de mm	30	%	100,0			
		25		99,0			
		16		17,2	100,0	100,0	
		8		0,2	35,7	99,6	
		3			9,7	57,5	
		1			4,3	9,5	
		0,2			1,9	2,8	
		0,9			0,9	1,2	
2	Conținutul de granule	care rămân pe ciurul superior	%	1,0	0	0,4	max 5
		care trec prin ciurul inferior	%	17,2	35,7	57,5	max 10
3	Rezistența la uzură Los Angeles		%	42,0	44,5		max 20...22

Din studiile de laborator rezultă că criblurile de la cariera Maidan - Brădișorul de Jos nu pot fi folosite la fabricarea amestecurilor asfaltice având granulozitatea necorespunzătoare sortului precum și rezistența la uzură Los Angeles cuprinsă între 42,0...44,5 % față de maxim 20...22 % impus de standard.

1.3.7. Caracteristicile fizico-mecanice ale agregatelor naturale de la cariera Crușovița

Studiile de laborator au fost efectuate de INCERTRANS București - Secția Cercetări Drumuri și de către Laboratorul central al D.R.D.P. Timișoara.

Din punct de vedere petrografic [7] roca este un granit cu hornblendă și biotit cu treceri spre granodiorit, de culoare cenușiu-negricioasă și textură masivă.

Mineralogic roca este alcătuită din: cuarț 10...25 %, felspați potasici 20...47 %, feldspați plagioclazi 23...40 %, amfiboli 3...6 %, mică 4...7 %, minerale accesorii și secundare 3...6 %. Roca este afectată de alterări hidrotermale.

Caracteristicile fizico-mecanice ale rocii de proveniență sunt prezentate în tabelele 1.29 și 1.30.

Caracteristicile criblurilor sort 3 - 8; 8 - 16 și 16 - 25 sunt prezentate în tabelul 1.31.

Din rezultatele prezentate se desprind următoarele **concluzii**:

- criblurile sort 3 - 8, 8 - 16 și 16 - 25 nu corespund prevederilor actuale din standarde întrucât nu se încadrează în granulozitatea recomandată, iar în ceea ce privește rezistența la uzură Los Angeles, aceasta reprezintă la cribluri variații cuprinse între 22,2 și 39,4 %.

Calitatea slabă a criburilor poate fi explicată prin faptul că la producerea acestora s-a folosit roca din zona de alterație în proporție de 48,6...68,2 %.

Rocă nealterată, cariera CRUȘOVITA

Tabelul 1.29

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Valoarea medie	Interval de variație	Clasa rocii (SR 667)
1	Porozitate aparentă	%	0,39	0,19...0,745	A
2	Rezistența la compresiune	N/mm ²	126	123...131	C
3	Uzura cu mașina Los Angeles	%	15,25	14,7...15,8	A
4	Coeficient de calitate	-	8,6	8,33...8,88	B,C
5	Uzura cu mașina Los Angeles după 25 cicluri îngheț-dezghet	%	16,35	16,20...16,50	B
6	Rezistența la îngheț-dezghet - coeficient de gelivitate (25 cicluri) - sensibilitate la îngheț (25 cicluri)	%	4,6	3,8...5,5	-
		%	7,21	4,4...10,2	A...E
Clasa ROCII (SR - 667)					C

Rocă alterată, cariera CRUȘOVITA

Tabelul 1.30

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Valoarea medie	Interval de variație	Clasa rocii (SR667)
1	Porozitate aparentă	%	0,806	0,806	A
2	Rezistența la compresiune	N/mm ²	88	88	E
3	Uzura cu mașina Los Angeles	%	28,3	27,8...28,8	E
4	Coeficient de calitate	-	6,8	6,3...7,3	D,E
5	Uzura cu mașina Los Angeles după 25 cicluri îngheț-dezghet	%	31,5	30,5...32,5	-
6	Rezistența la îngheț-dezghet - coeficient de gelivitate (25 cicluri) - sensibilitate la îngheț (25 cicluri)	%	7,5	7,2...7,8	-
		%	11,3	9,7...12,8	A...E
Clasa ROCII (SR - 667)					E

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Sort 3 - 8		Sort 8 - 16		Sort 16 - 25		Condiții admisibilitate SR - 667
			Valoare medie	Interval de variație	Valoare medie	Interval de variație	Valoare medie	Interval de variație	
1	Densitate aparentă	g/cm ³	-	-	2.65	2.644...2.665	2.68	2.676	
2	Porozitate aparentă	%	-	-	1.92	1.74...2.04	1.18	0.86...1.50	max 5
3	Absorbția de apă	%	-	-	0.72	0.66...0.77	0.44	0.32...0.56	
4	Densitate în stare afînată	kg/m ³	1421	1419...1423	1329	1325...1333	1367	1353...1381	min 1400
	În stare îndesată	kg/m ³	1500	1493...1508	1430	1417...1443	1446	1444...1449	
5	Volum de goluri	%	49.5	-	54.4	-	52.4	-	
6	Continutul de	%	0.9	-	10.1	-	12.9	-	max 5
	Ce rămîne pe ciurul superior								
granule	Ce trec prin	%	48.3	-	27.8	-	5.2	-	max 10
	ciurul inferior								
7	Coefficientul de formă	%	4	3...5	9	7.4...10.0	8	7.5...8	max 25
8	Continutul de	%	lipsă	lipsă	lipsă	lipsă	lipsă	lipsă	nu se admit
	Corpuri străine								
impurități	Fracțiuni fine sub	%	1.47	1.36...1.57	1.05	0.96...1.12	0.23	0.16...0.31	1.5:1:0.5:1:2
	0.09 mm								
9	Uzura cu mașina Los Angeles	%	39.6	39.4...39.8	38.1	37.6...38.6	43.1	41.6...44.6	B - 26:24:22 C - 30:26:23
10	Rezistența la	%	-	-	1	0.9...1.1	-	-	max 3
	îngheț-de/ghet	%	-	-	4.8	3.8...5.8	-	-	max 25

1.4. Concluzii privind calitatea criblurilor folosite la fabricarea mixturelor asfaltice

Analizând calitatea criblurilor livrate de carierele: Brănișca, Zam, Zlaști, Tălagiu, Romanița, Vîrfurile, Șanovița, Meri, Porceni, Maidan și Crușovița se impun cîteva concluzii mai importante.

Calitatea criblurilor depinde în primul rînd de calitatea rocii din care provine, fapt care se studiază în laborator cu ajutorul încercării Los Angeles. (Încercarea Los Angeles a fost introdusă în anul 1939. Foarte multe țări au adoptat această încercare pentru agregate și a fost recomandată la cel de al XVI-lea Congres de drumuri de la Viena).

La noi în țară ea se aplică din 1978.

În conformitate cu această determinare se constată că rezultatele cele mai bune s-au obținut pe cribluri care provin din roci bazice de tipul bazalt în cazul nostru carierele de la Brănișca și Șanovița și neutre de la Zam (dolerit). În același timp, în cazul carierelor Tălagiu, Romanița și Vîrfurile, deși criblurile provin din roci de tipul andezit cu piroxenii, rezultatele au fost sub așteptări datorită faptului că se exploatează și roci alterate care provin din fronturi cu un grad mare de alterare.

Criblurile de la Maidan și Crușovița prezintă rezistențe mici la uzură, ele provin din roci cu grad mare de alterare și nu corespund nici din punct de vedere al granulozității.

Criblurile de la Zlaști provin dintr-un calcar dolomitic, dar nu corespund din punct de vedere al rezistenței la uzură avînd Los Angeles între 24,0 și 31,0 % față de maxim 20...22 % recomandat de standarde, în funcție de clasa de trafic a drumului.

Carierele de la Meri și Porceni, care exploatează roci acide de tipul granit cu hornblendă și biotit arată că pentru a putea folosi criblurile produse de aceste cariere este imperios necesar ca să se selecționeze cu mare atenție numai fronturile de lucru cu roci nealterate, astfel ca rezistența acestora să se înscrie în parametrii impuși de standarde.

1.5. Preocupări privind introducerea în practică a unor noi metode și tehnici vizînd ameliorarea calității agregatelor naturale

Avînd în vedere că activitatea practică din ultimii ani a autorului tezei a fost orientată spre tehnologiile la rece care utilizează emulsia bituminoasă, a apărut preocuparea pentru a soluționa rapid și eficient problemele referitoare la starea de curățenie și încadrarea în sorturile prescrise a agregatelor naturale, în special a celor care se utilizează la fabricarea mixturilor asfaltice pentru covoarele subșiri de tip șlam bituminos.

Astfel, împreună cu colectivul Firmei ALBIX Timișoara, am introdus în practica curentă, începînd cu anul 1994, metodele de “încercare cu albastru de

metilen”, precum și de “reciuruire a agregatelor naturale la punctele de lucru”. Aceste metode sunt prezentate în cele ce urmează.

1.5.1 Încercarea cu albastru de metilen

Metoda albastrului de metilen a fost preluată din normativele germane și vizează stabilirea compatibilității dintre agregatele naturale, filerul care intră în amestec și emulsia bituminoasă.

Încercarea cu albastru de metilen [217; 218] măsoară prin dozare, capacitatea de absorbție a albastrului de metilen de către pulberea aflată în suspensie apoasă în vederea evidențierii substanțelor argiloase din fracțiunea sub 0,09 mm, care a aderat pe suprafața granulelor de nisip de râu sau nisip de concasaj, criblură, filer de calcar sau filer din cretă măcinată.

Proba care se prelevează din agregatul natural ce urmează a fi examinat trebuie să fie suficient de mare (ex: 5000 g pentru sorturile 3 - 8 și 8 - 16) astfel ca din aceasta să rezulte cantitatea necesară (15...30 g) de fracțiune sub 0,09 mm asupra căreia trebuie făcută încercarea.

În acest scop proba supusă examinării se spală cu apă pentru a determina conținutul în fracțiunea sub 0,09 mm. Apa de spălare se lasă în repaos timp de minim 24 ore într-un vas emailat pentru sedimentarea părții fine, apoi se decantează cu grijă apa, astfel ca să nu se antreneze și

particulele fine de pulbere minerală. Soluția apoasă cu pulbere minerală se introduce în capsule de porțelan și se usucă pînă la evaporarea totală a apei pe baie de nisip sau în etuvă pînă la masă constantă. Dacă se execută încercarea pe o probă de nisip de concasj, nisip de rîu, filer de calcar sau filer de cretă măcinată pregătirea probei se face în mod diferit și anume:

- din materialul de analizat se ia o probă medie care se usucă complet pînă la masă constantă;
- după uscare și răcire se execută cernerea sa, reținîndu-se fracțiunea care trece prin sita de 0,09 mm.

În continuare se prezintă modul de încercare. Se cîntăresc 30 g din fracțiunea sub 0,09 mm a agregatului supus examinării și se introduce într-un recipient de sticlă (pahar Berzelius) împreună cu 200 cm³ apă distilată și se amestecă ușor pentru omogenizare.

Se prepară soluția apoasă de albastru de metilen de calitate medicinală, cu concentrația $10 \pm 0,1$ g/dm³, astfel că 1 cm³ soluție conține 0,01 g albastru de metilen.

Cu ajutorul unei biurete se introduce în vasul de sticlă 5 cm³ de albastru de metilen și cu ajutorul unei baghete se amestecă soluția timp de un minut. Apoi cu ajutorul baghetei de sticlă se ia o picătură și se așază pe hîrtia de filtru; se obține în acest fel o pată pe care se distinge un depozit de culoare albastru închis persistentă, conținînd pulbere și o zonă umedă,

incoloră, care înconjoară depozitul central. Picătura prelevată trebuie să asigure un diametru al depozitului de 8...12 mm. Când în zona umedă apare o aureolă de culoare albastru deschis, testul este pozitiv.

În momentul în care testul devine pozitiv se lasă să se producă absorbția albastrului de metilen pe suprafața particulelor argiloase, fără a mai adăuga altă doză de soluție de albastru de metilen, dar repetînd testul petei din minut în minut. Dacă după 5 min testul se menține pozitiv, dozarea se consideră terminată. Dacă testul nu se menține pozitiv, adică aureola de culoare albastru deschis dispare, se adaugă pe rînd cîte 1 cm³ soluție de albastru de metilen, după fiecare adaos de soluție făcîndu-se testul pe hîrtia de filtru. Fiecare nou

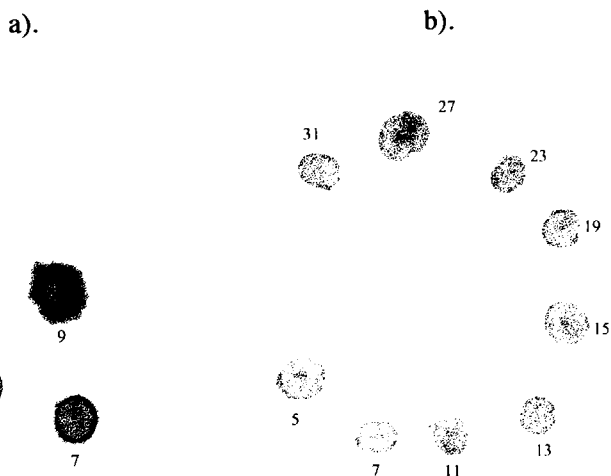


Fig. 1.2. a) test pozitiv; b) test negativ

adaos este urmat de testul petei, care se face din minut în minut. Testul se poate urmări în fig. 1.2.

Dozarea soluției de albastru de metilen se consideră terminată dacă testul petei se menține pozitiv timp de 5 min consecutiv. În funcție de cantitatea de albastru de metilen consumată, exprimată în cm^3 până la obținerea testului pozitiv pe hîrtia de filtru, se poate preciza dacă agregatul natural este sau nu compatibil cu emulsia bituminoasă.

Valoarea de albastru de metilen (VA) a pulberii minerale, exprimată în grame de albastru de metilen pentru 100 g pulbere minerală se calculează cu relația:

$$VA = \frac{0,01V}{m} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.1)$$

în care: V este volumul total al soluției de albastru de metilen introdusă în suspensia de pulbere, în cm^3 ;

m - masa probei, în g;

0,01 - cantitatea de albastru de metilen, la 1 cm^3 soluție de albastru de metilen, în g.

Rezultatul este media aritmetică a două determinări care nu diferă între ele cu mai mult de $\pm 0,2$.

Menționez că această încercare a fost introdusă în 1997 și în standardul românesc.

1.5.2. Mașina mobilă pentru resortarea agregatelor naturale

Datorită faptului că tehnologia de realizare a covoarelor asfaltice subțiri la rece, tip șlam bituminos, nu admite ca sorturile de agregate naturale utilizate să conțină nici un procent de granule cu dimensiunea maximă peste limita standardizată ($d_{\max} = 5 \%$), iar sorturile de agregate naturale aprovizionate depășesc de regulă această limită, uneori cu valori importante, s-a impus ca o necesitate рециuruirea agregatelor naturale.

În scopul rezolvării acestei necesități autorul tezei, împreună cu colectivul Firmei ALBIX Timișoara a propus și realizat o mașină pentru рециuruirea agregatelor naturale, prezentată în figura 1.3, a și b.

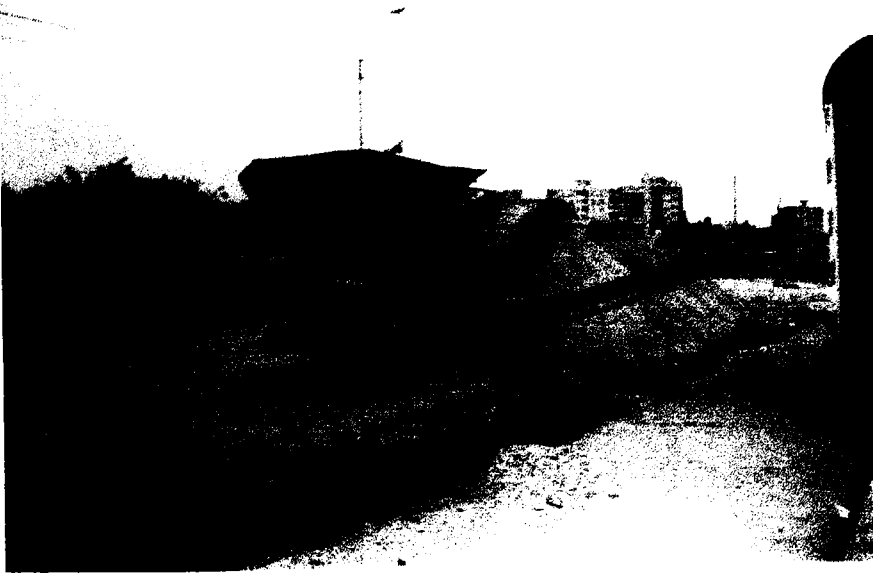


Fig. 1.3.a. Mașină pentru рециuruirea agregatelor naturale.

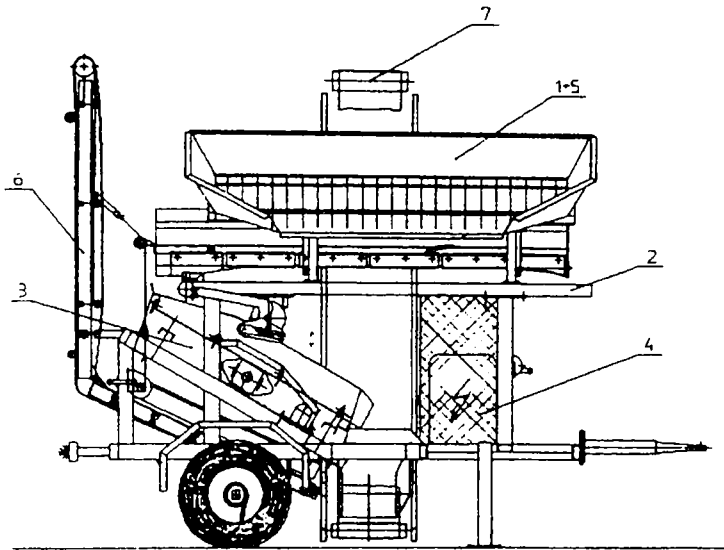


Fig. 1.3.b. Schița mașinii.

- 1 - cuvă cu grătar pentru încărcarea cu material;
 2 - bandă transportoare; 3 - ciurul propriu-zis; 4 - motor termic pentru angrenarea ciurului și a benzilor transportoare; 5 - sistem hidraulic pentru bascularea cuvei;
 6 - bandă pentru transportul materialului ciuruit;
 7 - bandă transportoare pentru evacuarea materialului necorespunzător.

Întreaga instalație este amplasată pe un șasiu – remorcă monoax care poate fi remorcat la oricare punct de lucru unde este nevoie.

Pe lângă cele expuse anterior, cu această mașină se pot realiza amestecuri de agregate naturale în sorturi care nu sunt standardizate dar sunt prevăzute în normative românești sau străine. Exemplu în acest sens este sortul 0 – 11 prevăzut în “Normativul privind execuția straturilor bituminoase foarte subțiri la rece, cu emulsie bituminoasă”, (Ord. M.T. nr. 54 / 1998), precum și sortul 0 – 5 solicitat la executarea unor lucrări pentru beneficiari externi.

CAP. 2. STUDIUL BITUMULUI UTILIZAT LA LUCRĂRILE RUTIERE

Cunoașterea și stăpânirea caracteristicilor calitative ale biturilor din punct de vedere al folosirii lor în domeniul rutier și anume la fabricarea mixturilor asfaltice la cald și la rece, reprezintă o problemă de importanță majoră pentru utilizator, datorită complexității compoziției bitumului.

În România, ca țară producătoare de petrol și bitum, cunoașterea calității acestora a necesitat un mare volum de studii și cercetări în acest domeniu.

În acest scop s-au efectuat o serie mare de cercetări de laborator în special pentru bitumul D 80/120, fabricat din țițeiuri românești, urmărind modul cum acest tip de bitum corespunde cerințelor unui liant pentru drumuri în condiții de exploatare obișnuite [77].

Cercetările întreprinse au urmărit în general următoarele domenii:

- stabilirea caracteristicilor biturilor D 80/120 din punct de vedere al compoziției lor;
- caracterizarea biturilor din punct de vedere al comportării reologice;
- caracterizarea biturilor din punct de vedere al adhezivității și susceptibilității la îmbătrânire;
- realizarea bitumului modificat cu polimeri la cald;
- emulsii bituminoase cationice cu bitum modificat cu polimeri;

- caracterizarea bitumului produs de Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău, comparativ cu cele de la Rafinăriile VEGA și ASTRA ROMÂNĂ, ambele de la Ploiești.

2.1. Considerații generale.

În România primele cercetări sistematice pentru caracterizarea țițeiurilor românești au început după anul 1930, deși România se situează printre primele țări producătoare de petrol din lume [77].

Studiile efectuate de cercetătorii din industria petrolieră au arătat, pe baza caracteristicilor principale care sunt prezentate în tabelul 2.1, că țițeiurile din cele mai reprezentative zăcăminte exploatare în țară sunt caracterizate printr-un conținut scăzut de sulf și componenți geli - rășini și asfaltene [77] și că se grupează după compoziție în:

- neparafinoase sau naftenice;
- parafinoase;
- semiparafinoase.

Pentru obținerea bitumului pentru drumuri, în fabricația curentă se folosesc țițeiuri neparafinoase sau naftenice.

În general a fost adoptat procedeul denumit convențional “sufare cu aer” sau “oxidare” deși transformările care au loc în timpul fabricării bitumului,

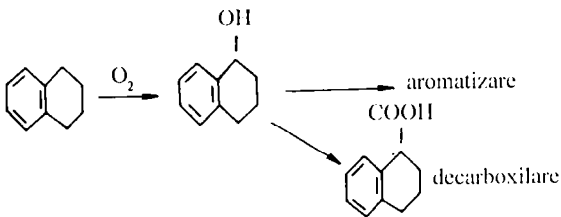
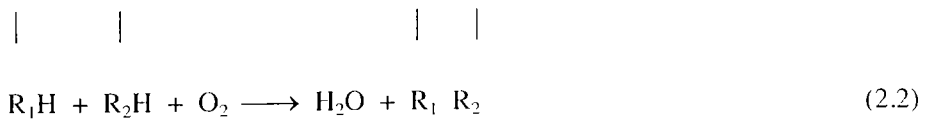
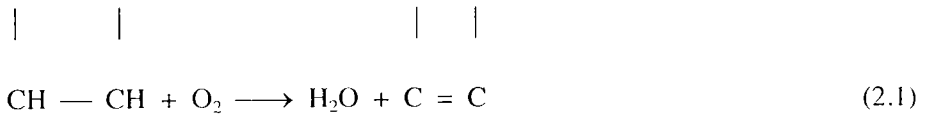
Caracteristicile principale ale titeiurilor românești reprezentative.

Tabelul 2.1

Natura și proveniența titeiurilor	Tensiune de vapori Torr	Văzică moleculară	Punct de congelare °C	Compoziție determinată prin distilare:					Aciditate organică mg KOH/100 g	Cifra de gudron %	Rășini și asfaltone %	Parafină %	Cifra de coes		Azot %				
				Punct inițial °C	% distilat la ... °C								mg KOH/100 g	%		%	%		
					30 °C	40 °C	50°C	100 °C										200 °C	300 °C
Titeiuri românești																			
Mareșel	0,8340	45	19	8,21	5,08	3,59	70	3,0	24,0	46,0	59,0	35,8	14,8	8,2	2,48	0,16	0,10		
Băbeș, par	0,8400	36	24	6,95	5,31	4,27	95	1,0	22,5	47,0	61,0	14,0	14,2	8,3	2,61	0,20	0,08		
Băbeș	0,8430	80	22	4,50	3,70	3,70	58	2,5	20,5	51,0	67,0	12,0	12,0	4,2	0,95	0,26	0,07		
Băbeș	0,8330	-	212	4,15	3,36	2,82	75	5,0	26,5	49,0	65,0	33,0	12,6	4,0	1,61	0,15	0,11		
Boskăși-Sarmantani 1953	0,8300	-	220	-	8,90	5,08	65	6,0	47,0	57,0	11,9	33,0	11,9	6,4	3,21	0,27	0,21		
Boskăși-Sarmantani 1956	0,8475	74	-	10	14,80	8,55	68	5,0	23,5	44,0	54,5	15,0	55,0	8,9	5,9	3,50	0,31	0,31	
Bășșan	0,8120	166	18	1,18	3,81	2,61	59	13,0	30,0	54,0	62,0	12,5	16,2	4,8	8,6	1,42	0,30	0,24	
Cărușu	0,8200	302	9	3,86	3,16	2,60	57	8,0	32,0	55,0	64,0	26,0	25,0	5,8	2,3	1,85	0,11	0,09	
Cărbu	0,8350	-	210	1,32	5,90	4,50	59	8,0	38,0	49,5	62,5	12,2	19,2	11,3	2,60	0,18	0,12		
Comă-Gârden	0,8495	40	-	9,25	6,12	4,92	68	6,0	27,0	47,0	69,0	17,0	29,6	8,8	4,4	2,84	0,32	0,19	
Drăgăneșu	0,8300	35	213	6,84	4,04	2,82	65	9,0	33,0	58,0	69,0	17,2	12,9	9,9	10,3	1,55	0,23	0,10	
Florești	0,8510	128	228	21	14,20	8,10	52,0	69	4,0	22,0	44,0	57,0	34,8	20,8	11,3	13,1	2,02	0,28	0,15
Gura Onnei	0,8522	42	-	16	5,25	4,04	66	5,0	30,0	52,0	65,0	17,1	39,8	8,5	4,3	2,21	0,29	0,25	
Izvoare Junc	0,8500	212	5	4,48	3,48	2,84	60	5,5	29,0	52,0	65,0	2,5	18,0	4,7	5,2	0,95	0,08	0,03	
Întreaga țară	0,8210	81	242	6	11,20	8,55	67	2,0	21,0	43,0	56,0	35,0	27,0	14,9	4,7	3,10	0,45	0,27	
Mădăraș 1955	0,8220	64	-	6	12,40	9,22	80	2,0	19,0	42,0	56,0	22,1	31,6	5,8	2,67	0,46	0,34		
Mădăraș 1958	0,8568	165	204	17	6,25	4,25	3,36	67	6,0	29,0	54,0	66,0	15,0	16,0	9,6	5,4	1,67	0,12	0,08
Moroni, oporțar	0,8410	176	216	21	7,75	5,55	4,30	70	4,0	25,0	49,0	28,6	15,0	9,6	6,2	1,70	0,10	0,08	
Moroni, uscat	0,8440	-	223	19	9,22	6,85	5,20	70	4,0	21,0	45,0	62,0	3,4	19,0	8,1	2,58	0,13	0,13	
Săra Nașon 1953	0,8375	15	-	6,95	3,82	-	65	3,0	24,0	46,0	54,0	27,0	44,0	7,4	6,5	2,54	0,29	0,20	
Săra Nașon 1959	0,8495	-	220	19	9,55	6,80	80	3,0	25,0	47,0	58,0	24,0	27,0	-	5,5	2,59	0,22	0,17	
Tovă	0,8430	59	246	22	7,41	4,80	3,36	68	6,0	24,0	48,0	63,0	12,0	13,8	9,6	4,9	1,77	0,19	0,09
Tribeni	0,8540	59	238	18	12,20	7,75	5,55	76	2,0	22,0	43,0	59,0	23,2	12,5	4,5	2,72	0,15	0,14	
Timbea	0,8670	160	237	17	14,20	9,88	7,55	71	4,0	21,0	42,0	55,0	31,0	35,0	15,5	5,1	4,45	0,21	0,10
Titeiuri străine																			
Băbeș	0,8657	-	55	9,45	7,05	-	68	2,0	15,0	45,0	59,0	14,1	24,0	5,8	1,1	2,08	0,17	0,25	
Cărușu	0,8710	125	242	22	5,08	2,82	58	7,0	34,0	55,0	67,0	77,0	28,0	12,3	2,2	3,13	0,24	0,10	
Gura Onnei	0,8517	134	219	7	6,85	5,43	4,30	66	5,5	29,0	52,0	65,0	126,0	18,5	12,5	2,3	2,77	0,15	0,15
Mădăraș	0,8550	47	-	8,77	5,30	6,14	70	2,0	33,0	54,0	66,0	47,0	24,3	7,1	1,6	2,80	0,24	0,21	
Titeiuri nepetrolifere																			
Băbeș	0,8646	-	55	9,35	7,05	-	92	3,0	22,0	46,0	62,0	75,1	22,0	5,8	0,1	2,44	0,16	0,10	
Băneasa 3	0,8790	63	230	35	19,40	10,90	68	3,0	25,3	47,0	61,0	31,4	42,0	14,4	1,0	5,15	0,39	0,25	
Cărușu 3	0,9007	-	38	29,00	19,10	13,30	207	0,0	0,0	34,0	55,0	99,2	26,0	7,9	0,2	1,70	0,32	0,14	
Harșova 3	0,9292	-	49	96,50	55,90	32,00	1090	0,0	2,0	19,0	40,0	85,0	24,0	7,9	0,1	3,46	0,36	0,18	
Lăncrău 4	0,9340	-	45	135,4	73,00	48,10	230	0,0	0,0	18,0	42,0	189,3	32,0	10,8	0,6	2,95	0,91	0,17	
Mareșel 3 - special	0,8880	74	224	45	8,44	6,90	56	4,0	31,5	49,0	63,0	32,0	22,5	0,3	2,75	0,32	0,14		
Mareșel 3 - special	0,8880	74	210	60	8,09	6,52	56	6,0	30,5	50,9	65,9	45,0	22,4	11,8	0,3	3,80	0,23	0,11	
Ploiești 3	0,9140	53	290	61	47	20,70	227	9,0	17,0	16,5	35,5	57,0	38,0	51,0	0,5	5,45	0,32	0,23	
Ploiești 3	0,8670	86	276	35	26,10	17,20	1070	7,6	3,0	19,0	39,0	52,0	28,0	44,0	0,5	4,72	0,34	0,23	
Săra Nașon 3 - 1959	0,8840	80	269	37	9,66	7,25	63,6	-	-	-	197	-	-	21,1	7,6	2,50	0,18	0,21	
Săra Nașon 3 - 1955	0,8630	87	210	66	11,20	8,44	67,1	3,0	26,5	46,5	62,0	163	20,0	7,6	0,6	2,60	0,25	0,12	

respectiv reacțiile chimice predominante care se produc sunt reacții de dehidrogenare și condensare și mai puțin de oxidare [77], ceea ce se confirmă prin faptul că în timpul reacției rezultă importante cantități de apă, iar oxigenul este reținut în bitum în cantități neînsemnate față de cel introdus în proces[77]. Cercetările au arătat de asemenea că seleniul (Se), telurul (Te) și vanadiul (V) sunt catalizatori de dehidrogenare.

Reacțiile care au loc în timpul suflării cu aer sunt de tipul:



(2.3)

În funcție de timpul afectat oxidării, se poate obține un bitum mai dur sau mai moale.

2.2. Sudii și investigații privind fabricarea biturilor pentru drumuri.

În România bitumul pentru drumuri se fabrică din țițeiurile existente la noi în țară. Tipurile de țiței folosite de rafinării sunt:

- țițeiuri neparafinoase tip A;
- țițeiuri semiparafinoase tip B;
- țițeiuri parafinoase tip C.

Prelucrarea țițeiurilor în rafinării include două faze importante și anume:

- distilarea primară a țițeiurilor la presiune atmosferică, prin care rezultă produsele albe și păcura ca reziduu;

- distilarea în vid a păcurii, prin care rezultă uleiurile și masa asfaltoasă ca reziduu [77; 62].

Alte operații de prelucrare a produselor petroliere în rafinării, prin care rezultă materii prime pentru obținerea bitumului, sunt:

- striparea păcurii (tratarea cu aburi pentru îndepărtarea produselor mai ușoare);

- dezuleierea cu propan lichid a păcurii parafinoase prin care se recuperează uleiurile din păcură și se obține ca reziduu un produs consistent ($IB > 50$ °C) denumit impropriu "semigudron dezafaltat cu propan".

Pentru obținerea bitumului în România se folosesc următoarele tehnologii:

- **oxidarea masei asfaltoase** rezultate ca reziduu prin care se obțin biturile de oxidare cu susceptibilitate termică scăzută, dar cu un echilibru

coloidal instabil, respectiv bitumuri cu rezistență mărită la deformații plastice (făgașe, văluriri), dar foarte susceptibile la fisurare. Se precizează că aceste bitumuri au o compatibilitate redusă cu modificatori;

- **distilarea păcurii în vid** pînă la obținerea consistenței dorite a reziduurilor, care reprezintă bitumul de distilare. Acesta este compatibil cu modificatori (polimeri), are o susceptibilitate redusă la fisurare, dar o tendință mărită la deformații plastice;

- **fluxarea produselor petroliere** mai consistente (semigudronul asfaltat cu produse mai ușoare) și oxidarea acestora prin suflare cu aer.

Rafinăriile producătoare de bitum rutier din România sunt:

- S.C. PETROLSUB S.A. Suplacu de Barcău (fosta Rafinărie Crișana);
- S.C. VEGA S.A. Ploiești;
- S.C. ARPECHIM S.A. Pitești (prelucrează țiței de import);
- S.C. ASTRA ROMÂNĂ S.A. Ploiești;
- S.C. PETROTEL S.A. Ploiești (produce bitum parafinos prin procedeul fluxării).

Rafinăriile VEGA Ploiești, ASTRA ROMÂNĂ Ploiești și PETROLSUB Suplacu de Barcău prelucrează numai țițeiuri neparafinoase, iar Rafinăria PETROTEL Ploiești toate cele trei tipuri: neparafinoase, semiparafinoase și parafinoase, după scheme proprii fiecăruia, în funcție de țițeiul prelucrat și scopul urmărit în obținerea produselor.

Întrucît în teza de doctorat am folosit numai bitum D 80/120 de la Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău, în continuare voi trata mai în detaliu acest proces de fabricație, precizînd că Rafinările VEGA Ploiești și ASTRA ROMÂNĂ Ploiești utilizează amestecuri de țiteiuri ce provin de la mai multe schele în timp ce PETROLSUB Suplacu de Barcău folosește numai țitei de extracție din zăcămînt de la Suplacu de Barcău.

Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău [62; 77] deși prelucrează un singur sortiment de țitei neparafinos, prin faptul că la extracție se aplică două procedee și anume: extracția directă a țiteiului din zăcămînt prin presiune proprie și extracția indirectă din zăcămînt prin combustie subterană care eliberează țiteiul de nisipuri, se poate spune că prelucrează de fapt două sortimente de țiteiuri, caracteristicile lor fiind prezentate în tabelul 2.2.

Caracteristicile țiteiurilor prelucrate de Rafinăria PETROLSUB. Tabelul 2.2

Densitatea la 20 °C (valori medii)		Randamente în fracții distilate (%)	
Țitei neparafinos			
Proba nr. 1	0,9504	- benzină grea	1,6
Proba nr. 2	0,9500	- petrol	17,0
Proba nr. 3	0,9510	- motorină	36,9
Proba nr. 4	0,9477	Total produse ușoare	55,5
Proba nr. 5	0,9454	- păcură	44,5
Proba nr. 6	0,9504		
Țitei neparafinos vîcos			
Proba nr. 1	0,9548	- benzină grea	1,7
Proba nr. 2	0,9591	- petrol	4,5
Proba nr. 3	0,9590	- motorină	9,5
Proba nr. 4	0,9572	Total produse ușoare	15,7
Proba nr. 5	0,9565	- păcură	84,3
Proba nr. 6	0,9573		

Din tabelul 2.2 rezultă că în țițeiul notat normal produsele ușoare reprezintă 55,5 (%), iar păcura 44,5 (%) în timp ce la țițeiul vâcos produsele ușoare reprezintă doar 15,7 (%), iar păcura 84,3 (%).

Alte caracteristici fizico-chimice sunt prezentate în tabelul 2.3.

Caracteristici fizico-chimice ale țițeiului prelucrat de PETROLSUB. Tabelul 2.3

Caracteristicile fizico-chimice principale	Valori
Densitatea la 20 °C	0,953...0,959
Vîscozitatea la 100 °C, °St	max. 28
Vîscozitatea la 50 °C, °E	max. 30
Conținut de apă + impurități mecanice, %	max. 1
Punct de congelare, °C	-13...-18
Punct de inflamabilitate (M), °C	130...140
Sulf total, % g	max. 0,5
Coef. Conradson, % g	max. 8,0
Cenușă, % g	max. 0,1
Aciditate organică, mg KOH/g	max. 3,5
Azot, % g	max. 0,2

Se precizează că Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău prelucrează un singur sortiment de țiței catalogat în grupa A₃-neparafinos și uleios definit A₃-Barcău.

Zăcămintul de țiței se găsește în zona Suplacu de Barcău, jud. Bihor, la adâncimi mici, sistemul de extracție fiind unic în România.

Fluxul tehnologic de prelucrare a țițeiurilor la Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău este prezentat în figura 2.1.

Studiile comparative au arătat că amestecul prelucrat de Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău se caracterizează prin densitate mai mare, cu

valori pînă la 0,9591, conținutul de benzină grea fiind de maxim 1,7 %, iar păcura poate atinge valori de pînă la 94,3 %.

În ceea ce privește masa asfaloasă la Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău se constată un punct de înmuiere IB cu valori între 18...45 °C, la Rafinăria VEGA Ploiești valori între 30...32 °C și la Rafinăria ASTRA ROMÂNĂ Ploiești valori între 35...68 °C.

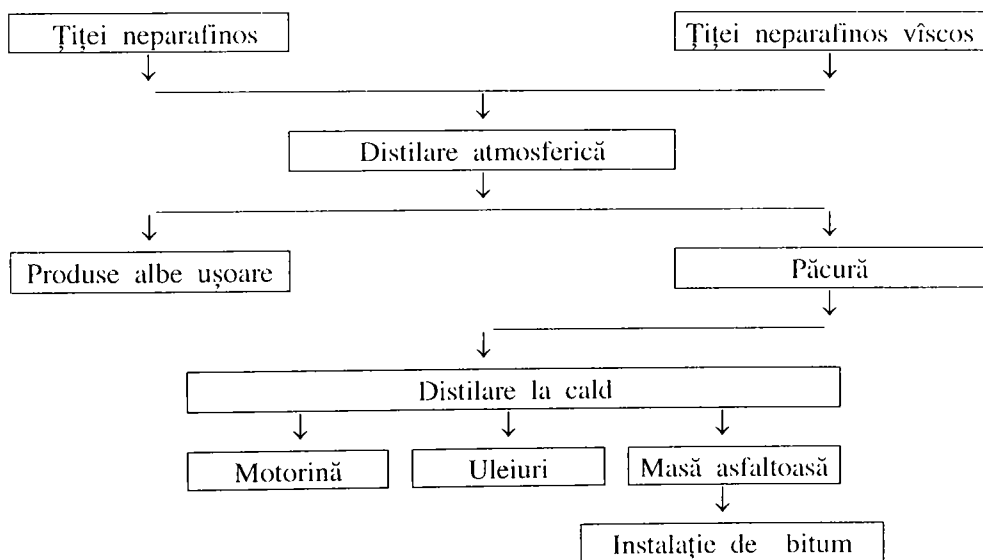


Fig. 2.1. Proces tehnologic de fabricare a bitumului la Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău.

Întrucît Teleajenul procesează bitumuri provenite din țițeiuri parafinoase, pe care le-am considerat improprii pentru bitumul de drumuri, nu se va trata acest tip de bitum în teză.

Prelucrarea masei asfaloase la Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău se face în flux continuu, în vase de oxidare la temperatura de circa 250 °C, timpul de prelucrare fiind de aproximativ 24 ore. Comparativ la

Rafinăria VEGA Ploiești oxidarea se face cu aer printr-un proces discontinuu, pe șarje, la temperatura de lucru medie tot de 250 °C, dar timpul de oxidare este mai mare, aproximativ 30 ore.

2.3. Constatări privind calitatea bitumului de la Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău.

Deoarece la Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău se prelucrează un țiței mai vâcos, cu densitatea medie de 0,9500, se obțin bitumuri cu consistență ridicată. Penetrația la 25 °C se situează spre limita inferioară a domeniului prescris de SR-754 și firese punctul de înmuiere inel și bilă IB spre limita superioară.

Caracteristicile bitumului tip D 80/120 fabricat la Rafinăria PETROLSUB pot fi urmărite în detaliu în tabelul 2.4.

Se precizează că procentul de parafină al bitumului de la Suplacu de Barcău este foarte mic, variind între 0,15 și 0,75 % față de max. 2 % admis de standard.

În ceea ce privește adezivitatea se constată că aceasta este foarte bună pe agregate de natură bazică (bazalt) și destul de redusă pe silice.

2.3.1. Aspecte privind calitatea bitumului pentru drumuri produs în România.

În vederea îmbunătățirii calității bitumului pentru drumuri, în ultimii ani s-au luat o serie de măsuri, de comun acord cu rafinăriile, cum ar fi:

- pentru fabricarea bitumului pentru drumuri să se folosească numai țițeiuri selecționate neparafinoase;

- tratarea țițeiului la schelele de extracție astfel încât să se livreze către rafinării cu un conținut de apă și impurități de maxim 1 % și cu un conținut de cenușă de maxim 0,3 %;

- îmbunătățirea controlului pe faze a procesului de fabricare a bitumului;
- studierea posibilității de fabricare a biturilor aditivate și modificate.

2.4. Caracterizarea bitumului din punct de vedere al compoziției.

Bitumul fiind un amestec complex și practic inert din punct de vedere al reactivității chimice, nu permite o separare în componenți puri prin mijloace fizice sau chimice și ca atare s-au determinat de către diverși cercetători următoarele [77]:

- compoziția în elemente;
- compoziția pe grupe de componenți și caracterizarea lor;
- investigații cu caracter global asupra bitumului ca atare.

Compoziția în elemente este prezentată în tabelul 2.5

Elementele componente ale bitumului.

Tabelul 2.5

Elemente chimice	% din masă
Carbon	82...85
Hidrogen	12...15
Oxigen	2...3
Azot	0,05...0,8
Sulf	0,05...5,0
Metale (nichel, fier, cupru etc.)	urme

Conținutul ridicat de carbon și hidrogen, care însumează peste 90 % din totalul elementelor, indică existența unor posibilități largi de legare a acestora în molecule [77].

Prin valori și respectiv prin raportul dintre ele, se pot evidenția diferențieri de compoziție între bitumuri și predominanța componentilor mai grei în raport cu cei mai ușori, după cum se poate vedea în figura 2.2.

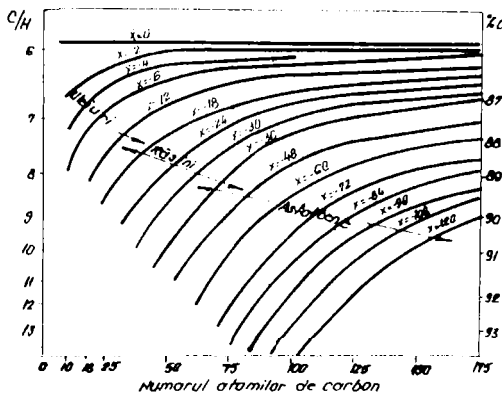


Fig. 2.2. Variația diferitelor serii de hidrocarburi conținute de bitum în funcție de raportul C/H.

Raportul dintre carbon și hidrogen (C/H) este considerat ca un mijloc care indică natura componentilor și evidențiază caracteristicile de comportare ale bitumurilor. Într-un sistem coloidal stabil, un raport carbon/hidrogen mare în asfaltene impune și un raport carbon/hidrogen mare în rășini; în caz contrar apare tendința de floclurare a asfaltenelor.

Celelalte elemente ca azot, sulf, oxigen caracterizează originea țițeiurilor, ca de exemplu țițeiurile americane sunt bogate în azot, în timp ce cele din Orientul Mijlociu sunt bogate în sulf [77].

Oxigenul, sulful, azotul indică prezența în bitum a structurilor condensate foarte complexe, astfel:

- oxigenul intră ca punte de legătură între nucleeele heteroatomice, în săruri ca: naftenați, rezinați sau legat chimic în grupări carbosilice de tipul esteri, fenoli, cetone;
- sulful intră ca punte de legătură între nucleeele naftenice și cele aromatice sau în nucleee de tipul ciclurilor tiofenice;
- azotul intră în formații ciclice stabile de tip piridinic, porfirinic etc.;
- metalele arată prezența compușilor complecși de tip organo-metalici, care prin natura lor pot da, de asemenea, indicații asupra originii bitumului.

2.4.1. Grupele de componenți din bitum

Macroscopic, bitumul se prezintă ca un produs unitar [77; 35], ipoteza structurii sale coloidale fiind formulată prima dată în anul 1924 de către Nellensteyn [77; 62] care a arătat că bitumul este format din următorii componenți:

- fracțiunea liofobă, care constituie centrul micelilor și este formată din asfaltene, care reprezintă 10...30 % din masa bitumului;
- fracțiunea liofilă, care înconjoară fracțiunea liofobă și care are rolul unui înveliș protector pentru aceasta, fiind constituită din rășini care reprezintă 20...30 % din masa bitumului;

- fracțiunea uleioasă, care constituie mediul de dispersie al micelilor și care reprezintă 40...60 % din masa bitumului.

În figura 2.3 este prezentată schematic structura bitumului.

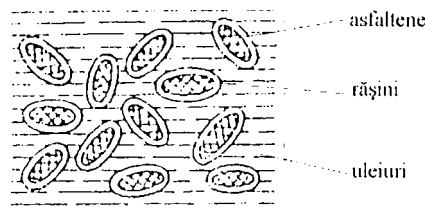


Figura 2.3. Structura bitumului.

Referitor la masa moleculară medie a grupelor principale de componenți din bitumuri valorile cunoscute [77] sunt:

- uleiuri 500...900;
- rășini 1000...1200;
- asfaltene 1500...2000.

Din aceste valori se vede clar că asfaltenele au masa moleculară cea mai mare.

În ceea ce privește compoziția biturilor, opiniile specialiștilor sunt diferite, dar coincid în ceea ce privește comportarea lor conform schemei:

sol → sol-gel → gel.

Metodele de cercetare ale compoziției bitumului [77] pe grupe de componenți: asfaltene, rășini și uleiuri se bazează pe metoda de separare cu

solvenți selectivi asociată cu metoda cromatografică solid-lichid, conform schemei generale de tipul prezentat în figura 2.4.

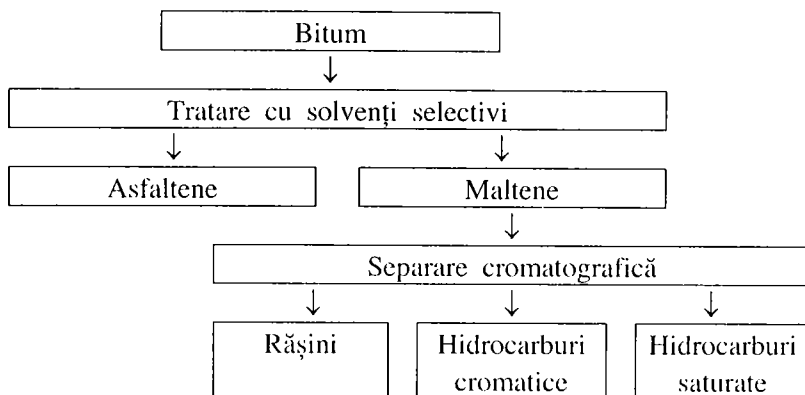


Fig. 2.4. Schema de separare a bitumului.

La noi în țară în anul 1996 [137] au fost elaborate “Instrucțiuni tehnice nr. 521R/1996” privind metode de determinare a compoziției chimice a bitumului pe patru fracțiuni. În principiu proba de bitum este tratată cu n-heptan, asfaltenele fiind insolubile se separă, iar maltenele (petrolene) solubile sunt absorbite pe coloană cromatografică de alumină calcinată și fracționate în saturate, naften aromatice și aromatice polare (schema similară cu cea prezentată în figura 2.4).

Pe baza studiilor efectuate de Williferd [137] pe bitumuri cu origini diferite, s-a ajuns la concluzia că pentru un bitum rutier compoziția ideală ar fi:

- fi: - asfaltene 18...26 %;
- rășini 30...42 %;
- uleiuri 40...50 %.

În acești parametrii se înscriu și biturile D 80/120 fabricate la cele trei rafinării din România studiate de cercetătorii noștri, conform datelor din tabelul 2.6.

Componenții bitumului.

Tabelul 2.6

Caracteristici	Bitum D 80/120 de la Rafinăria:		
	VEGA Ploiești	ASTRA ROMÂNĂ Ploiești	PETROLSUB Suplacu de Barcău
Uleiuri, %	48,9	56,5	51,3
Rășini, %	23,3	13,0	20,6
Asfaltene, %	27,8	30,5	28,1
Raport rășini/asfaltene	0,84	0,43	0,73

Concluzie. Datorită proprietăților sale vîsco-elastice bitumul este utilizat cu succes în domeniul rutier. În ceea ce privește structura sa la nivel macromolecular se admite că bitumul este alcătuit dintr-o suspensie de micelle de asfaltene înconjurate de rășini într-un mediu de dispersie constituit din uleiuri (saturate și aromatice).

2.4.2. Spectroscopia de absorbție în infraroșu IR

Una din metodele mai moderne folosite pentru studierea bitumului este spectroscopia în infraroșu (IR), întrucît cea mai mare parte a compușilor chimici au proprietatea de a absorbi radiațiile infraroșii. Aceste radiații provoacă în moleculele substanței mișcări de vibrație și de rotație ale atomilor, care se produc la lungimi de undă bine definite pentru fiecare moleculă sau atomi bine definiți.

Spectrogramele de absorbție în IR a hidrocarburilor sunt prezentate în figurile 2.5 și 2.6.

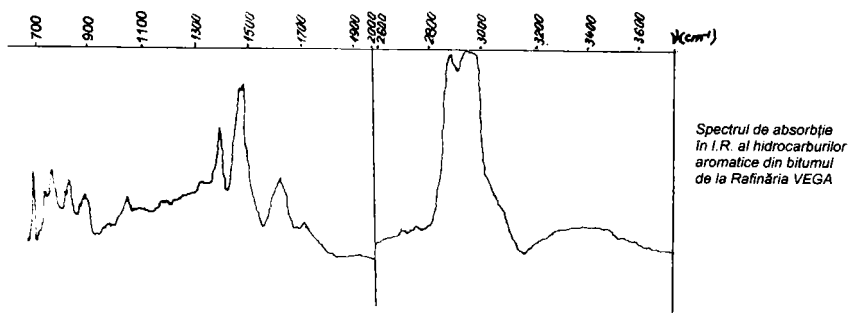


Fig. 2.5. Spectrul de absorbție în IR al hidrocarburilor aromatice din bitumul de la Rafinăria VEGA Ploiești.

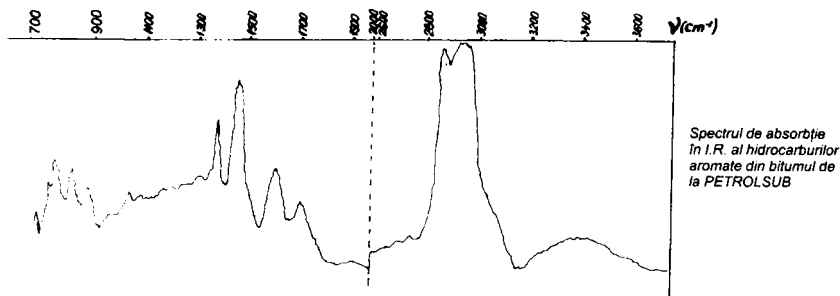


Fig. 2.6. Spectrul de absorbție în IR al hidrocarburilor aromatice din bitumul de la Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău.

Studii sistematice privind spectrele de absorbție în infraroșu (IR) au fost întreprinse în România de d-na dr. ing. Dorina IONESCU, pe biturile D 80/120 provenite de la Rafinăria VEGA Ploiești și Rafinăria PETROLSUB.

Spectrele de absorție în IR pentru rășini sunt în fig. 2.7 și 2.8.



Fig. 2.7. Spectrul de absorție în IR al rășinilor din bitumul de la Rafinăria VEGA Ploiești.

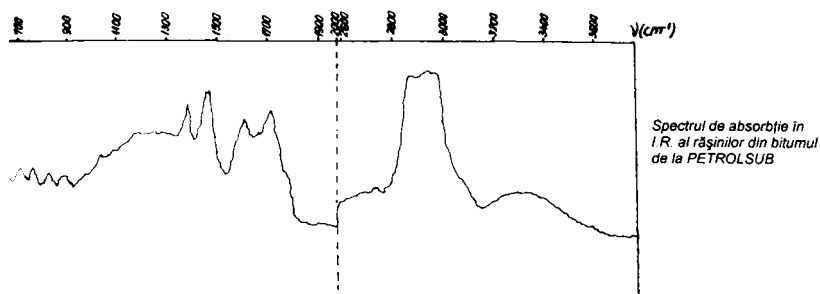


Fig. 2.8. Spectrul de absorție în IR al rășinilor din bitumul de la Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău.

Cercetările prin spectroscopia în IR au arătat că pentru bitumurile studiate tip D 80/120, atât pentru studiul hidrocarburilor aromatice, cât și al rășinilor s-a folosit spectrul cuprins între 700 și 3600 cm^{-1} , după cum se poate urmări din figurile 2.5, 2.6, 2.7 și 2.8. Spectrele sunt asemănătoare pentru cele două bitumuri studiate, menționînd că ambele sunt bitumuri neparafinoase obținute din șteiuri neparafinoase tip A₃.

2.4.2.1. Caracterizarea compoziției biturilor prin spectroscopia de absorbție în IR

Caracterizarea calitativă a biturilor prin spectroscopia de absorbție în IR se poate urmări din figurile 2.9, 2.10 și 2.11 și arată că aceleași benzi se întâlnesc și la bitumuri ca și la componenții prezentați anterior (figurile 2.5, 2.6, 2.7 și 2.8).

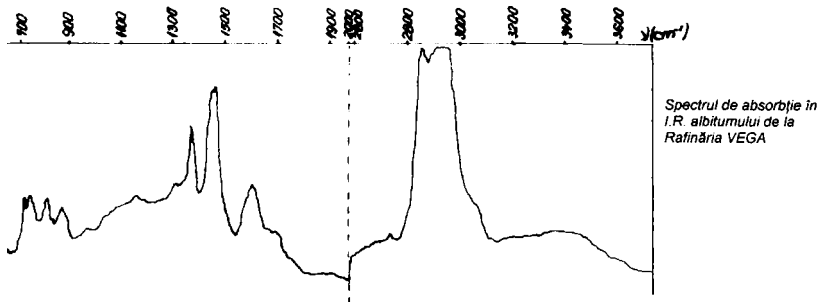


Fig. 2.9. Spectrul de absorbție în IR al bitumului de la Rafinăria VEGA Ploiești.

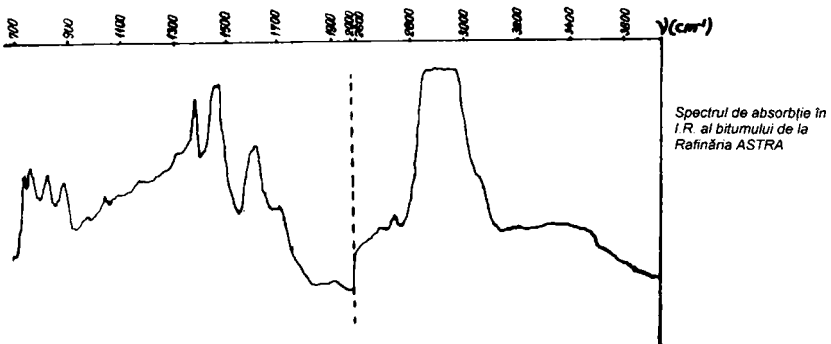


Fig. 2.10. Spectrul de absorbție în IR al bitumului de la Rafinăria ASTRA ROMÂNĂ Ploiești.



Fig. 2.11. Spectrul de absorbție în IR al bitumului de la Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău.

Prezența aceluiași benzi în IR arată că toate biturile studiate sunt alcătuite din aceleași grupe de componenți.

2.4.3. Cercetarea röntgenostructurală.

Cercetarea röntgenostructurală a fost efectuată de aceeași cercetătoare, [77] în scopul detectării structurii fine a componenților din asfaltene. Rezultatele au arătat lipsa efectelor evidente de difracție.

Difractogramele corespunzătoare asfaltelor de la Rafinăriile VEGA Ploiești, ASTRA ROMÂNĂ Ploiești și PETROLSUB Suplacu de Barcău sunt prezentate în figurile 2.12, 2.13 și 2.14.

Din studiul difractogramelor corespunzătoare biturilor de la cele trei rafinării se constată că prezintă un aspect general similar, avînd intensități cuprinse între 4,57 Å, 4,71 Å și 4,61 Å, dar și în acest caz rezultatele nu semnalează efecte de difracție specifice, ceea ce confirmă faptul că asfaltenele conținute în toate biturile sunt substanțe amorfe.

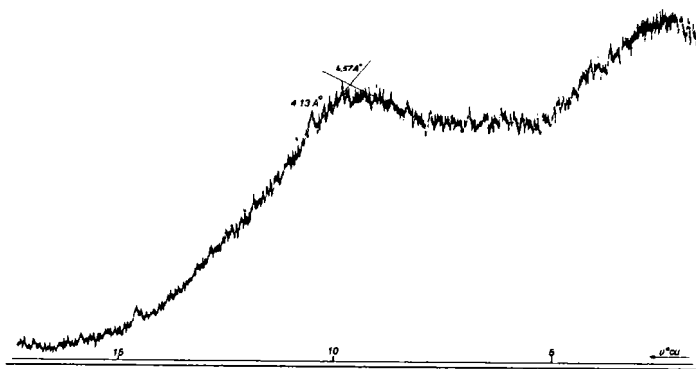


Fig. 2.12. Diffractograma asfaltelor din bitumul de la Rafinăria VEGA.

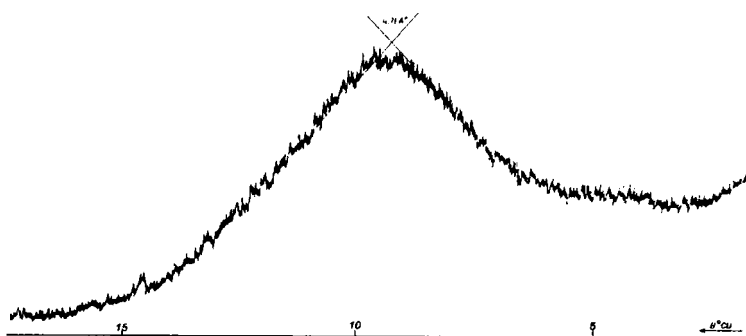


Fig. 2.13. Diffractograma asfaltelor din bitumul de la Rafinăria ASTRA ROMÂNĂ

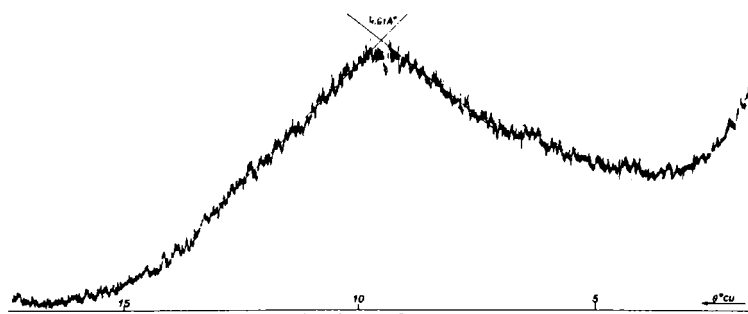


Fig. 2.14. Diffractograma asfaltelor din bitumul de la Rafinăria PETROLSUB.

În final din cercetările întreprinse cu privire la compoziția biturilor fabricate de cele trei rafinării se desprind următoarele **concluzii**:

- toate biturile românești sunt constituite din aceleași elemente;
- compoziția pe grupe de componenți este asemănătoare, cu variații în limite restrânse în ceea ce privește conținutul de asfaltene, rășini și uleiuri;
- analiza röntgenostructurală caracterizează structura asfaltenei ca fiind amorfă pentru toate biturile;
- biturile neparafinoase de la cele trei rafinării examinate prezintă stări structurale tip gel, comparativ cu cele parafinoase a căror compoziție tinde spre starea sol.

2.5. Unele aspecte privind reologia bitumului.

În cercetarea mai aprofundată a biturilor un rol important îi revine reologiei, care permite studierea schimbărilor acestora când au loc modificări în condițiile de solicitare [137].

Trecerea bitumului din starea solidă în starea lichidă rezultă drept consecință a faptului că bitumul reprezintă un amestec de componenți cu caracteristici proprii. Schematic se poate reprezenta printr-un fenomen reversibil în anumite condiții, de tipul trecerii de la gel la sol-gel și apoi la sol.

gel → gel-sol → sol, respectiv sol → sol-gel → gel

Comportarea bitumului [77; 104; 137] din punct de vedere reologic este influențată de durata solicitării, de mărimea acesteia și de temperatură. Luând în

considerare acești parametrii Van der Poel a stabilit modificările de stare ale bitumului prin rezistența opusă la deformare, exprimată prin modulul de rigiditate.

$$S_b = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.4)$$

în care: S_b este modulul de rigiditate al bitumului, exprimat în N/m^2 ;

σ - efortul longitudinal, exprimat în N/m^2 ;

ε - deformația relativă longitudinală.

Modulul de rigiditate al bitumului se măsoară prin încercarea cilindrului de liant la o ușoară oscilație printr-o balanță de torsiune, înregistrându-se amplitudinea și frecvența oscilației.

Modulul de rigiditate al bitumului depinde de durata încărcării și de temperatura la care are loc determinarea, de aceea relația de mai sus se notează:

$$S_b = \frac{\sigma}{\varepsilon}(t, T), \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.4')$$

în care: t este timpul de încărcare, exprimat în s;

T - temperatura de lucru, exprimată în $^{\circ}\text{C}$.

Se precizează că numai la temperaturi scăzute și la timpi de încărcare foarte mici, dispare influența timpului și a temperaturii astfel că, modulul de rigiditate are valoarea sa maximă, aproximativ $3 \times 10^9 \text{ N/m}^2$.

Van der Poel [77] a constatat că modulul de rigiditate al bitumului poate fi definit în funcție de următoarele valori:

- consistența bitumului;
- susceptibilitatea termică a bitumului;
- timpul de încărcare la care se efectuează determinarea;
- temperatura la care se face încercarea.

Aceste patru valori au fost incluse în trei parametri:

- diferența dintre temperatura la care este determinat modulul de rigiditate și punctul de înmuiere IB al bitumului;
- indicele de penetrație al bitumului IP;
- durata de aplicare a încărcării.

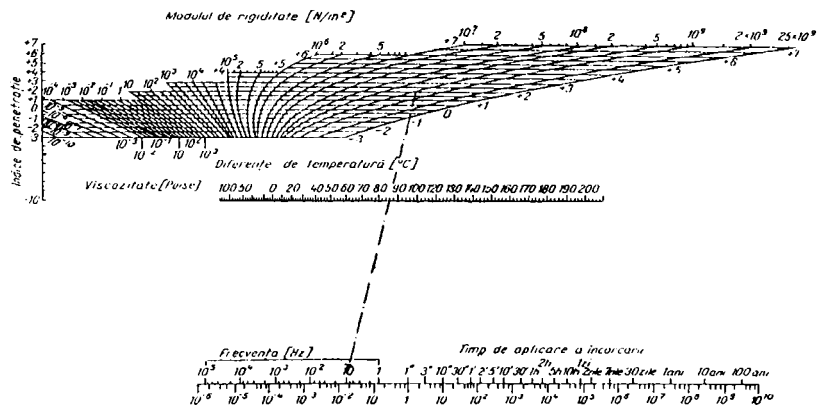


Fig. 2.15. Variația modulului de rigiditate al bitumului (diagrama Van der Poel).

Variația modulului de rigiditate al bitumului este prezentată în figura 2.15 prin monograma Van der Poel [106], care este adoptată în general și care facilitează obținerea modulului de rigiditate al bitumului la diverse temperaturi,

cunoscând indicele de penetrație, durata de aplicare a efortului (încărcării) și diferența de temperatură.

Indicele de penetrație (IP) reprezintă o valoare a susceptibilității biturilor în funcție de temperatură și se determină prin calcul pe baza determinării penetrației la 25 °C și a punctului de înmuiere înel și bilă.

Relația între indicele de penetrație și penetrația bitumului măsurată la două temperaturi este exprimată prin relația:

$$\frac{\lg p_1 - \lg p_2}{T_1 - T_2} = \frac{1}{50} \cdot \frac{20 - IP}{10 + IP} \quad (2.5)$$

în care: p_1 este penetrația bitumului la temperatura T_1 ;

p_2 - penetrația bitumului la temperatura T_2 ;

IP - indicele de penetrație.

Indicele de penetrație poate fi exprimat în funcție de susceptibilitatea termică, prin relația:

$$IP = \frac{20 - 500 a}{1 + 50 a} \quad (2.6)$$

în care: a este susceptibilitatea termică și se poate determina prin relația:

$$a = \frac{\lg P_{IB} - \lg P_{25^{\circ}C}}{T_{IB} - 25^{\circ}C} \quad (2.7)$$

în care: $\lg P_{IB}$ este logaritmul penetrației oricărui bitum la temperatura punctului de înmuiere, care poate varia între 600 și 1.000 zecimi de mm; din punct de vedere practic s-a luat valoarea medie de 800 zecimi de mm;

$\lg P_{25} \text{ } ^\circ\text{C}$ - logaritmul penetrației bitumului la 25 °C;

T_{IB} - temperatura punctului de înmuiere al bitumului respectiv.

În consecință relația (2.7) se poate exprima astfel:

$$a = \frac{\lg 800 - \lg P_{25} \text{ } ^\circ\text{C}}{T_{IB} - 25 \text{ } ^\circ\text{C}} \quad (2.7')$$

Determinarea indicelui de penetrație se bazează pe faptul că dependența penetrației unui bitum oarecare față de temperatură poate fi reprezentată printr-o dreaptă, când se folosește o scară logaritmică pentru penetrație și una zecimală pentru temperatură.

Nomograma IP este prezentată în figura 2.16.

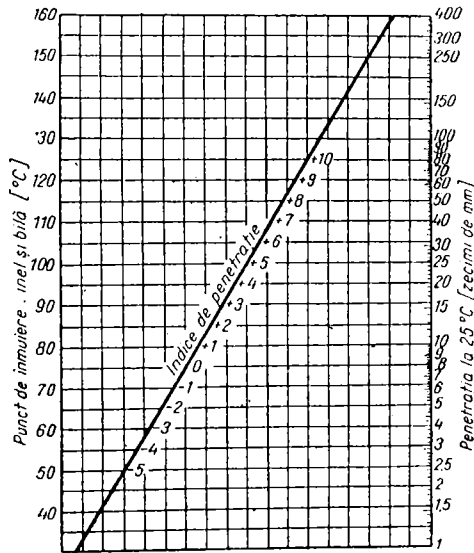


Fig. 2.16. Nomograma pentru determinarea indicelui de penetrație IP

Nomograma IP din figura 2.16 permite să se obțină rapid valoarea indicelui de penetrație IP, cînd se cunoaște penetrația bitumului la 25 °C și punctul de înmuiere IB al aceluiași bitum.

Pe plan internațional s-a admis următoarea caracterizare a biturilor în funcție de indicele de penetrație:

- bitumuri normale, IP variază între -1 și $+1$;
- bitumuri puțin sensibile la temperatură al căror $IP > +1$;
- bitumuri sensibile la temperatură în comparație cu cele normale, cele care au $IP < -1$.

Cercetările sistematice întreprinse la noi în țară atestă că biturile românești pentru drumuri se încadrează în categoria bitumuri normale, IP variînd între $+1$ și -1 .

În consecință biturile obținute din țiteiri românești la cele trei rafinării VEGA, ASTRA ROMÂNĂ Ploiești, și PETROLSUB Suplacu de Barcău atestă o structură sol-gel și o comportare visco-elastică.

2.6. Îmbătrînirea bitumului.

Referitor la termenul de îmbătrînire al bitumului, în tehnica rutieră, acest fenomen privește transformarea ireversibilă a compoziției acestuia, cu consecințe directe asupra proprietăților de utilizare [77; 62; 35; 120].

În timp bitumul își pierde plasticitatea transformându-se ireversibil într-o masă friabilă, lucru care se constată prin creșterea durității lui ajungând la o penetrație de 10...20 1/10 mm.

Fenomenul de îmbătrânire este determinat de modificarea compoziției sub acțiunea oxigenului, a radiațiilor solare, a încălzirii la temperaturi ridicate etc., ceea ce duce la oxidări, polimerizări și policondensări prin micșorarea conținutului de uleiuri și creșterea conținutului de asfaltene.

Schematic fenomenul de îmbătrânire se poate reprezenta astfel:

uleiuri → rășini → asfaltene.

Intensitatea cu care se produce fenomenul poate limita evident durata de folosire a bitumului și în consecință durata de utilizare a straturilor bituminoase realizate din mixturi asfaltice.

În general, transformările unui bitum sunt lente, dar în timp se accentuează și conduc la pierderea completă a proprietăților liante. Practic, îmbătrânirea se manifestă prin opacizare, pierderea supleței, creșterea fragilității, fisurare și pierderea coeziunii, iar în final printr-o duritate excesivă, care se răsfrânge evident asupra mixturilor asfaltice la fabricarea cărora a fost folosit.

Îmbătrânirea [62; 77; 120] este pusă în evidență prin modificarea considerabilă a caracteristicilor bitumului astfel:

- penetrația scade;
- punctul de înmuiere crește;

- punctul de rupere Fraass crește;
- sensibilitatea la temperatură scade;
- adezivitatea scade.

Cercetările întreprinse la noi în țară și în străinătate [35; 62; 77; 137] au arătat următoarele:

- în urma îmbătrînirii are loc creșterea procentului de asfaltene din bitum, ceea ce conduce la creșterea rigidității lui, deci la scăderea penetrației;
- volumul de goluri al mixturii asfaltice influențează în mod direct procesul de îmbătrânire al bitumului; cu cât volumul de goluri din mixtura asfaltică este mai mare cu atât bitumul îmbătrânește mai repede;
- razele ultraviolete provoacă o fotooxidare suplimentară a fracțiunilor aromatice din bitum;
- ciclurile de îngheț – dezgheț influențează negativ adezivitatea bitumului.

Din punct de vedere practic, stadiul de îmbătrânire cel mai periculos se produce la fabricarea mixturilor asfaltice, când are loc peliculizarea bitumului fierbinte la 160...180 °C pe suprafața agregatelor naturale încălzite la o temperatură de 170...190 °C.

Modificările în primul an de exploatare sunt considerabil mai importante decât în anii următori, iar efectele mai pronunțate de îmbătrânire apar în straturile de la suprafața îmbrăcămișilor bituminoase, care sunt direct și continuu solicitate, dar se atenuază în adâncime. Ca atare stratul superior (de

uzură) manifestă pînă la un anumit stadiu de degradare o acțiune protectoare asupra restului îmbrăcămintei bituminoase. Cu timpul, creșterea gradului de îmbătrînire și pe adîncimea stratului bituminos, conduce la degradarea masivă a acestuia.

Acțiunea căldurii asupra îmbătrînirii bitumului [77; 120; 137] a fost demonstrată prin încercări de laborator care au arătat că, o încălzire a acestuia în recipiente mici fără agitare, timp de 5 ore la 250 °C produce următoarele transformări:

- un bitum D 180/220 într-un bitum D 80/120;
- un bitum D 80/120 într-un bitum D 40/50;
- un bitum D 40/50 într-un bitum D 25/30.

Prin încălzire la foc direct, cu sau fără agitare, modificările se amplifică și devin cu atît mai periculoase cu cît cantitatea de bitum supusă încălzirii este mai mică, timpul de încălzire mai îndelungat și temperatura este mai ridicată. La nivelul pereților calzi ai recipientelor degradarea poate merge pînă la cocsificare.

În condiții protejate, transformările sunt reduse și efectul lor apare printr-o ușoară creștere a caracterului vîsco - elastic al bitumului.

Un bitum devine fragil atunci cînd valoarea penetrației sale coboară sub 15 1/10 mm.

Pe șantier intensitatea maximă a efectului caloric se produce în procesul de fabricare a mixturilor asfaltice în instalații și la punerea lor în operă.

Procesele de transformare produse sub acțiunea căldurii determină trecerea uleiurilor în rășini, a rășinilor în asfaltene și a asfaltenelor în produși grei [77] Reacțiile predominante sunt reacțiile de:

oxidare → polimerizare → condensare.

Raportul de transformare se amplifică pe măsura creșterii temperaturii de încălzire a bitumului și devine periculos în procesul de fabricare al mixturilor asfaltice, dacă agregatele naturale sunt supraîncălzite. Se apreciază că acest efect este mai pregnant decât acțiunea exercitată de factorii climaterici asupra îmbrăcămintei bituminoase cu o durată de exploatare de 10 ani.

Îmbătrânirea bitumului sub acțiunea traficului [77; 138]. Solicitățile mecanice contribuie la îmbătrânirea bitumului prin crearea unor condiții favorabile pierderii caracterului visco – elastic, manifestate prin fenomenul de oboseală.

Producând permanent o mișcare în masa bitumului, efectele mecanice contribuie la grăbirea proceselor de modificare structurală și a compoziției. Reducându-se câmpul de plasticitate, bitumurile devin foarte viscoase și își pierd capacitatea de a prelua eforturile produse de solicitările mecanice. O grosime prea mică a peliculei de bitum în mixturile asfaltice accelerează procesul degradării.

Solicitățile mecanice pot fi produse ca urmare a solicitărilor traficului și a diferenței mari de temperatură la care trebuie să lucreze bitumul în diferitele straturi ale îmbrăcăminților bituminoase, ca urmare a variațiilor de temperatură atmosferice între limitele de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Fisurarea prin oboseală apare atunci când este depășită o anumită mărime a deflexiunii sau a intensității sarcinii în funcție de calitatea bitumului; sub această valoare ruperea nu are loc chiar dacă numărul de solicitări este foarte mare.

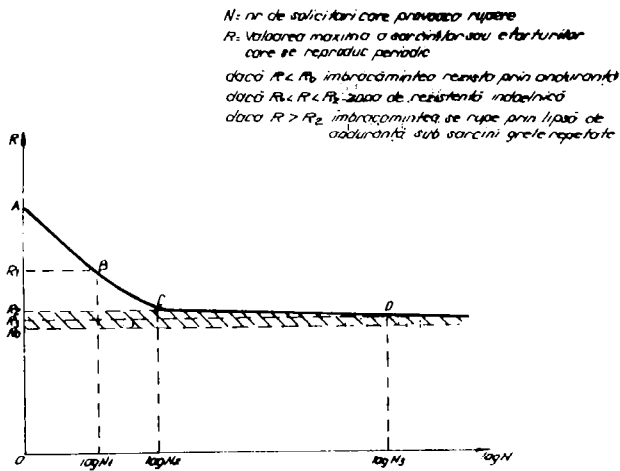


Fig. 2.17. Curba lui Wöhler. Curba de oboseală a îmbrăcăminților bituminoase sub sarcini repetate.

Fenomenul de oboseală este arătat în curba lui Wöhler (figura 2.17) care reprezintă modul de comportare al îmbrăcăminților bituminoase sub încărcări repetate.

În figura 2.17:

N este numărul de cicluri care provoacă ruperea;

R este valoarea maximă a încălzirii, care se produce periodic;

dacă: $R < R_0$, îmbrăcămintea rezistă;

$R_0 < R < R_2$, zona de rezistență îndoielnică;

$R > R_2$, îmbrăcămintea se rupe prin lipsa rezistenței sub sarcini grele, repetate.

2.6.1. Metode de determinare a îmbătrînirii bitumului.

Există o multitudine de metode convenționale de determinare a îmbătrînirii bitumului, din care menționez [77; 137] următoarele:

- laboratoarele L.C.P.C. din Franța [133; 137] recomandă metodele americane T.F.O.T. (Test Thin Film Oven) și R.T.F.O.T. (Rolling Test Thin Film Oven).

Metoda R.T.F.O.T. indică modificarea caracteristicilor bitumului în timpul fabricării mixturilor asfaltice.

Testul T.F.O.T. constă în încălzirea unei probe de 50 g bitum într-o peliculă de 3 mm, în etuvă timp de 5 ore la 163 °C, în curent de aer.

Testul R.T.F.O.T. constă în menținerea unei lamele de sticlă, conținând 35 g de bitum, într-o etuvă rotativă la 163 °C timp de 85 minute, în curent de aer.

În țara noastră [137] pentru simularea îmbătrânirii bitumului în etapa de fabricare a mixturilor asfaltice sunt considerate în prezent satisfăcătoare metodele de “stabilitate” la 163 °C, timp de 5 ore, condiționându-se ca pierderea de masă să nu depășească 0,4 %. Pe aceeași probă de bitum se determină din nou penetrația la 25 °C și se calculează scăderea penetrației inițiale cu relația:

$$S_p = \frac{P_{mit} - P_{fin}}{P_{mit}} 100. \quad [\%] \quad (2.8)$$

în care: S_p este scăderea penetrației, exprimată în %;

P_{mit} - penetrația inițială a bitumului;

P_{fin} - penetrația bitumului după încălzirea la 163 °C timp de 5 ore, în etuvă.

Pentru bitumul D 80/120 se cere ca scăderea penetrației inițiale să reprezinte procentul maxim de 25 %.

Alte caracteristici care se determină după încălzire la 163 °C sunt:

- ductilitatea la 7 °C și la 25 °C;
- punctul de rupere Fraass;
- creșterea punctului de înmuiere;
- vîscozitatea la 60 °C.

Metoda combinată urmărește îmbătrînirea bitumului prin efectul cumulat al mai multor factori și reprezintă o metodă de îmbătrînire accelerată, avînd ca

scop să evalueze îmbătrânirea pe care o suferă un bitum sub efectul factorilor climaterici, evident în mod convențional, prin mijloace de laborator, în cameră climatică. Una din camerele climatice folosite la noi în țară pentru acest studiu a fost camera Feutron, cu următoarele caracteristici:

- temperatura reglabilă, $-20...+60$ °C;
- umiditate, 0...100 %;
- radiații, ultraviolete (UV) și infraroșii (IR).

Cu camera Feutron [77] s-a urmărit îmbătrânirea bitumului conform următorului ciclu:

- încălzire la 60 °C cu expunere la radiații UV timp de 2 ore și la radiații IR timp de 4 ore;
- răcire la -20 °C timp de 2 ore;
- imersare în apă timp de 16 ore la temperatura camerei.

Metodologia adoptată are un caracter convențional, dar a dat posibilitatea de a se evidenția comparativ comportarea bitumurilor, care au fost supuse la îmbătrânire în etape constituite din câte 24, 36 și 48 cicluri.

Estimarea gradului de îmbătrânire a bitumurilor s-a făcut prin analize curente, analiza componentilor, analize spectrale, electronoaptică și determinări de comportare reologică. În figurile 2.18, 2.19 și 2.20 se poate urmări aspectul bitumului îmbătrânit în mod accelerat în camera Feutron, după 48 de cicluri.

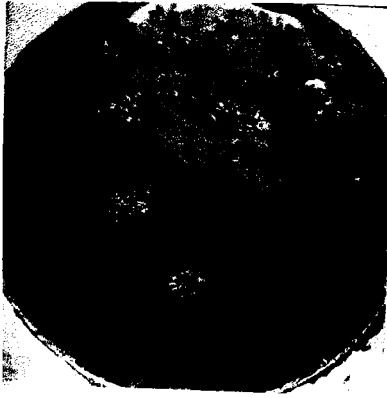


Fig. 2.18. Rafinăria VEGA.



Fig. 2.19. Rafinăria ASTRA ROMÂNĂ



Fig. 2.20. Rafinăria PETROLSUB

Aspectul peliculelor de bitum îmbătrânite prezentate în figurile 2.18, 2.19 și 2.20, arată că prin expunere pe parcursul celor 48 de cicluri de îmbătrânire, bitumul își pierde luciul și prezintă aglomerări în jurul unor puncte complet opacizate.

Din analiza compoziției de grupă după îmbătrânire se constată creșterea conținutului de asfaltene, după cum se poate urmări din figura 2.21.

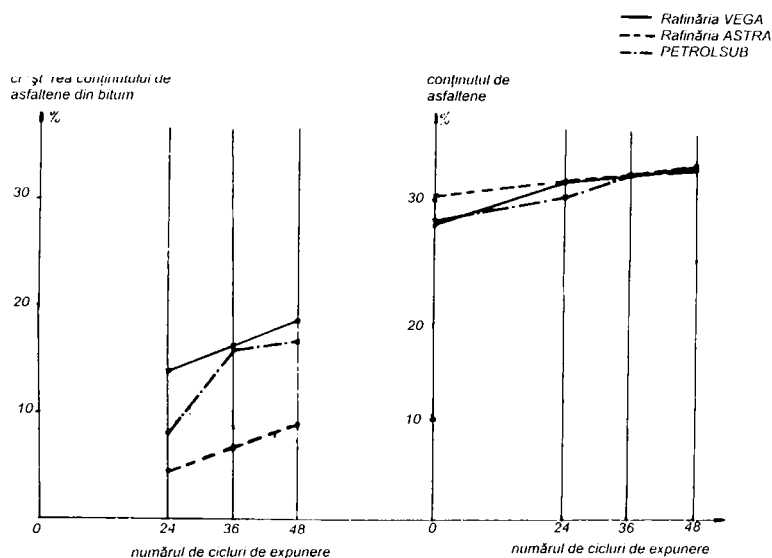


Fig. 2.21. Creșterea conținutului de asfaltene în procesul de îmbătrânire accelerată.

Se constată creșteri ale conținutului de asfaltene mai mici în cazul bitumului de la Rafinăria ASTRA ROMÂNĂ și mai mari și apropiate ca valoare în cazul biturilor de la Rafinăria VEGA și Rafinăria PETROLSUB.

Prin durificarea suferită ca urmare a îmbătrânirii, susceptibilitatea la fisurare a fiecărui bitum crește în funcție evident, de proveniența bitumului.

respectiv modificarea compoziției. Rezultatele privind comportarea la temperaturi scăzute, obținute din modificarea punctelor de rupere Fraass sunt prezentate în figura 2.22.

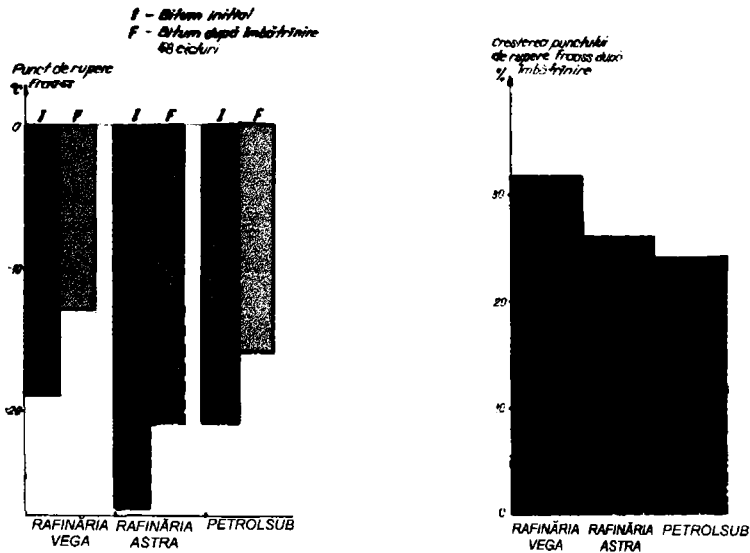


Fig. 2.22. Modificarea punctului de rupere Fraass al biturilor după îmbătrânire accelerată.

Concluziile desprinse din studiul întreprins atestă că la biturile neparafinoase de la Rafinăriile ASTRA ROMÂNĂ, VEGA și PETROLSUB, deși prin îmbătrânire punctele de rupere Fraass cresc, comportarea lor în continuare este bună, întrucât valoarea punctului de rupere se menține în limitele -13...-20 °C.

2.6.2. Concluzii cu privire la îmbătrânirea biturilor fabricate din țițeiuri neparafinoase românești.

Îmbătrânirea biturilor [77; 137] fiind o problemă de importanță majoră a structurilor rutiere este în atenția cercetătorilor de pretutindeni, ca urmare a efectelor nocive pe care le exercită asupra viabilității drumurilor cu îmbrăcăminți bituminoase.

Cercetările întreprinse în România [36; 62; 77; 120] au condus la următoarele concluzii mai importante:

- îmbătrânirea produce treptat transformarea biturilor, care se evidențiază prin:

- modificări de compoziție prin creșterea conținutului de asfaltene, pe seama compușilor mai ușori din uleiuri și rășini;
- modificarea stării de structură prin creșterea volumului miculelor, modificând structura rețelei coloidale și biturile trec astfel în stări de structură mai apropiate de gel;
- biturile devin mai rigide prin îmbătrânire și în consecință mai puțin deformabile;
- biturile neparafinoase sunt mai rezistente la îmbătrânire decât cele parafinoase;
- efectele cele mai pronunțate asupra îmbătrânirii o exercită căldura și ele sunt periculoase atunci când încălzirea este excesivă (cazul

supraîncălzirii bitumului și a agregatelor în timpul fabricării mixturilor asfaltice).

2.7. Adezivitatea bitumului față de agregatele naturale.

Adezivitatea liantului bituminos față de diferite agregate naturale constituie una dintre problemele cele mai importante ale tenicii rutiere; multe îmbrăcămini bituminoase și tratamente s-au degradat datorită unei adezivități insuficiente a bitumului în prezența apei [16; 196].

Adezivitatea poate fi definită ca proprietatea lianților bituminoși de a adera pe suprafața agregatelor și de a lipi granulele între ele. De asemenea, se poate defini ca rezistența pe care o opune la dezlipire o peliculă de liant, care lipește două granule de agregat.

Adezivitatea fiind un fenomen foarte complex depinde de o serie de parametri.

Cercetările și studiile efectuate în diferite țări de o serie de cercetători au căutat să elucideze teoretic și practic fenomenul adezivității [16; 77; 196]. În continuare se vor prezenta câteva din teoriile cele mai cunoscute din literatura de specialitate.

Teoria mecanică a fost elaborată de Mc. Bain, care arată că liantul pătrunde în porii și iregularitățile suprafeței agregatului, producând o îmbinare mecanică [19]. Adepții acestei teorii au arătat că suprafețele rugoase și de

formă neregulată asigură o suprafață de contact mai mare între liant și agregat. Îmbinarea mecanică este influențată negativ de straturile de praf care în mod sigur micșorează adezivitatea.

Teoria orientării moleculare [16; 196] susținută de Lee și Mack explică fenomenul de adezivitate prin orientarea lianților bituminoși când vin în contact cu un solid (agregatul natural). Grosimea straturilor de molecule orientate este foarte mică. Unii cercetători au demonstrat prin studiile lor, existența unei orientări moleculare, prin metoda difracției razelor X, în schimb Meissner și Alehander susțin că nu au observat această orientare.

Teoria reacției chimice [16; 196] consideră fenomenul de adezivitate ca o reacție ce are loc între compușii chimici ai agregatului și a liantului. Conform acestei teorii, unii cercetători au clasificat agregatele naturale, din punct de vedere chimic în agregate bazice, acide și neutre, stabilind că adezivitatea pe roci bazice și neutre este mult mai mare decât pe cele acide.

Clasificarea rocilor din care provin agregatele naturale folosite la lucrările rutiere [16; 194; 77] se face ținând seama de conținutul de bioxid de siliciu (SiO_2) așa cum a fost prezentată în capitolul 1.

În favoarea acestei teorii pledează practic, modul de îmbunătățire al adezivității prin tratarea cu lapte de var a agregatelor naturale provenite din roci de natură silicioasă.

Teoria energiei interfaciale explică adezivitatea prin energia de suprafață a liantului și a agregatului în prezența apei. Schematic fenomenul este prezentat în fig. 2.23.

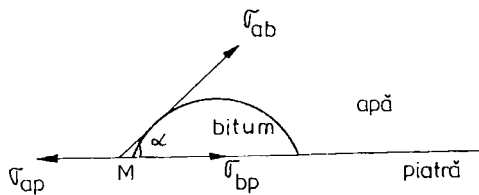


Fig. 2.23. Fenomenul adezivității bitum – agregat în prezența apei.

Se ia în considerare suprafața unei pietre în contact cu bitumul și apa.

Matematic, fenomenul poate fi explicat astfel:

- dacă se consideră punctul M la limita de separare a celor trei faze și unghiul α unghiul de racordare a bitumului la piatră (agregat) și apă, pentru punctul M considerat, condiția de echilibru este dată de relația:

$$\sigma_{ap} = \sigma_{bp} + \sigma_{ab} \cos \alpha \quad (2.9)$$

în care:

σ_{ap} este tensiunea interfacială între apă și piatră;

σ_{bp} - tensiunea interfacială între bitum și piatră;

σ_{ab} - tensiunea interfacială între apă și bitum;

α - unghiul de racordare (unghiul de udare).

Cînd $\sigma_{ab} \cos \alpha$ este > 0 , liantul bituminos va realiza o bună adezivitate, piatra (roca) fiind liofilă pentru bitum și respectiv hidrofobă pentru apă. Rocile hidrofobe aparțin în general grupei de roci bazice [16; 196].

Dacă $\sigma_{ab} \cos \alpha$ este < 0 , liantul bituminos nu realizează adezivitatea la agregat, iar pelicula de bitum va fi îndepărtată de apă. Acest fenomen este caracteristic pentru agregatele care provin din roci hidrofile (rocile hidrofile sunt în general roci acide).

Conform celor arătate anterior, se vede că nu se poate realiza o adezivitate corespunzătoare decît în cazul existenței fenomenului de umectare a agregatului de către liant. Chiar în acest caz este important ca să existe contact direct între agregat și liant; impuritățile ca praful, argila frînează în mod considerabil fenomenul de adezivitate, iar în cazul liantului pur (bitum pur) și umiditatea.

Dupré [16; 196] pornind de la presupunerea că unitatea de suprafață 1 cm² a interfeței lichid-solid este supusă unei forțe de întindere sau contracție a lichidului a exprimat lucrul de adezivitate prin relația:

$$W_a = \sigma_{ap} + \sigma_{ab} - \sigma_{bp} \quad (2.10)$$

în care: W_a este lucrul de adeziune, celelalte σ_{ap} , σ_{ab} , σ_{bp} sunt prezentate în ecuația (2.9)

Ecuția lui Dupré indică faptul că două suprafețe noi se creează în urma cheltuielii de energie, notată în acest caz cu lucrul de adeziune. Combinând cele două relații matematice 2.9 cu 2.10, respectiv:

$$\begin{aligned} \sigma_{ap} - \sigma_{bp} &= \sigma_{ab} \cos \alpha && \text{cu} \\ W_a &= \sigma_{ap} + \sigma_{ab} - \sigma_{bp}, && \text{se obține:} \\ W_a &= \sigma_{ab} \cos \alpha + \sigma_{ab} = \sigma_{ab}(\cos \alpha + 1) && (2.11) \end{aligned}$$

Dacă $\alpha = 0$, atunci $W_a = 2\sigma_{ab}$ iar
dacă $\alpha = 180^\circ$, atunci $W_a = 0$.

Efectul straturilor adsorbite. În mod obișnuit, pe suprafața agregatelor în condiții atmosferice naturale pot fi adsorbite: umiditate, praf, argilă, impurități etc. [16; 196]. În acest caz, în ecuația lucrului de adeziune intervine o creștere a valorii lui în valoarea lucrului mecanic necesar tocmai pentru eliminarea stratului adsorbit. În acest caz ecuația lui Dupré devine:

$$W_a = \sigma_{ab} (\cos \alpha + 1) + \pi_c \quad (2.12)$$

în care: π_c reprezintă lucrul mecanic necesar pentru eliminarea stratului adsorbit.

Efectul rugozității agregatului, influențează în mod favorabil adezivitatea, prin mărirea proporției de umeectare a solidului.

Aspecte ale legăturii liant – agregat. În tehnica rutieră, un interes special îl prezintă legătura dintre liant și agregat. În procesul tehnologic, operația de amestecare a liantului cu agregatele are ca scop peliculizarea bitumului pe suprafața agregatelor și realizarea în acest scop a unei adezivități

cît mai bune. Peliculizarea liantului pe agregate necesită un liant cu vîscozitate mică și o suprafață cît mai curată a agregatelor.

În perioada de priză liantul se întărește prin:

- răcire;
- evaporarea solventului;
- evaporarea apei.

În cazul folosirii emulsiilor bituminoase cationice la executarea tratamentelor fenomenul care are loc este evacuarea apei.

În timpul prizei și întăririi, amestecul de liant – agregat formează un sistem în care un film subțire de liant leagă și acoperă granulele agregatului.

Dacă pe parcursul acestor două faze priza și întărirea, procesul tehnologic este corespunzător, sistemul devine rezistent la acțiunea apei, a luminii, a căldurii și a solicitărilor datorită traficului.

Dacă lucrarea s-a dat prea rapid în circulație, sau a plouat în timpul perioadei de priză, sau s-a produs o scădere pronunțată a temperaturii mediului înconjurător, pot apărea o serie de defecțiuni ale tratamentului bituminos sau a îmbrăcămintei bituminoase realizate.

Factorii mai importanți care influențează legătura dintre liant și agregat depind de proprietățile liantului, de grosimea filmului de liant și de proprietățile agregatului [16; 35; 77; 196].

Proprietățile liantului, influențează procesul de adezivitate, prin compoziția și structura sa. R. Ariano arată că adezivitatea depinde în cea mai mare măsură de conținutul în asfaltene al liantului și numai în mică măsură de conținutul în rășini. Parafina din bitum scade considerabil adezivitatea acestuia [16; 196].

O altă proprietate a liantului, pentru a asigura o bună adezivitate este vâscozitatea lui. În prima fază de peliculizare este necesară o vâscozitate mică, iar după punerea în operă, se cere ca liantul să atingă o vâscozitate mult mai mare, care să asigure realizarea rezistenței la apă a peliculei.

Ținând seama de cele arătate mai sus se constată că din punct de vedere al execuției este foarte important să se cunoască această variație a vâscozității, pentru a încălzi emulsiile vâscoase și a le putea stropi cu utilajele ce stau la dispoziția executantului.

Grosimea filmului de liant influențează adezivitatea. S-a constatat că filmele mai subțiri de liant asigură o mai bună adezivitate decât cele mai groase. Rezistența la tracțiune și la forfecare cresc pe măsură ce grosimea filmului de liant se micșorează, evident pînă la o anumită limită.

M. Duriez [16; 196] arată că grosimea optimă a filmului de liant pentru anrobarea și aglomerarea granulelor variază în funcție de diametrul granulei, după o relație de forma:

$$e = \lambda d^{0.8}, \quad [\mu] \quad (2.13)$$

în care: e este grosimea filmului de liant, exprimată în microni;

λ - constantă, care depinde de caracteristicile bitumului;

d - diametru granulei medii, exprimată în microni.

Proprietățile agregatului influențează fenomenul de adezivitate prin compoziția lui, aspectul suprafeței, gradul de curățenie sau impurificare a granulelor etc. Așa după cum s-a arătat anterior, adezivitatea liantului bituminos este mai mare pe roci de natură bazică, dacă sunt și hidrofobe și considerabil mai mică pe roci de natură acidă (în general hidrofile).

Adezivitatea este mai mare pe agregate cu suprafețe rugoase, prin mărirea proprietății de umectare.

Gradul de impurificare al agregatelor influențează adezivitatea, conform ecuației lui Dupré, prin valoarea lucrului mecanic necesar pentru eliminarea stratului adsorbit [16; 196].

Contaminarea suprafeței cu ulei, praf și apă micșorează adezivitatea și poate duce la o degradare prematură, prin dezlipire și rezultând, deci dezanrobarea agregatului.

2.7.1. Metode de determinare a adezivității bitum – agregat.

Literatura de specialitate [16; 106; 196] indică foarte multe metode de determinare a adezivității, care să permită o previziune privind comportarea în exploatare a diferitelor sisteme bitum – agregat – apă.

Datorită complexității fenomenului, există și foarte multe metode de laborator, care pun în evidență modul cum sistemul rezistă la acțiunea apei, precum și la solicitări termice și mecanice. Se vor prezenta în continuare câteva din metodele cele mai cunoscute.

2.7.1.1. Metoda Riedel-Weber.

Această metodă constă în măsurarea dezanrobării nisipului cu dimensiunile granulelor 0,2...0,6 mm, prin fierbere cu apă și cu soluții din ce în ce mai concentrate de carbonat de sodiu (Na_2CO_3). Se anrobează la 150 °C nisipul provenit din agregatul a cărui adezivitate se măsoară, în proporție de 29 volume liant la 71 volume agregat. După răcire la temperatura camerei, se aduce amestecul la fierbere timp de un minut în apă. Dacă nu se produce dezanrobarea se fac încercări de fierbere cu soluții de carbonat de sodiu cu concentrații din ce în ce mai mari. Se notează evident, concentrația soluției la care are loc dezanrobarea.

Încercarea Riedel-Weber pune în evidență faptul că lianții bituminoși prezintă o bună adezivitate pe agregate hidrofobe (bazice) și o slabă adezivitate pe agregate hidrofile. Obiectiunea adusă metodei este utilizarea carbonatului de sodiu în evaluarea adezivității, care nu este în concordanță cu condițiile de pe teren.

2.7.1.2. Metoda cu imersiune.

Metoda măsoară adezivitatea prin expunere în apă în anumite condiții.

a) Metoda prin fierbere în apă, constă în anrobarea cu bitum a unor granule cu diametrul între 8...10 mm și apoi fierberea lor în apă timp de trei minute. Notarea se face prin aprecierea gradului de dezanrobare a granulelor cu note de la 1...5. Nota 1 se acordă când pelicula de bitum este complet detașată, iar granulele sunt dezvelite total, bitumul ridicându-se la suprafață. Nota 5 se acordă când pelicula de bitum este complet aderentă pe granulă, anrobarea fiind foarte bună.

b) Metoda de imersare în apă, constă în anrobarea granulelor cu dimensiunile 5...8 mm, cu 5 % liant. După răcire, granulele se mențin șase zile imersate în apă și se evaluează vizual gradul de anrobare prin apreciere cu o precizie de ± 10 %. În vederea citirii următoare, se agită granulele care sînt imersate în apă cu o baghetă de sticlă timp de trei minute, realizîndu-se 100 de agitări; apoi se evaluează din nou gradul de anrobare. Ambele rezultate indică adezivitatea bitumului pe un anumit agregat natural. Referitor la această metodă se observă că necesită un timp destul de îndelungat, respectiv șase zile de imersare. În consecință metoda a fost modificată prin alte două variante, care permit reducerea timpului de încercare astfel:

- încercarea se efectuează în același mod ca mai sus, reducînd timpul de imersare la 24 de ore;

- proba rapidă se folosește ca încercare de șantier și constă în fierberea granulelor anrobate în apă timp de trei minute.

c) Metoda lui Dow și Tyler [16; 196] este o metodă cu imersiune dinamică. Agregatul este anrobat cu 5 % bitum la cald. După răcirea amestecului se imersează în apă distilată și se agită cu ajutorul unui vibrator timp de 30 minute. Notarea se face prin apreciere vizuală. Specialiștii apreciază această metodă ca fiind mai bună comparativ cu metoda Riedel-Weber sau alte metode de imersiune statică, totuși ea nu cuprinde în mod real simularea încărcării sub trafic.

d) Metoda cu ajutorul dispozitivului cu placă (Vialit). Aparatul este prezentat în figura 2.24.

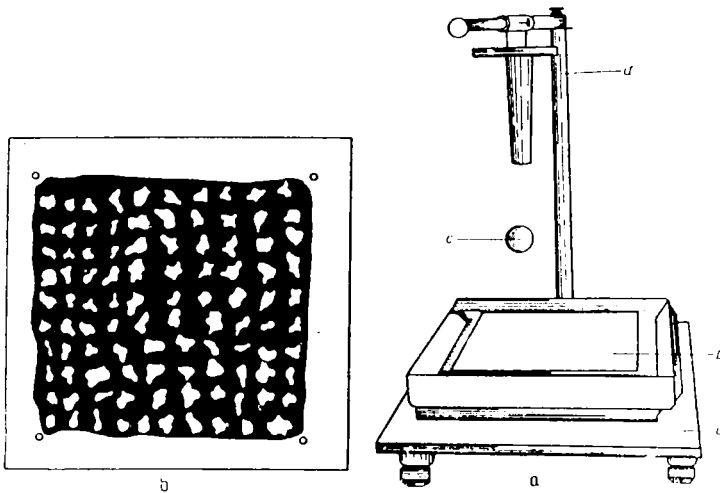


Fig. 2.24. Aparatul Vialit.

a - suportul aparatului; b - placa; c - bila; d - tijă verticală cu dispozitiv de ghidare

Bitumul cald se întinde pe suprafața plăcii astfel încât să se obțină 26...27 g bitum, într-un strat subțire de 0,5 mm pe suprafața plăcii în prealabil încălzite în etuvă la 150 °C. Pe suprafața bitumului cald se așează cu mâna

100 g agregat natural (criblură 3 - 8 sau 8 - 16, sau mărgăritar etc.) de încercat. Placa respectivă cu granulele fixate în bitum se lasă timp de două ore la temperatura camerei (pentru răcirea bitumului), apoi placa se introduce în apă (timpul de imersare poate varia de la câteva minute pînă la 24 ore).

Se pune placa pe cei patru suportți fixați pe stativul aparatului, cu fața pe care sunt lipite granulele în jos. De la înălțimea de 50 cm, se lasă să cadă liber o bilă de 500 g de 5 ori pe suprafața plăcii. Loviturile se repartizează cît mai uniform în centrul și spre celelalte părți ale plăcii. Se ridică placa și se numără granulele dezlipite, obținînd astfel adezivitatea bitumului pe agregatul respectiv. Metoda se poate aplica și în cazul emulsiilor bituminoase, asigurînd aceeași cantitate de bitum rezidual pe placă, respectiv 27...28 g, dar trebuie să se aștepte ruperea emulsiei și minim 24 ore pentru efectuarea încercării. Metoda este susceptibilă la îmbunătățiri, în sensul mării duratei de imersiune și a variației grosimii peliculei de liant pe placă.

Concluzii. Întrucît metodele arătate anterior au fost criticate în general, datorită faptului că nu țin cont de condițiile reale de trafic, cercetătorii în domeniu au propus metode care țin cont atît de influența apei, cît și de acțiunea traficului. Se prezintă în continuare cîteva metode.

e) Metoda engleză de trafic [16; 194] a fost pusă la punct de laboratorul de cercetări rutiere din Anglia, pentru diferite tipuri de mixturi asfaltice. Se utilizează mașini de încercare cu trei roți și anvelope dure, care

se deplasează pe probele fixate în bancul de încercare, cu un mers alternativ de 25 cicluri/minut. În tot timpul determinării, probele sunt imersate în apă. Criteriul adoptat pentru măsurarea adezivității este apreciat prin timpul necesar atingerii stadiului de fisurare a probei.

f) Metoda prin imersiune – compresiune determină în mod indirect adezivitatea, stabilind reducerea rezistenței la compresiune a unei mixturi asfaltice, după un anumit timp de imersare în apă (4 sau 7 zile). Scăderea rezistenței la compresiune se exprimă în procente astfel:

$$R_c = \frac{R_{c1}}{R_{c2}} 100, \quad [\%] \quad (2.14)$$

în care: R_c reprezintă scăderea rezistenței la compresiune, exprimată în %;

R_{c1} - rezistența la compresiune a epruvetelor, după 24 ore, în stare uscată;

R_{c2} - rezistența la compresiune a epruvetelor, după 4 sau 7 zile de imersare în apă.

Dacă rezistența la compresiune după șapte zile scade sub 20 % din valoarea inițială, înseamnă că adezivitatea este foarte slabă și trebuie să se ia măsuri pentru îmbunătățirea ei, prin aditivarea bitumului.

O încercare similară este prevăzută și în România în standardul pentru îmbrăcăminiți bituminoase, care prevede o imersare în apă a epruvetelor timp de 28 zile. Relația de calcul în acest caz este:

$$R_c = \frac{R_{c22} - R_{c28}}{R_{c22}} 100 \quad [\%] \quad (2.15)$$

în care: R_c reprezintă scăderea rezistenței la compresiune după 28 zile, imersare în apă, exprimată în %;

R_{c22} - rezistența la compresiune la 22 °C;

R_{c28} - rezistența la compresiune la 22 °C după 28 zile imersare în apă.

Se recomandă ca R_c să aibe o scădere de maxim 35 %.

Metoda necesită însă un timp îndelungat, respectiv 28 de zile.

g) Metoda cu substanțe radioactive. Se acoperă agregatul cu clorură de calciu (CaCl_2) radioactivă, apoi se anrobează cu un liant [16; 196] și se imersează în apă. Dacă la proba imersată în apă se produce desprinderea liantului de pe agregatul natural, clorura de calciu radioactivă se dizolvă în apă și se poate măsura cantitativ radioactivitatea cu un aparat de măsură adecvat. Metoda este puțin folosită, din cauza radioactivității.

h) Metoda pistelor de încercare [16; 196]. Pentru a studia efectul combinat al apei și al solicitărilor datorită traficului rutier, s-au construit piste circulare de probă cu diferite tipuri de îmbrăcămiși bituminoase. Simularea traficului s-a făcut cu autovehicule de încercare prevăzute cu anvelope obișnuite, în condiții de trafic similare cu traficul de pe autostrăzi. Îmbrăcămișile bituminoase pe care se circulă sunt acoperite cu apă pe toată durata încercării. Se măsoară cantitatea de material afânat care rezultă prin

uzura îmbrăcămintei în funcție de numărul de treceri. Această metodă este considerată mai aproape de condițiile reale de exploatare a îmbrăcămintelor bituminoase, însă este foarte costisitoare și necesită un timp îndelungat de experimentare pentru a se obține rezultate concludente.

2.7.1.3. Metodele standardizate în România pentru determinare a adezivității sunt:

- metoda statistică și metoda dinamică la rece;
- metoda cantitativă (cu absorbție de colorant).

Metoda statică. Principiul metodei constă în menținerea în apă distilată a granulelor agregatului natural, peliculizate cu bitum depus la cald în cazul bitumului D 80/120 și prin ruperea emulsiei bituminoase cationice. După uscare în etuvă la 135 °C granulele pe care s-a peliculizat bitumul se răcesc la temperatura ambiantă și trec într-un pahar Berzelius unde se acoperă cu apă distilată, astfel ca apa să acopere granulele anrobate cu 7...8 cm și se acoperă cu o sticlă de ceas. După 18 ore se face estimarea suprafeței rămasă acoperită cu bitum, vizual, amestecul menținându-se sub apă.

Metoda dinamică. Pregătirea amestecului este identică, dar după imersarea în apă, când se face estimarea adezivității, conținutul se amestecă în apă în paharul Berzelius, prin rotirea baghetei de sticlă, sau a spatulei de 100 ori, timp de 3 minute.

Estimarea adhezivității se face la fel, iar interpretarea rezultatelor pentru ambele metode este dată în tabelul 2.7.

Interpretarea rezultatelor adhezivității la rece.

Tabelul 2.7

Metoda statică	Metoda dinamică
<p>Suprafața granulelor rămasă acoperită cu bitum</p> <ul style="list-style-type: none"> - mai mult de 95 % din suprafață; - 95 % din suprafață; - mai puțin de 95 %. 	<ul style="list-style-type: none"> - 100 % când suprafața este complet acoperită; - 90 % când peste 90 % din suprafață rămîne acoperită; - 75 % când 75...90 % din suprafață rămîne acoperită; - 50 % când 50...75 % din suprafață rămîne acoperită; - sub 50 % când mai puțin de 50 % din suprafață rămîne acoperită; - 0 % când bitumul se desprinde complet de pe granule.

Metoda cantitativă constă în determinarea raportului dintre absorbția unui colorant de concentrație dată de către agregatul natural ca atare și de către agregatul natural peliculizat cu bitum (colorantul nefiind absorbit de bitum).

Aparatura este prezentată în figura 2.25.

Agregatul natural în cantitate de 250 g peliculizat cu bitum se introduce în aparat și se tratează cu 1.300 cm³ soluție de colorant roșu 4G de concentrație C și este supus recirculării soluției cu ajutorul pompei de recirculare, timp de 90 minute. După terminarea operației de recirculare, se determină concentrația soluției C₂, cu spectrofotometru sau prin compararea culorilor. Pentru comparație se introduce în aparat o probă martor de 250 g agregat natural ca atare (fără bitum) și se tratează cu aceeași cantitate de

soluție de colorant roșu 4G. După recirculare se determină concentrația soluției C_1 , cu spectrofotometrul sau prin compararea culorilor.

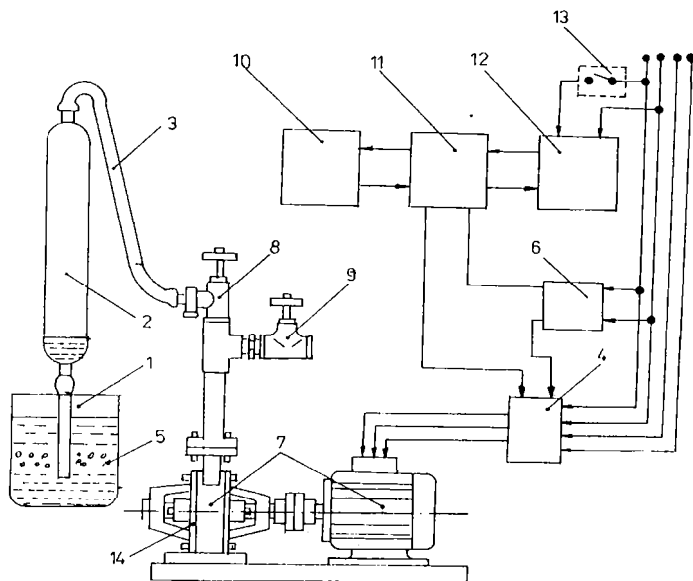


Fig. 2.25. Aparat pentru determinarea cantitativă a adezivității.

1 - vas de sticlă; 2 - vas cilindric; 3 - racord de legătură; 4 - contactor; 5 - ciur; 6 - transformator de rețea; 7 - ansamblu motor - pompă de vid; 8 - robinet reglaj; 9 - robinet de legătură; 10 - releu T_1 ; 11 - releu T_2 ; 12 - releu T_3 ; 13 - buton monostabil de pornire; 14 - sursă de apă (după STAS 10969/3-88).

Adezivitatea bitumului față de agregatele naturale se calculează cu relația:

$$S_n = 100 - \frac{(C - C_2)}{(C - C_1)} 100, \quad [\%] \quad (2.16)$$

în care: S_n este adezivitatea, exprimată în %;

C - concentrația inițială a soluției, exprimată în %;

C_1 - concentrația soluției după recirculare peste agregatul natural ca atare, exprimată în %;

C_2 - concentrația soluției după recirculare peste agregatul natural peliculizat cu bitum, exprimată în %.

Se consideră că adezivitatea este corespunzătoare, dacă se obține o valoare de minim 75 % (S_n).

2.7.1.4. Rezultate obținute în laborator privind adezivitatea.

În laboratorul central al D.R.D.P Timișoara am participat la executarea unor serii de determinări ale adezivității lucrând cu bitum D 80/120 de la Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău, cu bitum albanez, cu emulsie cationică, cu rupere rapidă și lentă, folosind agregate nespălate provenite din bazalt (criblură), mărgăritar silicios și agregat calcaros concasat. Rezultatele sunt arătate în tabelul 2.8.

Rezultate obținute la determinarea adezivității.

Tabelul 2.8

Nr. crt.	Metoda	Liantul	Aprecie	Adezivitatea pe suprafață acoperită				
				criblură bazalt		mărgăritar silicios		agregat calcaros concasat
				spălat	nespălat	spălat	nespălat	
1.	Fierbere în apă	bitum D 80/120	notă	5	3	4	2	4
2.	Fierbere în apă	emulsie cationică	notă	5	3	5	3	5
3.	Îmersare în apă după 24 ore	bitum D 80/120	%	90	60	75	50	75
4.	Îmersare în apă după 7 zile	bitum D 80/120	%	90	60	75	50	75
5.	Aparat cu placă	bitum D 80/120	%	95	60...70	80...90	50...60	80...90
6.	Aparat cu placă	emulsie cationică rupere lentă	%	95...98	60...70	90...95	40...50	90...95
7.	Aparat cu placă	bitum albanez	%	64	10	-	-	-

Din tabel se constată că aparatul cu placă (Vialit) dă în general valori mai mari decât celelalte metode. Cea mai severă metodă este cea prin fierbere. Toate metodele pun în evidență scăderea considerabilă a adezivității pe agregate naturale murdare, nespălate, acoperite cu praf.

Prin metoda cantitativă, cu aparatul prezentat în fig. 2.7, s-au efectuat o serie de încercări pe cribluri provenite din diverse surse. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 2.9

Adezivități metoda cantitativă

Tabel 2.9

Cariera	Bitum de la PETROLSUB	Adezivitatea, în %
Zam	Tip: D 80/120	75,0
Brănișca	Tip: D 80/120	85,0
Zlaști	Tip: D 80/120	75,2
Tălagiu	Tip: D 80/120	50,0
Romanița	Tip: D 80/120	47,0
Șanovița	Tip: D 80/120	88,0
Meri	Tip: D 80/120	73,3
Porcenii	Tip: D 80/120	83,0
Vîrfurile	Tip: D 80/120	57,9
Maidan	Tip: D 80/120	65,0
Crușovița	Tip: D 80/120	60,0

Studiind adezivitatea biturilor, cercetătorii de la Secția drumuri a INCERTRANS [77] au evidențiat valorile prezentate în tabel 2.10.

Analizînd rezultatele din tabel se constată că cea mai bună adezivitate o prezintă bitumul de la ASTRA ROMÂNĂ Ploiești. Bitumul de la celelalte două rafinării, respectiv de la VEGA Ploiești și PETROLSUB Suplacu de Barcău au o adezivitate scăzută mai ales la fierbere și prin metoda dinamică la rece, fapt ce pledează pentru aditivarea lor.

*Adezivitatea biturilor.**Tabelul 2.10*

Tipul de bitum D 80/120	Adezivitate față de agregate naturale, %					
	statică la rece		la fierbere		dinamică la rece	
	bazalt	silice	bazalt	silice	bazalt	silice
Rafinăria VEGA Ploiești	100	80	50	30	50	10
Rafinăria ASTRA ROMÂNĂ Ploiești	100	90	90	70	95	10
Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău	95	70	50	30	40	10

2.8. Preocupări privind modernizarea aparaturii de laborator

În contextul efectuării în laborator a cercetărilor privind caracteristicile biturilor, pentru mărirea preciziei măsurătorilor, precum și pentru ameliorarea constanței acestora, autorul, împreună cu un colectiv al Catedrei de Drumuri și Fundații a Facultății de Construcții din Timișoara, a propus și realizat modernizarea a două aparate care sunt prezentate în cele ce urmează.

2.8.1. Aparat electronic pentru determinarea penetrației biturilor.

În principiu determinarea penetrației bitumului constă în măsurarea adâncimii de pătrundere într-o probă de bitum a unui ac normalizat cu masa de 100 g, la temperatura de 25 °C, în timp de 5 s, exprimată în zecimi de mm.

În scopul determinării acestei caracteristici sunt cunoscute aparate cu acționare manuală de tipul Richardson, care utilizează microcomparatoare pentru măsurarea adâncimii de penetrare, iar pentru măsurarea timpului de penetrare utilizează cronometre. Dezavantajul acestor aparate constă în faptul că se introduc erori la determinarea penetrației, erori care provin din acționarea manuală a penetromerului și cronometrului și mai ales din nesincronizarea perfectă între acestea în momentul de “start” și “stop”.

De asemenea, pentru determinarea penetrației biturilor mai sunt cunoscute aparate electro-optice, la care baza de timp este asigurată electronic, iar culegerea informației privind adâncimea de penetrare este realizată printr-un sistem de lentile străbătut de un fascicul luminos. Tija cu acul de penetrare este ghidată în cădere de o pîrghie care îi asigură și blocarea la începutul și la sfîrșitul perioadei de determinare.

Aceste aparate prezintă mai multe dezavantaje și anume:

- nu este eliminată în suficientă măsură frecarea laterală dintre tija de penetrare, care trebuie să aibă o cădere liberă și pîrghia de ghidare laterală care împiedică rotirea tije în jurul axei sale;
- la ușoare trepidații ale mesei de lucru, sistemul optic cu lentile pentru citirea informației nu asigură precizia necesară, înregistrîndu-se valori inexacte și inconstante.

Aparatul electronic propus și realizat de autor împreună cu un colectiv de lucru, înlătură dezavantajele mai sus menționate prin aceea că blocarea și

deblocarea tije de penetrare este asigurată de un releu de timp care acționează o frână electromagnetică, percepția informației privind adâncimea de penetrare fiind realizată prin intermediul unui traductor inductiv de deplasare liniară care acționează o punte tensiometrică și aceasta la rândul ei un instrument de măsură care afișează direct adâncimea de pătrundere.

Acest aparat constituie obiectul unei invenții pentru care Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci a acordat doctorandului Brevetul de Invenție nr. 87504 din 26.03.1985. De asemenea, aparatul a primit o mențiune specială la “Salonul de Invenții Timișoara”, în iulie 1985.

Schema bloc a penetrometrului electronic este prezentată în fig. 2.26.

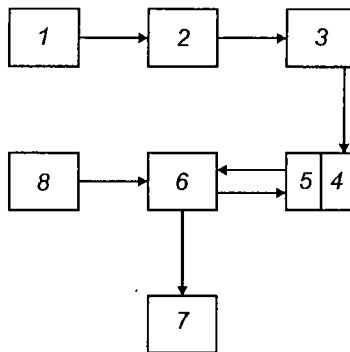


Fig. 2.26. Schema bloc a penetrometrului electronic.

Principiul de funcționare al aparatului este următorul: blocul de alimentare **1** furnizează tensiunea stabilizată necesară releului de timp **2** care asigură perioada de penetrație. Releul de timp **2** acționează o frână electromagnetică **3** care blochează și deblochează tija de penetrare. Deplasarea verticală în cădere liberă a tije de penetrare **4** este transmisă tije traductorului

de deplasare liniară 5 cu care lucrează în sistem cumpănă, iar de aici informația este transmisă, prin intermediul unei punți tensometrice 6, instrumentului de măsură 7 care afișează adâncimea de pătrundere a acului de penetrare în proba de bitum, scala instrumentului fiind gradată direct în zecimi de mm. Blocul de alimentare 8 are rolul de a furniza tensiunea stabilizată pentru alimentarea punții tensometrice 6 și prin aceasta traductorului de deplasare liniară 5.

Tabela 2.11

Proba de bitum nr.	Penetrație (1/10 mm)		Proba de bitum nr.	Penetrație (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
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			

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 mai ales o omogenitate sporită a celor obținute cu penetrometrul electronic. Acestea sunt prezentate în tabelul 2.11.

Pentru aprecierea omogenității obținute în cele două variante de măsurare s-a calculat coeficientul de variație (relația 2.17) și coeficientul de omogenitate (relația 2.20).

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.17)$$

în care: C_v este coeficientul de variație;

σ - abaterea medie pătratică a șirului de valori (2.18), în 1/10 mm;

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

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad [1/10 \text{ mm}] \quad (2.18)$$

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

în care: x_i sunt valorile penetrației obținute prin măsurarea cu penetrometrul Richardson;

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

$$C_o = 1 - \frac{t \cdot C_v}{100} \quad (2.20)$$

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 °C cu care se face aprecierea omogenității [6].

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 student. Cu cât coeficientul de omogenitate (C_o) are valori mai apropiate de unitate cu atât omogenitatea este mai bună [6].

Prelucrarea statistică a rezultatelor [84] a condus la obținerea următoarelor rezultate:

- penetrometrul Richardson: valoarea medie 39,13 1/10 mm, coeficientul de variație 4,65 %, coeficientul de omogenitate 0,906;

- penetrometrul electronic: valoarea medie 40,62 1/10 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 forță 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 putînd 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 constată că inconvenientele 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) sunt eliminate prin introducerea în practică a acestui aparat electronic pentru determinarea penetrației bitumului, care poate fi utilizat în toate laboratoarele de drumuri din țară precum și în laboratoarele rafinăriilor care produc și livrează bitumuri.

2.8.2. Aparat electronic pentru determinarea punctului de înmuiere al biturilor.

Punctul de înmuiere reprezintă temperatura la care bitumul încetează de a mai fi plastic și devine lichid. Una dintre metodele de determinare a punctului de înmuiere este metoda “inel și bilă” (IB) care constă în

determinarea temperaturii la care o proba de bitum introdusă într-un inel în anumite condiții se înmoaie, suficient ca să permită trecerea prin inel a unei bile de oțel de un anumit diametru și de o anumita masă. Când bila atinge placa inferioară a aparatului, se citește temperatura pe un termometru. Pentru încălzirea probelor supuse testării se utilizează o baie cu apă a cărei temperatură trebuie să crească cu $(5 \pm 0,5)$ °C/min, începând de la 20 °C.

Acest lucru este dificil de realizat și necesită prezența permanentă a unui operator care să urmărească foarte atent viteza de creștere 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 dificultăți, autorul împreună cu un colectiv din cadrul Catedrei de Drumuri și Fundații a Facultății de Construcții din Timișoara, a proiectat și realizat un aparat electronic pentru determinarea punctului de înmuiere al bitumului, prin metoda “inel și bilă”, aparat pentru care doctorandul a primit **Brevetul de Invenție** nr. 88352 din 05.09.1985.

Schema bloc a aparatului este prezentată în fig. 2.27.

Aparatul este constituit din termoregulatorul **1**, care furnizează tensiunea de alimentare unei rezistențe **1'**, astfel încât încălzirea probei de bitum **2** supusă testării să se facă progresiv cu 5 °C pe minut. Un bloc de stabilizare **3** alimentează cu tensiune stabilizată blocurile funcționale ale aparatului.

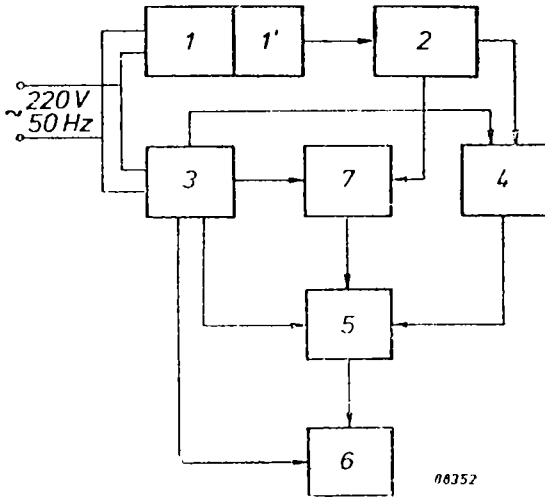


Fig. 2.27. Schema bloc a aparatului electronic "inel și bilă".

Temperatura probei de bitum **2** este sesizată de un termometru electronic **4** și transmisă unui numărător electronic **5**, care afișează pe un bloc de afișaj electronic **6** al temperaturii. Sfârșitul determinării, când bila de oțel trece prin inelul care conține proba de bitum, este sesizat de o celulă fotoelectrică **7**. Aceasta transmite informația numărătorului electronic **5** care se blochează, împreună cu blocul de afișaj **6**, rămânând în această poziție un timp nelimitat (până la intervenția operatorului). Temperatura la nivelul probei de bitum este afișată permanent, astfel că se poate urmări evoluția acesteia în timp, respectiv viteza sa de creștere.

Încercările efectuate cu acest aparat au condus la obținerea unor rezultate superioare celor obținute cu aparatul clasic, din punct de vedere al omogenității acestora. Aceste rezultate sunt prezentate în tabelul 2.12.

Tabelul 2.12

Proba de bitum	Punctul de înmuiere (°C)		Proba de bitum	Punctul de înmuiere (°C)	
	Aparatul clasic	Aparatul electronic		Aparatul clasic	Aparatul electronic
1	45	44	16	40	41
2	42	43	17	41	42
3	44,5	45	18	43	43
4	46	45	19	46	45
5	47	47	20	45	44
6	46	45	21	42	44
7	49	47	22	41	42
8	47	46	23	45	45
9	46	45	24	44	42
10	46,5	44	25	40	41
11	42	43	26	39	40
12	40	41	27	45	44
13	40	40	28	43	43
14	37	38	29	41	42
15	45	45	30	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 °C, 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 înmuiere inel și bilă rămâne afișată 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 operatorului 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 ca inconveniențele 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, sunt contracarate prin utilizarea aparatului electronic.

Acest aparat poate fi utilizat în toate laboratoarele de drumuri din țară, precum și în laboratoarele rafinărilor care produc și livrează lianți bituminoși.

2.9. Considerații privind bitumul aditivat.

Din literatura de specialitate și din cercetările efectuate în toate țările și evident și în România [16; 137; 199], se constată că problema adezivității lianților bituminoși este una din cele mai importante pentru sectorul de drumuri și că o serie de deficiențe și de degradări, care apar în exploatarea îmbrăcăminților bituminoase, au drept cauză tocmai adezivitatea necorespunzătoare în sistemul liant bituminos – agregat natural, în prezența apei. Pentru înlăturarea acestui neajuns se pot folosi diverși aditivi care ameliorează adezivitatea bitumului față de agregatele naturale.

Aditivii sunt produse tensioactive, care micșorează tensiunea interfacială liant – agregat. Aditivii au o compoziție și o structură specifică polar – apolară alcătuită din două grupări:

- o grupare liofilă care se fixează în bitum;
- o grupare hidrofilă care se fixează la suprafața agregatului natural.

Se admite astfel că pe lângă legătura fizică se formează o legătură cvasichimică, care contribuie la creșterea rezistenței peliculei de bitum față de acțiunea de dezanrobare a apei.

Prin adăugarea unei cantități mici de aditiv în bitum se obține în general o bună adezivitate între bitum și agregatele uscate de natură bazică. Dacă se urmărește anrobarea unor agregate ude, evident, cantitatea de aditiv necesară crește.

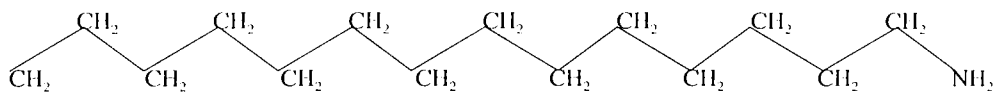
Folosirea aditivilor prezintă următoarele avantaje economice:

- permit folosirea rocilor acide;
- dau posibilitatea utilizării materialelor locale;
- asigură o calitate superioară lucrărilor realizate cu bitum aditivat.

2.9.1. Compoziția și proprietățile aditivilor.

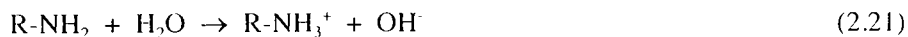
În general aditivii sunt alcătuiți din amine grase, amidoamine sau imidazoline [35; 137].

Aminele grase se caracterizează printr-un lanț hidrocarbonat lung; ele se obțin din acizi grași la care se atașează o grupare aminică - NH₂ și au forma:



Formula generală a unei astfel de amine este R-NH₂, în care R reprezintă radicalul hidrocarbonat.

În prezența apei sau a unui acid aminele ionizează astfel:



R-NH₃⁺ este cationul, care formează o legătură chimică puternică pe suprafața agregatelor silicioase (încărcate negativ). Această legătură poate rezista la acțiunea apei, ceea ce conduce la creșterea considerabilă a adezivității dintre bitum și agregate. Legătura dintre bitum și agregat se explică schematic în figura 2.28.

Gruparea aminică reacționează pe suprafața agregatului, iar lanțul hidrocarbonat, care este hidrofob se îndreaptă către bitum.

Efectul final este acela că lanțul hidrocarbonat funcționează ca un “pod” între agregat și bitum, ceea ce asigură o puternică legătură între ele.

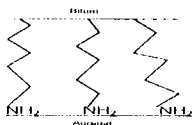
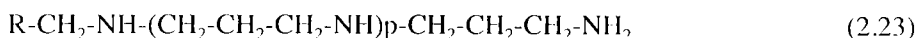


Fig. 2.28. Schema acțiunii aditivului.

Diaminele și poliaminele se obțin prin adăugarea acrilonitrilului pe amina inferioară și au formula chimică următoarea:



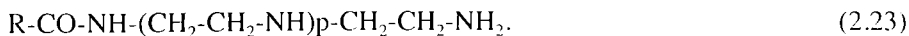
în care “p” poate varia de la 0 la 2.

În general diaminele și poliaminele sunt folosite ca emulgatori cationici.

Diaminele sunt folosite mai ales la fabricarea emulsiilor bituminoase cationice cu rupere rapidă sau semilentă.

Poliaminele sunt destinate emulsiilor bituminoase cationice cu rupere lentă.

Amidoaminele se obțin prin reacția chimică dintre un acid gras și o poliamină având formula:



Referitor la adezivitate diaminele asigură o mult mai bună adezivitate a bitumului pe agregate, comparativ cu monoaminele, fapt ce a condus cu precădere la folosirea diaminelor ca aditivi.

Aminele pot fi lichide sau solide [16; 35], cele lichide fiind preferate în cazul cînd bitumul nu este încălzit la temperaturi mai mari de 50 °C.

Amidoaminele pot fi folosite la temperaturi mai ridicate de pînă la 160 °C.

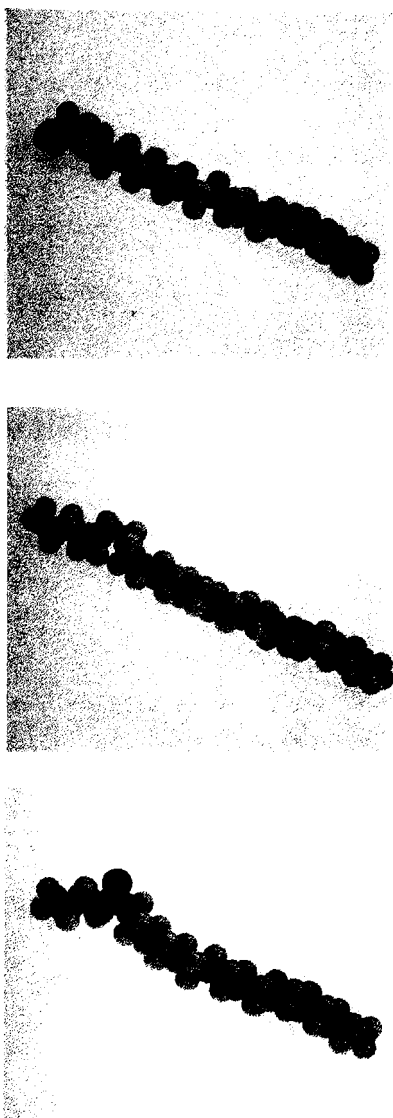


Fig. 2.29. Structura diaminelor, triaminelor și amidoaminelor.

În bitumul fierbinte, [16; 35] rezultatul reacției dintre aminele grase și bitum constă în formarea unor săruri, care sunt încă active cu aditivi. O stocare prelungită a aditivilor în bitumul fierbinte duce însă la formarea unor componenți inerți, care nu mai au proprietăți de adezivitate. La 120 °C aproximativ 50 % din aminele adăugate în bitum sunt inactivate în 24 ore, iar la 180 °C aminele adăugate își pierd total proprietățile în câteva ore.

În timpul producerii mixturilor asfaltice, temperatura bitumului variază între 140...180 °C, în funcție de tipul bitumului. Întrucât aditivii se adaugă în tancul de bitum, bitumul aditivat trebuie folosit cât mai repede posibil.

Literatura de specialitate [35] arată că în prezent se fac cercetări asupra unor amine grase care să-și poată menține proprietățile de aditivare la temperaturi ridicate, chiar și în cazul unei stocări mai prelungite de câteva săptămâni.

Aditivii folosiți în prezent în România [16; 35; 137] sunt următorii:

- produse CECA sau FINA, utilizator fiind S.C. SOROCAM S.A. București;
- ITERLENE, produs italian folosit la lucrări de reabilitări;
- ADIROL, produs realizat de I.C.E.R.P. Ploiești, utilizat cu caracter experimental;
- ADETEN-01, produs fabricat de S.C. POLLCHIMIC S.A. Giurgiu, folosit tot cu caracter experimental.

Dintre aditivii de mai sus autorul s-a ocupat mai ales de ITERLENE IN/400-E, produs italian care are compoziția chimică de alchilamidopoliamină, obținută prin policondensarea acizilor grași cu poliamine. Se prezintă ca un lichid vâscos cu densitatea la 15 °C de 1,010...1,030 g/cm³, avînd o culoare brun - închisă. Ca dozaj se recomandă 0,3...0,8 % din masa bitumului.

Eficiența aditivului ITERLENE a fost studiată în laborator, determinînd adezivitatea cu ajutorul spectrofotometrului. S-a lucrat cu bitum D 80/120 de la Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău și cu agregat natural concasat de la cariera ȘOIMOȘ, criblura provenind dintr-o rocă bazaltică, de natură bazică. Rezultatele pot fi urmărite în tabelul 2.13.

Adezivitatea prin metoda spectrofotometrică

Tabelul 2.13

Tipul bitumului	Aditiv, în %	Adezivitate, în %
D 80/120	fără aditiv	71,0
D 80/120	+0,35 ITERLENE	72,5
D 80/120	+0,60 ITERLENE	73,0
D 80/120	+0,80 ITERLENE	77,5
D 80/120	+1,00 ITERLENE	82,0
D 80/120	+1,20 ITERLENE	81,0

Din datele obținute se impune concluzia că procentul de 1,0 % ITERLENE asigură o adezivitate corespunzătoare [35].

Se precizează că s-a lucrat cu acest aditiv la reabilitările executate pe DN 7, precum și pe DN 2.

2.9.2. Tehnologia de obținere a bitumului aditivat.

În practică, tehnologia este relativ simplă, aditivii fiind compatibili cu bitumul.

Se obține bitum aditivat prin două metode:

- introducerea cantității necesare de aditiv în tancul de bitum, metodă care impune respectarea următoarelor condiții:

- bitumul se încălzește la aproximativ 150 °C;
- se dozează necesarul de aditiv în funcție de cantitatea de bitum;
- se introduce aditivul în bitum;
- se recirculă bitumul cu aditivul timp de 15...30 minute, pentru a obține o distribuție omogenă a aditivului în bitum;

- a doua metodă constă în injectarea aditivului în bitum cu ajutorul unei pompe. Cantitatea de aditiv necesară depinde de tipul bitumului, precum și de cel al agregatelor naturale. După cum s-a văzut din tabelul 2.13, la noi în România se lucrează cu un dozaj de 1 % aditiv în bitum.

NOTĂ. Procentul de 1 % aditiv nu modifică practic caracteristicile bitumului, cu excepția adezivității.

2.10. Bitumul modificat cu polimeri.

Datorită creșterii traficului și mai ales a celui greu care contribuie la degradarea îmbrăcăminților rutiere bituminoase, s-au impus în ultimii ani o

serie de cercetări și încercări pentru introducerea în tehnica rutieră a bitumului modificat pe bază de polimeri, pentru a mări rezistența la deformații mai ales a straturilor de uzură, realizate din mixturi asfaltice [35; 90; 137].

Bitumul modificat pe bază de polimeri trebuie să răspundă în principal următoarelor exigențe:

- să prezinte o coeziune mărită și o susceptibilitate termică foarte mică la temperaturi uzuale, dar să aibă o vîscozitate mică la temperatura de punere în operă;

- rezistență mare la deformații permanente la rupere și la oboseală;
- rezistență mare la îmbătrînire în timpul exploatării;
- adezivitate cît mai bună.

Bitumurile cu adaosuri de polimeri au apărut ca urmare a necesității de îmbunătățire a performanțelor acestora [12; 15; 29; 35; 45; 60]. Adaosul de polimeri la bitum contribuie la influențarea proprietăților sale reologice, îmbunătățind considerabil elasticitatea, stabilitatea chimică și adezivitatea [35; 61; 62]. Adaosul de polimeri mărește intervalul de plasticitate prin creșterea punctului de înmuiere IB (inel și bilă) și prin scăderea punctului de rupere Fraass.

Pentru a obține un bitum modificat cu polimeri cu proprietăți optime pentru lucrările de drumuri, este necesar să se folosească un polimer cu un

grad ridicat de polimerizare, moleculele cu catenă lungă fiind cele mai bune în acest scop și totodată compatibile cu bitumul [35; 90; 92; 93; 104; 131].

Prin adăugarea unor polimeri corespunzători se obține îmbunătățirea comportamentului reologic, a elasticității, a rezistențelor mecanice și chimice, precum și a adezivității bitumului. Pentru a putea modifica eficient domeniul de plasticitate al unui bitum, respectiv intervalul dintre punctul de înmuiere IB și punctul de rupere Fraass este necesar ca polimerul să fie compatibil cu bitumul. În general, se folosesc adaosuri în cantități mici de polimer, întrucât acesta este foarte scump și în consecință va conduce la scumpirea bitumului cu polimer.

Efectul polimerului depinde de tipul de polimer utilizat și de repartiția lui în bitum. Pentru a obține un bitum modificat pe bază de polimeri cu proprietăți superioare, polimerul adăugat trebuie să aibă un grad ridicat de polimerizare, adică, moleculele lui să aibă catene lungi, care să se repartizeze cât mai uniform în bitum [12; 29; 131].

Polimerii studiați de literatura de specialitate [29; 106] pentru modificarea biturilor sunt destul de numeroși dintre care cei mai folosiți sunt elastomerii și plastomerii.

În categoria elastomerilor intră latexul natural și polimerii stirenici de tipul:

- SBS – stiren-butadien-stiren;

- SIS – stiren-izopren-stiren.

Plastomerii sunt produse de tipul copolimerilor etilenici ca:

- EVA – etilen-vinil-acetat;
- EMA – etilen-metil-acrilat.

Toate tipurile de polimeri, încorporați în bitum formează o rețea continuă, formată din ramificații flexibile legate între ele prin legături termoreversibile.

Factorii care influențează realizarea unui bitum modificat cu polimeri sunt următorii:

- polimerul, fie elastomer sau plastomer, trebuie să aibă un grad ridicat de polimerizare, respectiv moleculele lui să se caracterizeze prin catene lungi care să se repartizeze cât mai uniform în bitum;

- doza în polimer să fie cât mai mic, în general sub 7 % datorită costului ridicat al polimerului, care conduce astfel la un preț ridicat al bitumului modificat cu polimeri;

- polimerul trebuie să fie compatibil cu bitumul, întrucât bitumul reprezintă faza continuă a sistemului în care este dispersată faza polimer și în acest caz se constată o modificare a bitumului prin micșorarea conținutului de uleiuri care au fost adsorbite de polimer și creșterea conținutului de asfaltene, fapt ce contribuie la mărirea domeniului de plasticitate al bitumului cu polimer. La microscop se poate urmări mai clar acest aspect, figura 2.30.

În cazul producerii bitumului modificat cu polimer, datorită adaosului de polimer, acesta trebuie amestecat de mai multe ori, din cauza creșterii vîscozității la temperaturi de peste 150 °C, cît și pentru a obține o repartiție egală și uniformă a polimerului în masa bitumului. De asemenea, în cazul producerii, transportării și depozitării la temperaturi ridicate poate apărea o rupere a catenelor, în urma căreia au de suferit proprietățile bitumului modificat.

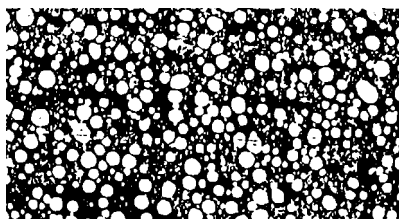


Fig. 2.30. Matrice de bitumul modificat cu polimeri.

În legătura cu compatibilitatea bitum – polimer cele mai bune rezultate s-au obținut cu polimeri tip elastomeri ca latex natural, stiren-butadien-stiren (SBS) și stiren-izopren-stiren (SIS).

Foarte important de semnalat este faptul că, în cazul fabricării emulsiei bituminoase modificate pe bază de polimeri, acest inconvenient nu mai apare, datorită faptului că se lucrează la temperaturi mult mai scăzute. În acest caz, polimerii folosiți ajung să acționeze prin intermediul polimerizării emulsiei cu latex și sunt adăugați fie în faza apoasă (la fabricarea emulsiei bituminoase), fie în emulsia gata preparată. În consecință, în cazul fabricării emulsiei bituminoase, polimerul nu este supus unei temperaturi mai mari de 100 °C,

repartizarea lui în emulsie are loc în mod egal și fără probleme, evitându-se deficiențele semnalate la polimerizarea bitumului [29].

În cazul folosirii latexului natural pentru modificarea bitumului din emulsie în tabelul 2.14. se prezintă procesul tehnologic, proprietățile specifice și domeniul de utilizare comparativ cu polimerul stiren-butadien-stiren (SBS).

Procesul de modificare al bitumului prin adaos de polimer în bitum, constituie un ansamblu de procese complexe care pot fi schematizate după cum urmează:

- dispersarea polimerului în bitum;
- dizolvarea parțială sau totală a polimerului;
- umflarea polimerului care absoarbe o fracțiune a bitumului de bază;
- reacția chimică a polimerului cu liantul de bază în prezența unui catalizator.

Evident, întregul proces tehnologic se realizează la cald, în instalații speciale, prin amestecare continuă în cazul modificării bitumului la cald.

Dacă modificarea bitumului se face în emulsia bituminoasă, procesul tehnologic este mult mai simplificat și bitumul astfel obținut prezintă toate proprietățile bitumului modificat.

În concluzie, emulsia bituminoasă modificată pe bază de polimeri prezintă proprietăți mai bune decât ale bitumului inițial și anume:

- se mărește intervalul de plasticitate al bitumului;

Tipul polimerului	Proces tehnologic de preparare a bitumului modificat	Proprietăți specifice comparativ cu bitumul nemodificat	Domeniul de utilizare
Latex natural	<ul style="list-style-type: none"> - preparare în faza apoasă; - încorporarea în emulsia cu bitum: • înainte sau după introducerea componentilor în moara coloidală; • ulterior prin amestecarea cu emulsia realizată. 	<ul style="list-style-type: none"> - după ruperea emulsiei, bitumul rezidual prezintă proprietăți similare cu a bitumului modificat, astfel: • susceptibilitate termică scăzută; • coeziune mărită; • alungire superioară la rupere, în domeniul temperaturilor scăzute. 	<ul style="list-style-type: none"> - tratamente bituminoase pe drumuri cu trafic intens; - pelicule de acroșare pentru betoane asfaltice subțiri și foarte subțiri; - mixturi asfaltice la rece pentru straturi subțiri 0,5...1,5 cm.
Stiren-butadien-stiren (SBS)	<ul style="list-style-type: none"> - preparare în instalații fixe, cu echipamente speciale care asigură o dispersie foarte energetică în bitum a polimerului, la cald; - conținut în polimer 3...7 % în funcție de domeniul de utilizare; - proces termic foarte bine controlat. 	<ul style="list-style-type: none"> - susceptibilitate termică scăzută; - interval de plasticitate mare, la cald crește IB și scade punctul de rupere Fraass; - modul de rigiditate mai mare la temperaturi ridicate; - comportare mai bună la oboseală; - comportare elastică mai bună (revenire elastică importantă după deformare). 	<ul style="list-style-type: none"> - tratamente bituminoase la cald sau cu emulsie; - straturi subțiri sau foarte subțiri; - îmbrăcămini bituminoase pentru calea podurilor; - îmbrăcămini drenante.

- se îmbunătățesc proprietățile reologice, rezistența la șoc și elasticitatea;
- crește adezivitatea față de agregate;
- se mărește fluiditatea la temperaturi înalte și ductilitatea la temperaturi scăzute;

- scade punctul de rupere Fraass (de exemplu de la $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ la $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Evident crește și prețul de cost al emulsiei cu bitum modificat, dar există avantajul ca aceste emulsii cu polimeri să se poată folosi cu rezultate foarte bune pentru anumite lucrări, care necesită performanțe deosebite.

Din punct de vedere al terminologiei se notează astfel:

- EBMCR - E = emulsie, BM = bitum modificat, C = cationică, R = rupere rapidă
- EBMCL - E = emulsie, BM = bitum modificat, C = cationică, L = rupere lentă

Punctul de înmuiere IB și penetrația exprimată în $1/10\text{ mm}$ la 25°C variază în funcție de conținutul de polimer adăugat, după cum se poate urmări din figura 2.31. și figura 2.32.

În ceea ce privește ductilitatea bitumului se constată că la temperaturi scăzute, adaosul de polimeri îmbunătățește ductilitatea după cum se poate urmări din figura 2.33.

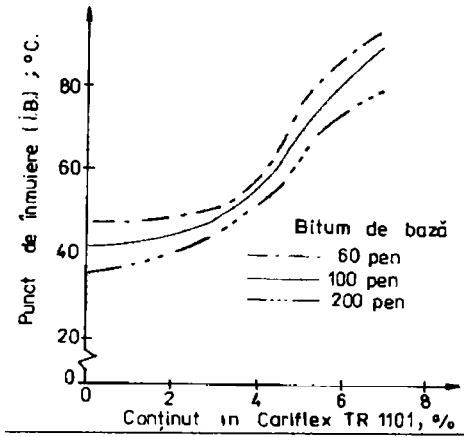


Fig. 2.31. Variația IB în funcție de conținutul de Cariflex TR 1101.

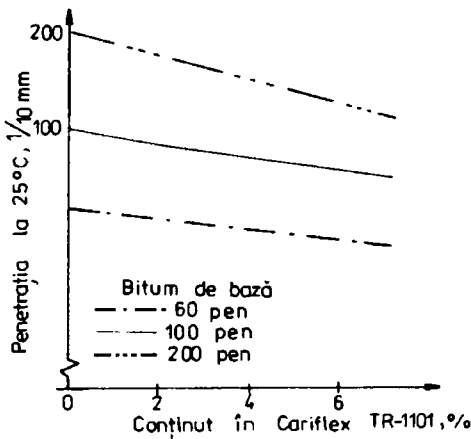


Fig. 2.32. Variația penetrației funcție de conținutul de Cariflex TR 1101.

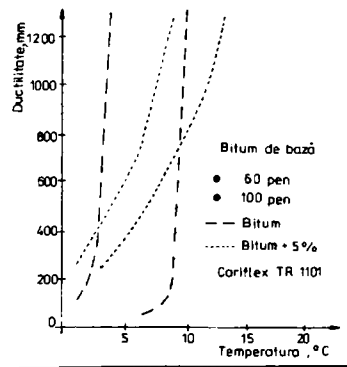


Fig. 2.33. Influența conținutului de copolimer asupra ductității.

Un copolimer liniar de tip SBS este polimerul Cariflex TR, fabricat în Olanda, Franța și Germania, care se comercializează sub următoarele forme:

- pudră, cu denumirea Cariflex TR 1101M;
- granule poroase, cu denumirea Cariflex TR 1101S;
- granule poroase fără agent anticoagulant, cu denumirea Cariflex TR 1101F.

Polimerul Cariflex îmbunătățește calitatea bitumului modificat față de cel nemodificat prin:

- creșterea elasticității;
- reducerea susceptibilității la fisurare la temperaturi negative;
- creșterea rezistenței la deformații la temperaturi ridicate;
- mărirea rezistenței la oboseală;
- creșterea adezivității bitumului la agregatele naturale.

Referitor la compatibilitatea [35] biturilor românești cu modificatorul Cariflex TR, în urma cercetărilor de laborator s-au formulat următoarele concluzii:

- pentru fabricarea biturilor modificate cu acest polimer pot fi folosite 2 tipuri de bitum și anume bitum de la PETROLSUB Suplacu de Bărcău și de la ASTRA ROMÂNĂ Ploiești, dar datorită conținutului ridicat de asfaltene, stabilitatea la depozitare este redusă, fapt ce impune depozitarea în tancuri cu

sisteme de recirculare permanentă, de preferință cu agitatoare, pentru a evita fenomenul de segregare;

- conținutul în polimeri poate varia între 3...6 %, în funcție de domeniul de utilizare, procentul optim urmînd să fie stabilit pe baza studiilor de laborator.

La reabilitarea DN 69, Timișoara – Arad și a DN 59, Timișoara – Moravița, la executarea stratului de uzură s-a folosit pentru bitum un modificator de tipul SBS. Stabilirea procentului optim de polimer, precum și caracteristicile bitumului modificat au fost determinate în Italia în laboratorul “Studio Sperimentale Stradale” și sunt precizate în tabelul 2.15.

2.10.1. Spectroscopia în infraroșu pentru studierea bitumului modificat cu polimeri.

La noi în țară în ultimii ani s-au întreprins studii sistematice privind îmbunătățirea calității biturilor prin adaos de polimeri [60; 61; 90; 137]. Se știe că din punct de vedere al aspectului nu se poate deosebi un bitum normal de un bitum modificat cu polimeri și în consecință au fost necesare metode noi de analiză a structurii bitumului astfel modificat.

Așa cum am prezentat și în paragraful 2.4.2, una dintre metodele utilizate la analiza structurii bitumului este spectroscopia în infraroșu, întrucît cea mai mare parte a compușilor chimici au proprietatea de a absorbi radiațiile infraroșii.

Caracteristicile bitumului modificat cu SBS

Tabelul 2.15

Caracteristica studiata	Bitum pur	Bitum cu 4 % în SBS	Bitum cu 5 % în SBS
Densitatea la 15 °C, g/cm ³	1,006	1,000	1,000
Penetrația la 25 °C, 1/10 mm	99	64	59
Punct de înmuiere, °C	44,2	57,4	77,6
Indice de penetrație	-1,1	+1,1	+4,4
Ductilitatea la 25 °C, cm	>100	>100	>100
Ductilitatea la 13 °C, cm	-	72	85
Punct de rupere, °C	-19	-20	-21
Punct de inflamabilitate, °C	250	-	-
Solubilitate în CS ₂ , %	99,8	-	-
Conținutul de parafină, %	0,61	-	-
Stabilitate la încălzire:			
- pierdere de masă, %	0,07	-	-
- penetrație reziduală, %	72,7	-	-
Adezivitate - arie acoperită cu bitum (agregate Șoimș)	≈ 95	≈ 95	≈ 95
Revenire elastică, %	-	84	-3
Omogenitatea, %	-	≈ 80	≈ 80
Stabilitate la încălzire - TFOT:			
- pierdere de masă, %	-	0,17	0,16
- penetrație reziduală, %	-	81	90
- creșterea punctului de înmuiere, °C	-	+1,6	-14
- ductilitatea la 13°C, cm	-	52	56
- revenirea elastică, %	-	81	86
Stabilitate la stocaj:			
- punct de înmuiere determinat pe bitumul de la partea superioară a recipientului, °C	-	90,5	105,0
- punct de înmuiere determinat pe bitumul de la partea inferioară a recipientului, °C	-	53,4	54,6

Spectrul afectat pentru infraroșu [61; 91] este cuprins între 12800 și 10 cm^{-1} , ceea ce corespunde unei lungimi de undă de 0,78 la 1000 mm^{-1} .

Analiza spectroscopică în infraroșu (IR) se efectuează cu ajutorul spectrofotometrelor de absorbție.

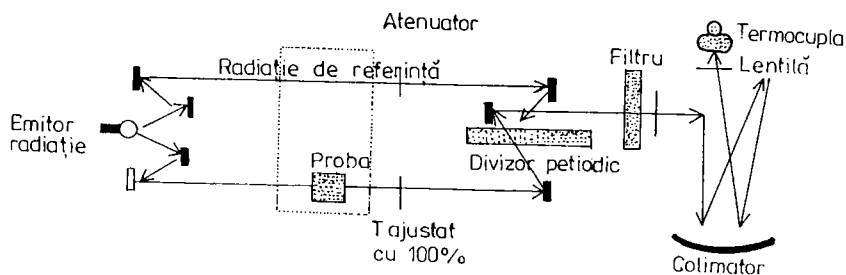


Fig. 2.34. Spectrofotometrul de absorbție.

Aparatul are un principiu de funcționare simplu, fiind prezentat schematic în figura 2.34 și se compune din: sursă de radiație care este un filament de nichel-crom încălzit, care constituie sursa de lumină ce se divide în două fascicule identice, ce trec prin compartimentul în care se găsește proba. Ambele fascicule dispun de atenuatori, unul pentru a ajusta pe T (transmitanța) la 100 % și celălalt pentru a reduce fasciculul de referință la zero, pentru a măsura T . Ambele se recombina după ce se dispersează prin acțiunea unui dispozitiv monocromatic, iar radiația formată este detectată de un termocuplu, ce o transformă în impulsuri electrice, care sunt amplificate și transmise la un inscripator, care va desena o diagramă spectrală.

Spectrele IR înregistrate pentru o substanță dată, prezintă serii de benzi de absorbție caracteristice atomilor și grupelor de atomi care o compun, la lungimi de undă definite și înregistrate.

Spectrul IR [90] constituie amprenta digitală a substanței permițând identificarea ei. Într-un amestec de compuși aceasta face posibilă recunoașterea uneia dintre substanțele existente, dacă aceasta are benzi de absorbție singulare și caracteristice la lungimi de undă bine definite.

Referitor la bitumurile modificate cu polimeri prin analiza în infraroșu apar următoarele aspecte:

- condițiile de preparare a probelor;
- selectarea metodei de lucru astfel încât să nu se suprapună spectrele bitumului și a polimerilor;
- utilizarea unor solvenți adecvați, care să aibă benzi cât mai puține și de intensitate mică și care să prezinte posibilități minime de interacțiune cu polimerul.

În țara noastră cele mai bune rezultate s-au obținut prin modificarea bitumului cu elastomeri de tipul stiren-butadien-stiren (SBS).

Pregătirea probelor [90]. Se iau cantități precise de liant modificat și solvent, respectiv 1 g și 10 % solvent, după care se dizolvă liantul într-un recipient închis pentru a se menține concentrația impusă. Proba din recipient se introduce în dispozitivul aparatului între fețele a două cristale de clorură de

sodiu (NaCl) la o anumită distanță respectiv 0,432. Ca solvenți se folosesc în mod uzual cloroformul CHCl_3 și tetraclorura de carbon CCl_4 .

Analiza calitativă permite identificarea calitativă a tipului de polimer prin spectroscopia de absorbție în infraroșu (IR) care pune în evidență anumite molecule din polimerul folosit la modificarea bitumului. Fiecare tip molecular are spectrul său caracteristic de absorbție în conformitate cu structura sa. În acest scop se înregistrează spectrul probei de analizat și apoi se înregistrează pe rând spectrele substanțelor bănuite a fi în sistem. Benzile de absorbție urmărite trebuie să fie cele caracteristice pentru fiecare substanță în parte.

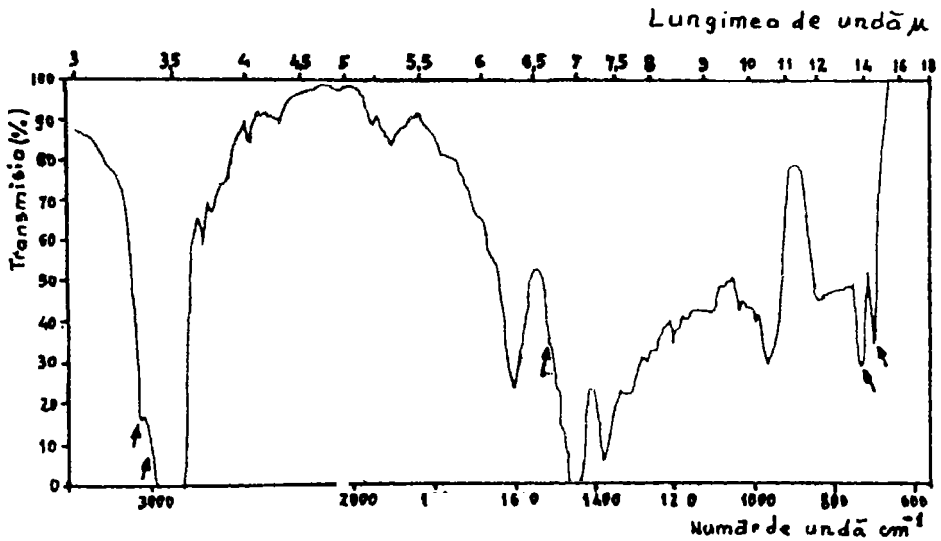


Fig. 2.35. Spectrul în infraroșu (IR) al bitumului modificat cu polimer SBS

În figura 2.35 se poate urmări prezența polimerului SBS în bitum, determinată calitativ prin prezența unui anumit număr de benzi de absorbție în spectrul infraroșu la numerele de undă 3070 cm^{-1} , 3010 cm^{-1} , 1500 cm^{-1} , 740 cm^{-1} , 710 cm^{-1} .

Analiza cantitativă a lianților modificați [61; 90] prin spectroscopia de absorbție în infraroșu prezintă următoarele avantaje:

- folosește cantități mici de substanțe;
- nu este distructivă, substanța analizată poate fi refolosită după analiză;
- analiza poate fi repetată ori de câte ori este necesar pe aceeași cantitate de substanță;
- este o metodă de analiză foarte rapidă comparativ cu analizele chimice.

Analiza cantitativă în acest caz se bazează pe faptul că intensitatea unei benzi de absorbție se află în legătură cu concentrația substanței ce absoarbe radiația incidentă, conform legii lui Beer, care are următoarea expresie:

$$\lg i_0/i = e/l/c \quad (2.24)$$

în care: i_0 este intensitatea radiației incidente;

i - intensitatea radiației transmisă prin probă;

e - coeficient de extincție optică;

l - drumul optic;

c - concentrația grupurilor funcționale, responsabile cu absorbția.

Se poate afirma că extincția pentru un strat subțire absorbant de polimer și la o temperatură dată, este proporțională cu concentrația produsului pentru soluții diluate, deci a căror benzi de absorbție dau o transmisie cuprinsă între 20 și 80 %. Măsură densității optice a unei benzi de absorbție a unui compus în interiorul altui produs, permite măsurarea concentrației în care este dozat compusul respectiv. Evident este necesar să se lucreze cu curbe de etalonare, pentru diferite concentrații de polimer între 3...10 %.

Se înregistrează spectrul probei pregătite cu ajutorul spectrofotometrului, se compară curba obținută și se calculează concentrația de polimer cu relația:

$$c = 100D_1 / ec_1, \quad [\%] \quad (2.25)$$

în care: c este concentrația de polimer în liant, în %;

D_1 - absorbția (extincția) soluției în liant;

e - coeficientul de extincție optică a polimerului cu lungimea de undă considerată;

c_1 - concentrația soluției de liant exprimată în g/l.

În concluzie, cercetările efectuate la noi în țară de către INCERTRANS București, Institutul de Cercetări Ploiești și Universitatea Tehnică de Construcții București, arată că spectroscopia în infraroșu este o metodă rapidă și sigură de investigare a lianților modificați cu polimeri, indiferent de tipul de bitum și de tipurile de polimeri. Se apreciază că metoda poate intra în practica obișnuită a laboratoarelor de încercări pe măsura dotării acestora cu spectrofotometre IR.

CAP. 3. STUDIUL MIXTURILOR ASFALTICE REALIZATE CU BITUM D 80/120 DE LA RAFINĂRIA PETROLSUB SUPLACU DE BARCĂU

Modul de comportare al îmbrăcăminților bituminoase în condițiile de exploatare curentă a drumurilor datorită creșterii continue a traficului și mai ales a traficului greu, depinde în cea mai mare măsură de calitatea lianților bituminoși și a agregatelor care intră în componența mixturilor asfaltice. Stabilitatea și durabilitatea în timp a straturilor bituminoase depind de capacitatea lor de rezistență la acțiunea cumulată a factorilor climaterici și a traficului.

Din aceste considerente [17; 77; 99], proprietățile mecanice pe care trebuie să le ateste un strat rutier bituminos și proprietățile mixturii asfaltice din care el este alcătuit ar trebui să răspundă dezideratelor din schema prezentată în fig. 3.1.

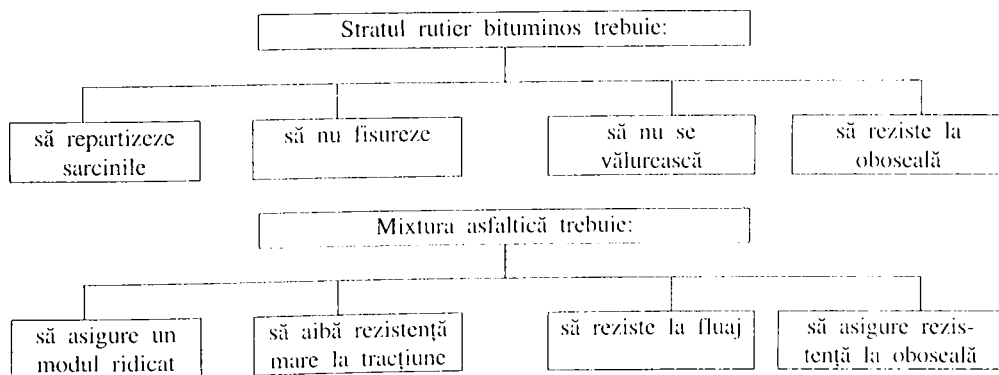


Fig. 3.1. Cerințe de calitate pentru stratul bituminos și pentru mixtura asfaltică

Comportarea în exploatare a drumurilor în îmbrăcămiși bituminoase [77; 99] a arătat că în condițiile de trafic greu și intens s-au intensificat fenomenele de degradare a acestora sub influența factorilor climaterici și mai ales a temperaturilor extreme care pot favoriza fie apariția fenomenelor de deformare plastică (văluriri, făgașe), fie rigidizări excesive care duc la fisurare și deteriorare totală prin oboseală. În acest context acțiunea traficului și mai ales a celui greu, cumulată cu acțiunea factorilor climaterici accelerează degradarea îmbrăcămișilor bituminoase prin fenomene de oboseală.

3.1. Tendințe actuale de cercetare a mixturilor asfaltice

În prezent cercetarea urmărește să răspundă unei multitudini de probleme create de traficul actual și mai ales de cel greu, căutând să pună în evidență fenomenele reale ce se produc în straturile bituminoase și să obțină corelații cât mai precise între stările de eforturi și de deformații.

Cercetările s-au extins asupra determinării modulului de rigiditate al mixturilor asfaltice și concomitent asupra studierii fenomenului de oboseală atât în laborator cât și pe piste de încercare; în acest sens există deja în lume diferite tipuri de aparatură sofisticată care permite măsurarea modulilor și a numărului de cicluri la oboseală la efort constant sau la deformație constantă.

În domeniul temperaturilor ridicate se folosesc simulatoare de făgașe (făgașoscoape).

Referitor la comportarea sub acțiunea apei, înainte de proiectarea mixturilor asfaltice se fac studii complexe privind adezivitatea biturilor la agregate naturale și se studiază aditivarea bitumului.

Un alt domeniu de cercetare se referă la folosirea bitumului modificat cu polimeri care conferă proprietăți speciale liantului.

În sfera acestor preocupări teza de doctorat și-a propus să studieze:

- mixturi asfaltice realizate cu bitum pur;
- mixturi asfaltice realizate cu bitum aditivat.

3.2. Mixturi asfaltice realizate cu bitum pur (fără adaosuri)

Cercetările și studiile întreprinse în laboratorul D.R.D.P. Timișoara au vizat în special cele două tipuri de mixturi asfaltice frecvent folosite la realizarea îmbrăcăminților bituminoase și anume beton asfaltic bogat în criblură (B.A.16) și betonul asfaltic deschis pentru stratul de legătură (B.A.D.25).

În acest scop am efectuat o serie mare de încercări de laborator pentru a stabili dozajul optim de liant, astfel încât acesta să se situeze la limita inferioară, cu condiția realizării și a celorlalte caracteristici fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice, respectiv absorbția de apă și deci impermeabilitatea la acțiunea apei.

În încercările de laborator am lucrat cu agregatele naturale de la cariera Brănișca (rocă bazalt) cu nisip natural, fier de cretă măcinată de

Murfatlar și bitum D 80/100 de la Rafinăria Crișana, în prezent PETROLSUB Surplacu de Barcău.

Caracteristicile bitumului folosit sunt prezentate în tabelul 3.1.

Caracteristicile bitumului D80/100

Tabelul 31

Caracteristica	UM	Valori	
		inițiale	după 6 luni
Penetrația la 25 °C	1/10 mm	84	82
Punct de înmuiere, IB	°C	45	45,8
Ductilitate la 25 °C	cm	peste 100	peste 100
Punct de rupere Fraass	°C	- 23	- 23,5
După încălzire 5 h la 163 °C:			
• pierderea de masă;	%	0,5	0,6
• reducerea penetrației inițiale.	%	25,0	26,0
Adezivitatea pe criblură de Brănișca, metoda dinamică la rece	%	85,0	-
Indice de penetrație	IP	- 1,9	-

Din analiza caracteristicilor bitumului rezultă că acesta este corespunzător din toate punctele de vedere, adezivitatea pe criblură de Brănișca (bazalt) fiind de asemenea bună (85 %)

3.2.1. Realizarea betonului asfaltic B.A.16

Agregatele naturale folosite au avut granulozitatea prezentată în tabelul 3.2.

Pentru obținerea unor formulări cât mai adecvate scopului enunțat anterior, am elaborat o serie de dozaje, cu un conținut variabil de bitum, s-au preparat mixturile asfaltice respective, care au fost supuse apoi încercărilor, în vederea determinării parametrilor fizico-mecanici mai importanți.

Agregate naturale	Procente rămase pe ciur, sita de ... mm						
	16	8	3	0,6	0,2	0,08	trece prin 0,08
Criblura 16...25 mm	88,5	11,0	0,5	-	-	-	-
Criblura 8...16 mm	-	79,5	20,0	0,5	-	-	-
Criblura 3...8 mm	-	2,2	78,2	18,5	0,3	0,2	0,6
Nisip de concasaj	-	-	8,4	59,0	15,2	8,2	9,2
Nisip natural	-	-	-	19,4	60,8	19,4	0,4
Filer (cretă) Murfatlar	-	-	-	2,0	6,0	7,0	85,0

Betoanele asfaltice pentru stratul de uzură au fost realizate cu un conținut de bitum de 5,5 %; 5,8 %; 6,0 %; și 6,2 % iar ca etalon, pentru comparație, s-a folosit o probă cu aceeași compoziție B.A.16 dar cu 7,0 % bitum.

Dozajele studiate și caracteristicile fizico-mecanice obținute sunt prezentate în tabelul 3.3.

Din examinarea datelor din tabelul 3.3 se constată că performanțele betoanelor asfaltice cu un conținut de bitum între 5,5 și 6,0 % sunt foarte bune, evident însă că absorbția de apă prezintă valori mai mari decât cele admise în actualul standard (care a intrat în vigoare în 1997). Totuși, întrucât o absorție de apă de 7,0 % (în volume) este admisă în cazul betoanelor asfaltice rugoase, am considerat că valorile obținute pot fi admise și la experimentare pe drum, urmînd ca pe baza observațiilor ce se vor face de-a lungul anilor să se poată trage concluzii practice.

Dozaje, în %		B.A.16				
Bitum D 80/100		5,5	5,8	6,0	6,2	7,0
Criblura 8...16 mm		22,0	22,0	20,5	28,0	20,0
Criblura 3...8 mm		34,0	30,0	30,0	23,0	30,0
Nisip (natural + concasaj)		37,0	40,0	41,0	40,0	38,0
Filer Murfatlar		7,0	8,0	8,5	9,0	12,0
Raport filer / bitum		1,27	1,40	1,41	1,45	1,70
Caracteristici fizico - mecanice	U.M.					
Densitate aparentă (pe cub)	kg/m ³	2250	2250	2280	2300	2320
Absorția de apă (pe cub)	% vol	7,4	6,8	6,4	5,9	4,2
Rezistența la compresiune:						
• la 22 °C	N/mm ²	3,0	3,1	3,4	4,0	3,5
• la 50 °C	N/mm ²	0,9	0,9	1,0	1,3	1,1
Coeficient de termostabilitate	-	3,3	3,3	3,4	3,1	3,2
Stabilitate Marshall, la 60 °C	kN	6,7	7,0	7,6	9,0	8,0
Indice de curgere (fluaj)	mm	2,9	2,7	2,8	3,0	3,0
Raport stabilitate (fluaj)	-	2,3	2,6	2,7	3,0	2,7

Din cercetările realizate se constată că, proporțional cu reducerea procentului de bitum este necesar să se reducă și partea fină a agregatului total, cu condiția menținerii raportului filer/bitum peste 1, condiție realizată la toate tipurile de betoane asfaltice utilizate în stratul de uzură.

Consultând literatura de specialitate străină, se constată că în Franța, Italia și SUA se lucrează cu procente mai mici de bitum decât cele din standardul nostru.

În tabelul 3.4 se poate urmări mai clar această comparație.

Caracteristicile comparative ale betoanelor asfaltice pentru stratul de uzură, realizate în diverse țări Tabelul 3.4

CARACTERISTICI	SR 174		România		Franța	SUA	SUA	Italia
	6.3...7.3	Experimental	DR.D.P.	Timișoara				
Bitum. în %, raportat la mixtură	6.3...7.3	5.5...6.2			5.6...6.3	4.5...6.0	5.6...7.0	5.4...5.7
Curba granulometrică, în % trecere prin:								
sita de 0.09 mm	8...12	5...8			5...7	3...7	4...8	5...7
sita de 0.2 mm	11...25	8...10			-	-	-	-
sita de 0.63 mm	18...35	10...15			7...17	4...12	7...18	6...14
ciur de 3.15 mm	30...55	20...35			17...28	15...27	-	18...30
ciur de 8 mm	55...78	40...55			35...55	22...37	40...60	35...50
ciur de 16 mm	90...100	80...100			80...93	60...70	100	100
ciur de 20 mm					90...100	63...80		
ciur de 25mm						85...100		
Densitate aparentă, g/cm ³	2.30	2.25...2.30			2.20...2.27	-	-	2.20...2.30
Stabilitate Marshall la 60 °C, kN	5.50...8.00	6.70...9.00			2.30	3.00	3.00	6.00
Indice de curgere (fluaj), mm	1.5...4.5	2.7...3.0			2...5	2...5	2...5	2...5

3.2.2. Betoane asfaltice deschise pentru stratul de legătură (B.A.D.25)

Pentru stratul de legătură s-au studiat mai multe variante pornind de la un conținut de bitum de 3,6 %, 3,8 %, 3,9 % comparativ cu o probă considerată etalon cu un conținut de 4,5 % bitum. Dozajele și caracteristicile acestui tip de mixtură asfaltică sunt prezentate în tabelul 3.5.

Dozaje și caracteristici

Tabel 3.5

Dozaje	UM	B.A.D.25			
		3,6	3,8	3,9	4,5
Bitum D 80/100	%	3,6	3,8	3,9	4,5
Criblura 3...25 mm	%	67,0	65,0	65,0	68,0
Nisip (natural + concasaj)	%	32,0	34,0	34,0	31,0
Filer Murfatlar	%	1,0	1,0	1,0	1,0
Caracteristici fizico - mecanice					
Densitate aparentă	kg/m ³	2200	2250	2280	2310
Absorția de apă	% vol	9,0	8,5	8,2	7,0
Stabilitate Marshall, la 60 °C	kN	4,0	4,2	4,0	4,3
Indice de curgere (fluaj)	mm	3,0	3,2	3,0	3,1

După efectuarea cercetărilor în laborator s-a trecut la experimentarea pe teren.

3.2.3. Sectoare experimentale

S-au executat mai multe sectoare experimentale pe următoarele drumuri naționale:

- DN 7 Deva – Arad km 416 + 230 – 417 + 880;
- DN 69 Timișoara – Arad km 3 + 400 – 3 + 800;
- DN 66 Petroșani – Hațeg km 167 + 000 – 168 + 000.

Caracteristicile fizico-mecanice obținute pe carotele prelevate de pe sectoarele experimentale pentru B.A.16 sunt prezentate în tabelul 3.6.

Caracteristici	UM	B.A.16				
		1	2	3	4	5
Bitum D 80/100	%	5,8	6,0	6,2	5,7	6,0
Criblura 8...16 mm	%	22,0	20,5	28,0	39,0	37,0
Criblura 3...8 mm	%	30,0	30,0	23,0	23,0	25,0
Nisip (natural + concasaj)	%	40,0	41,0	40,0	30,0	30,0
Filer (Murfatlar)	%	8,0	8,5	9,0	8,0	8,0
Raport filer / bitum	-	1,40	1,41	1,45	1,40	1,33
Densitate aparentă (pe carotă)	kg/m ³	2340	2350	2370	2300	2350
Absorția de apă (pe carotă)	% vol	4,3	4,0	4,0	3,0	3,0
Rezistența la compresiune:						
• la 22 ^o C	N/mm ²	3,3	3,4	3,1	3,6	3,6
• la 50 ^o C	N/mm ²	0,9	0,9	1,0	1,2	1,1
Umflarea după 28 zile păstrare în apă	%	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6
Reducerea rezistenței la compresiune după 28 zile păstrare în apă	%	6,0	6,5	6,5	6,0	6,0
Coeficient de termostabilitate	-	3,3	3,4	3,2	3,0	3,1
Stabilitate Marshall, la 60 °C	kN	8,5	9,0	11,0	10,0	10,0
Indice de curgere (fluaj)	mm	3,3	3,4	3,2	3,0	3,1

Din rezultatele prezentate în tabelul 3.6 se constată că stratul de uzură realizat dintr-o mixtură tip beton asfaltic bogat în criblură B.A.16, realizat cu un conținut de bitum între 5,7 și 6,0 %, executat în condiții experimentale corecte, cu bitum pur D 80/100 de la Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău, atestă caracteristici fizico-mecanice foarte bune, corespunzătoare standardului. Se subliniază că execuția trebuie realizată în condiții optime, asigurându-se o compactare foarte energetică a stratului de uzură, astfel încât să se obțină un grad ridicat de compactare (97...98 %).

3.3. Modulul de rigiditate al mixturilor asfaltice realizate cu bitum pur de la PETROLSUB

Mixturile asfaltice avînd în componența lor bitum sunt materiale foarte complexe, liantul bituminos fiind cel care le conferă acestora comportarea vîsco-elastică. Atît proprietățile elastice cît și cele vîscoase depind concomitent de temperatură și de viteza de aplicare a forțelor exterioare.

Prezența bitumului conferă mixturilor asfaltice caracteristici vîsco-elastice astfel încît proprietățile lor (deformațiile) depind de următorii parametri:

- viteza de încărcare;
- durata și intensitatea solicitării;
- frecvența;
- temperatura;
- alcătuirea structurală a amestecului.

3.3.1. Determinarea modulului de rigiditate.

Modulul de rigiditate al mixturii asfaltice se determină pornind de la încercarea dinamică cu efort impus cu solicitare sinusoidală:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \times \sin \omega t \quad , \quad (3.1)$$

iar deformația specifică rezultată este:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \times \sin(\omega t - \varphi) \quad , \quad (3.2)$$

în care: σ este efortul aplicat;

σ_0 - efortul unitar la începutul încercării la încovoiere;

ε - deformația relativă;

ε_0 - deformația la începutul încercării;

φ - unghiul de defazaj între deformație și efort, valoarea sa oferind indicații asupra predominanței caracterului vâscos sau elastic al mixturii asfaltice.

$\varphi = 0$, pentru un corp elastic;

$\varphi = 90^\circ$, pentru un corp vâscos.

Modulul de rigiditate (S) va fi:

$$S = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}, \quad [\text{N/m}^2] \quad (3.3)$$

Modulul complex al mixturii asfaltice (modulul de deformație) este un număr complex care are drept modul pe " S " și al cărui argument este :

$$E(i\omega) = S \times e^{i\varphi} = S \times \cos\varphi + i \times S \times \sin\varphi \quad (3.4)$$

$$\begin{array}{cc} \text{---} & \text{---} \\ E_1 & E_2 \end{array}$$

$$|S| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = E, \quad - \text{ reprezintă valoarea} \quad (3.5)$$

absolută a modulului de rigiditate, notat numai cu S_m .

Referitor la relațiile 3.4 și 3.5 sunt de precizat următoarele:

- E_1 este partea reală a modulului complex, în fază cu efortul și reprezintă energia înmagazinată și care va putea fi restituită;

- E_2 este partea imaginară a modulului complex, în defazaj cu efortul și reprezintă o imagine a energiei disipate în material. Acesta intervine în estimarea frecării interne și calculul energiei disipate.

Calculul modului de rigiditate al mixturilor asfaltice se face în general prin procedee grafice utilizând nomograme (fig. 3.2) întocmite pe baza unor rezultate experimentale.

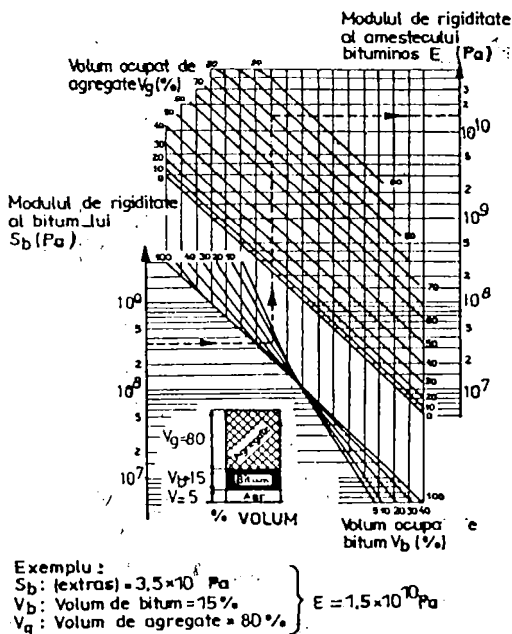


Fig.3.2. Nomogramă pentru determinarea modului de rigiditate al mixturilor asfaltice

Utilizarea acestei nomograme este limitată deoarece nu poate fi folosită direct decât dacă modulul de rigiditate al bitumului $S_b > 5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ (însă la temperaturi ridicate, uneori, această condiție nu mai este îndeplinită).

Pentru calculul modului de rigiditate al bitumului pur este unanim acceptată nomograma lui Van der Poel.

De menționat este faptul că la temperaturi scăzute și frecvențe ridicate toate biturile au aproape același modul de rigiditate: $S_b = 3 \times 10^9 \text{ N/m}^2$.

Deoarece determinarea practică, experimentală a modurilor de rigiditate atât a mixturilor asfaltice cât și a bitumului necesită aparatură complexă, în paralel cu metodele experimentale s-au dezvoltat și metode teoretice de evaluare a modurilor de rigiditate.

Dintre acestea cea mai largă răspîndire o are "metoda Heukelom și Klomp" care au exprimat modulul de rigiditate al mixturii asfaltice prin relația:

$$S_m = S_b \left(1 + \frac{2,5}{n} \times \frac{C_v}{1 - C_v} \right)^n \quad [\text{N/m}^2], \quad [\text{Pa}] \quad (3.6)$$

unde: C_v este concentrația volumică a agregatului natural,

$$C_v = \frac{V_{ag}}{V_{ag} + V_b}, \quad [\%] \quad (3.7)$$

în care: V_{ag} este volumul agregatelor, în %;

V_b - volumul bitumului, în %.

n - se determină cu relația:

$$n = 0,83 \times \log \frac{4 \times 10^{10}}{S_b}, \quad (3.8)$$

Relația 3.6 este valabilă numai pentru un volum de goluri $V_g < 3$ %.

În caz contrar, concentrația volumică va fi:

$$C_v'' = \frac{C_v}{1 + \frac{C_v}{100} - 3}, \quad [\%] \quad (3.9)$$

Pentru urmărirea comportării reologice a mixturilor asfaltice am determinat valorile modurilor de rigiditate în condiții de temperatură cuprinse în intervalul $-10 \dots +50$ °C pentru timpi de încărcare de la 10^{-3} pînă la 10 s.

Modulii de rigiditate ai mixturilor asfaltice au fost calculați în funcție de: modulul de rigiditate al bitumului pe care-l conțin, timpul de încărcare, temperatură și de volumul de goluri, rezultatele fiind prezentate în tabelul 3.7.

Moduli de rigiditate pentru B.A.16 și B.A.D.25

Tabelul 3.7

Temperatura în °C	Modulul de rigi- ditate al bitu- mului N/m ²	Modulul de rigiditate al mixturii asfaltice N/m ²		
		7,0 % bitum	6,0 % bitum	3,9 % bitum
timp de încărcare 10 ⁻³ s				
0	5,0x10 ⁸	1,87x10 ¹⁰	1,08x10 ¹⁰	1,04x10 ¹⁰
+ 5	3,5x10 ⁸	1,1x10 ¹⁰	1,0x10 ¹⁰	8,75x10 ⁹
+ 10	2,0x10 ⁸	1,02x10 ¹⁰	7,9x10 ⁹	7,2x10 ⁹
+ 22	5,0x10 ⁷	6,0x10 ⁹	4,34x10 ⁹	3,8x10 ⁹
+ 50	2,0x10 ⁶	6,5x10 ⁸	5,0x10 ⁸	4,25x10 ⁸
timp de încărcare 10 ⁻² s				
- 10	4,0x10 ⁸	1,9x10 ¹⁰	1,3x10 ¹⁰	1,02x10 ¹⁰
0	2,5x10 ⁸	1,06x10 ¹⁰	8,75x10 ⁹	8,0x10 ⁹
+5	1,5x10 ⁸	1,0x10 ¹⁰	6,25x10 ⁹	5,8x10 ⁹
+10	8,5x10 ⁷	7,7x10 ⁹	5,85x10 ⁹	4,8x10 ⁹
+22	1,5x10 ⁷	2,7x10 ⁹	2,0x10 ⁹	1,1x10 ⁹
+50	4,0x10 ⁵	3,0x10 ⁸	2,0x10 ⁸	1,55x10 ⁸
timp de încărcare 10 ⁻¹ s				
- 10	3,5x10 ⁸	1,4x10 ¹⁰	9,0x10 ⁹	7,0x10 ⁹
0	1,0x10 ⁸	7,5x10 ⁹	6,0x10 ⁹	5,0x10 ⁹
+5	5,0x10 ⁷	5,0x10 ⁹	3,75x10 ⁹	3,4x10 ⁹
+10	3,0x10 ⁷	3,75x10 ⁹	2,5x10 ⁹	2,4x10 ⁹
+22	3,5x10 ⁶	8,25x10 ⁹	6,0x10 ⁸	5,0x10 ⁸
timp de încărcare 1 s				
- 10	9,0x10 ⁷	8,0x10 ⁹	5,0x10 ⁹	4,0x10 ⁹
0	3,5x10 ⁷	4,3x10 ⁹	3,1x10 ⁹	2,6x10 ⁹
+5	1,5x10 ⁷	2,1x10 ⁹	1,1x10 ⁹	1,0x10 ⁹
+10	5,0x10 ⁶	1,04x10 ⁹	8,5x10 ⁸	7,75x10 ⁸
+22	5,0x10 ⁵	3,25x10 ⁸	2,0x10 ⁸	1,8x10 ⁸
timp de încărcare 10 s				
- 10	5,0x10 ⁷	4,0x10 ⁹	3,0x10 ⁹	2,55x10 ⁹
0	1,0x10 ⁷	1,2x10 ⁹	1,0x10 ⁹	5,0x10 ⁸
+5	3,0x10 ⁶	7,5x10 ⁸	5,0x10 ⁸	4,5x10 ⁸
+10	1,0x10 ⁶	4,0x10 ⁸	3,25x10 ⁸	3,0x10 ⁸
+22	1,0x10 ⁵			

Variațiile modurilor de rigiditate se pot urmări mai clar în graficele prezentate în figurile 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 care reprezintă variația modului de rigiditate la timpi diferiți de încărcare, respectiv 10^{-3} s, 10^{-2} s, 10^{-1} s, 1 s și 10 s.

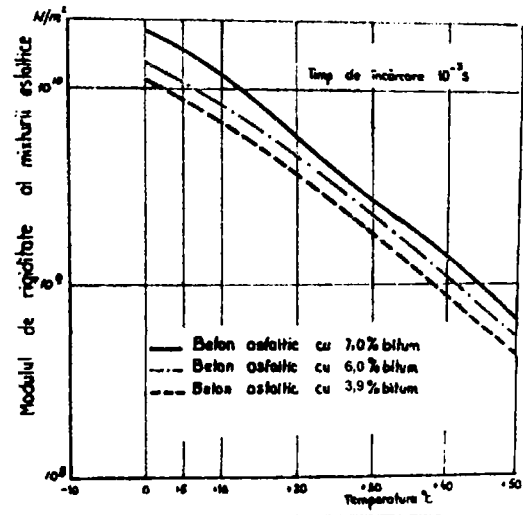


Fig. 3.3. Variația modului de rigiditate cu temperatura.

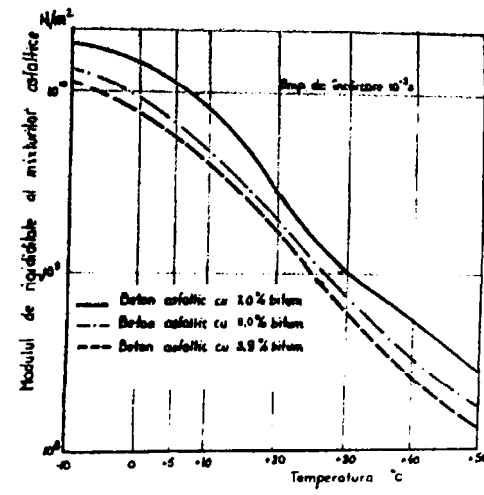


Fig. 3.4. Variația modului de rigiditate cu temperatura.

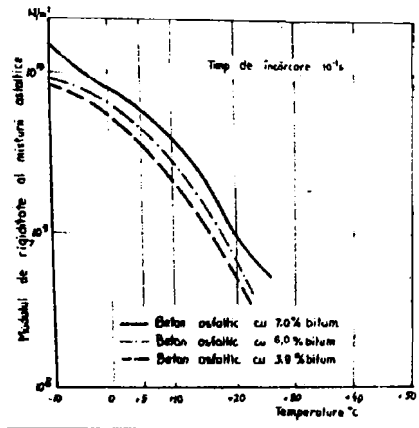


Fig. 3.5. Variația modului de rigiditate cu temperatura.

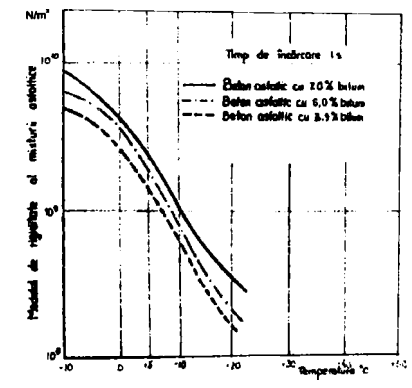


Fig. 3.6. Variația modului de rigiditate cu temperatura.

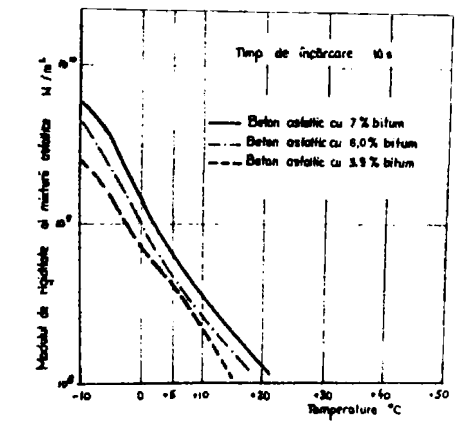


Fig. 3.7. Variația modului de rigiditate cu temperatura.

Toate reprezentările confirmă creșterea modurilor de rigiditate cu scăderea temperaturii și cu creșterea vitezei de încărcare evidențind o comportare bună a betonului asfaltic realizat cu 6,0 % bitum, față de proba etalon cu 7,0 % bitum, curbele modurilor și valorile lor fiind apropiate.

Izotermele modurilor de rigiditate sunt prezentate în fig. 3.8, 3.9 și 3.10.

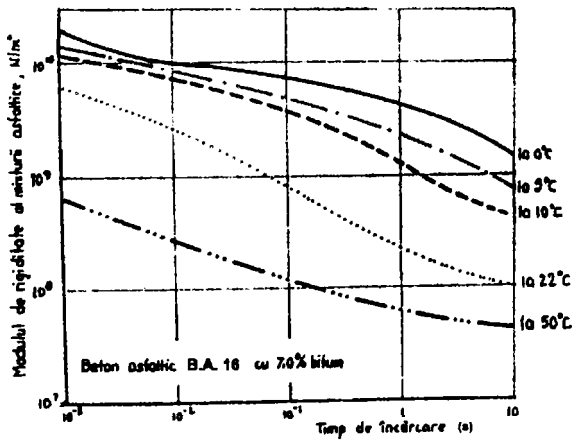


Fig. 3.8. Variația modului de rigiditate în funcție de timpul de încărcare.

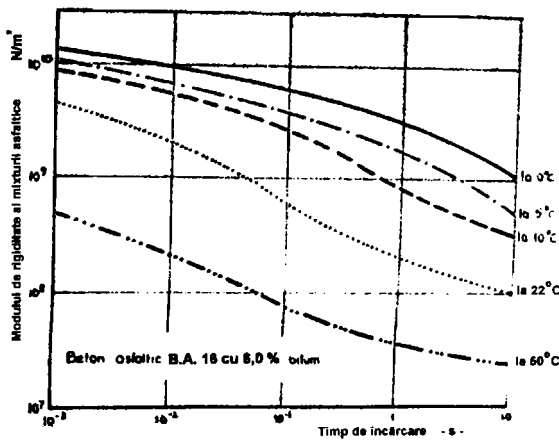


Fig. 3.9. Variația modului de rigiditate în funcție de timpul de încărcare.

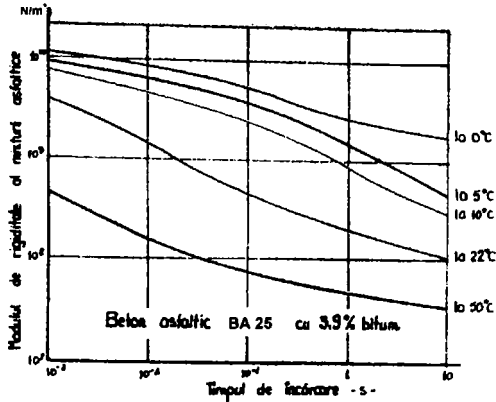


Fig. 3.10. Variația modului de rigiditate în funcție de tipul de încărcare.

Valori mai scăzute ale modului de rigiditate se obțin la betonul asfaltic deschis pentru stratul de legătură B.A.D.25, datorită evident compoziției diferite a acestuia și procentului de bitum mult mai scăzut, de 3,9 % față de 6,0 % în cazul B.A.16.

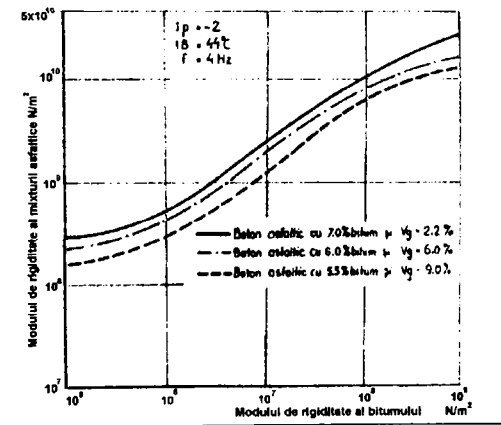


Fig. 3.11. Influența volumului de goluri asupra modului de rigiditate.

Influența volumului de goluri asupra modului de rigiditate al mixturilor asfaltice cu bitum D 80/100 de la PETROLSUB Suplacu de Barcău este prezentată în figura 3.11 având în abscisă modulul de rigiditate al bitumului

(S_b) iar în ordonată modulul de rigiditate al mixturii asfaltice realizate cu acest bitum.

Curbele din fig. 3.11 atestă faptul că modulii de rigiditate sunt influențați sensibil de volumul de goluri al mixturii asfaltice după compactare pentru același tip de bitum, respectiv de la PETROLSUB, variațiile modurilor de rigiditate sunt paralele.

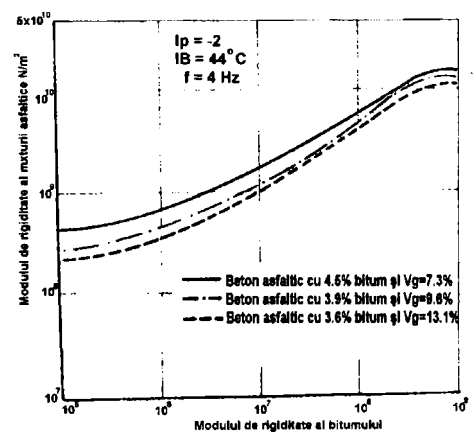


Fig. 3.12. Influența volumului de goluri asupra modului de rigiditate.

Aceleași concluzii sunt valabile și pentru betoanele asfaltice deschise obținute cu același tip de bitum după cum se poate vedea în figura 3.12.

Concluziile ce se desprind din cercetările întreprinse pot fi rezumate astfel:

- modulii de rigiditate ai mixturilor asfaltice tip B.A..16 și B.A.D.25 studiați în teză, variază în funcție de modulul de rigiditate al bitumului pe care-l conțin, respectiv bitum neparafinos tip D 80/100 de la Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău;

- s-a urmărit variația valorii modulilor de rigiditate în funcție de temperatură și de timpul de încărcare, evidențiindu-se aspectele specifice legate de influența fiecărui parametru, subliniind faptul că modulii cu valori maxime se obțin la temperatură scăzută când comportarea mixturii asfaltice este predominant elastică; același efect se manifestă cu scăderea timpului de încărcare, valori maxime ale modulilor de rigiditate se obțin la timpul de încărcare de 10^{-3} s și valorile cele mai mici la timpul de încărcare de 10 s;

- un alt parametru important este volumul de goluri al mixturilor asfaltice; odată cu micșorarea volumului de goluri se obțin valori maxime ale modulilor de rigiditate;

- consecința ce derivă în mod firesc din valoarea acestui parametru se traduce în practică prin realizarea unei compactări cât mai eficiente prentu a reduce cât mai mult volumul de goluri.

3.4. Considerații privind comportarea la oboseală a mixturilor asfaltice

3.4.1. Generalități

Fenomenul de oboseală este definit ca "un proces de schimbare structurală permanentă, progresivă și localizată într-un material supus unor solicitări care produc tensiuni și deformații și care pot culmina cu fisurarea sau ruperea după un număr oarecare de cicluri de încărcare – descărcare" [74].

Primele studii consacrate acestui fenomen datează din anul 1852, ele fiind executate de către Wohler, care a stabilit dependența dintre numărul de solicitări pînă la ruperea materialului și valoarea maximă a efortului aplicat.

Cercetările au fost orientate încă de la început pentru a stabili rezistența la oboseală a materialelor.

Rezistența la oboseală se poate defini ca fiind "efortul unitar maxim sub acțiunea căruia un material rezistă la un număr nelimitat de solicitări ciclice".

Această caracteristică depinde de o serie de factori cum ar fi:

- tipul și modul de solicitare;
- forma și dimensiunile epruvetelor de încercare;
- condițiile climaterice;
- etc.

Dacă se face abstracție de natura fizică a fenomenului de oboseală acesta poate fi considerat ca o succesiune de procese interne ireversibile care se acumulează începînd cu primele solicitări și care produc degradarea progresivă a materialului.

Astfel apar noțiunile de degradare și de acumulare a degradărilor.

3.4.2. Natura fizică și mecanismul fenomenului de oboseală

Cauzele care produc fenomenul de oboseală sunt date de modul de interacțiune dintre solicitările repetate și material, în anumite condiții de mediu.

În urma solicitărilor ciclice se produc fenomene la scară atomică, microscopică și macroscopică cum ar fi:

- creșterea mișcărilor dintre particule;
- formarea planurilor de alunecare;
- apariția fisurilor capilare;
- propagarea și dezvoltarea fisurilor.

Mecanismul fisurării prin oboseală se desfășoară astfel:

- primele cicluri de încărcare - descărcare provoacă o multiplicare a mișcărilor dintre particule în material;
- pe măsura creșterii numărului de cicluri de încărcare - descărcare se formează linii de alunecare care devin tot mai numeroase, formând la un moment dat benzi (planuri) de alunecare;
- sensul eforturilor unitare aplicate modificându-se continuu, determină apariția unor noi zone de deplasări, în special acolo unde particularitățile microstructurale nu sunt identice pe ambele direcții de mișcare;
- o dată cu evoluția benzilor de alunecare apar și microfisurile care generează formarea fisurilor în lungul planurilor de alunecare și menținând o direcție în general perpendiculară, cea a efortului unitar normal.

Evoluția deformației este prezentată în fig.3.13.

Se apreciază că peste 95 % din rezistența unui material este consumată pentru dezvoltarea microfisurilor în fisuri macroscopice pînă la ruperea finală.

Deci cu cât viteza de propagare a fisurilor este mai mică cu atât rezistența la oboseală va fi mai mare.

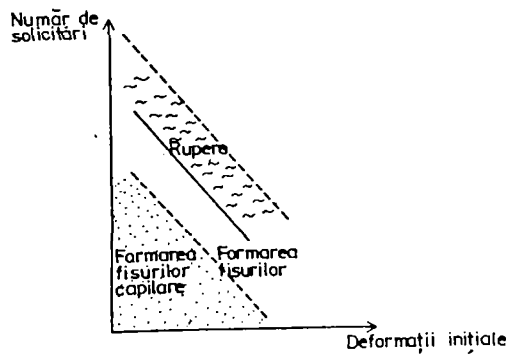
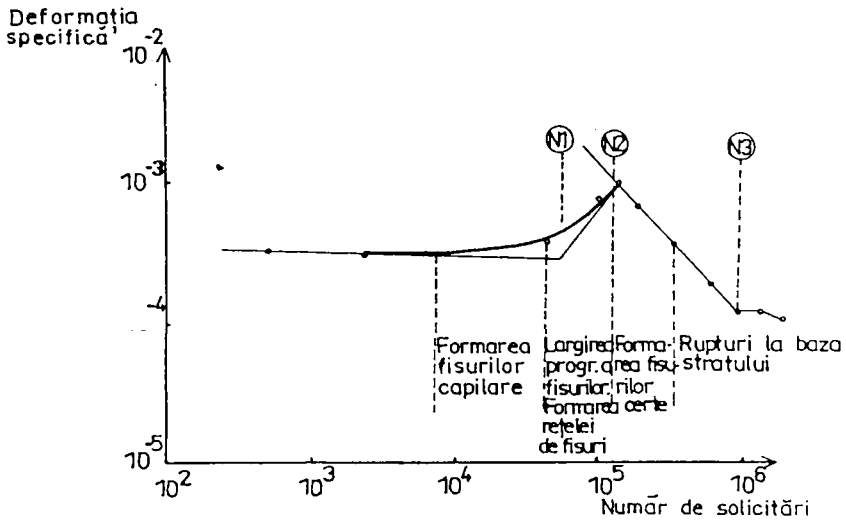


Fig. 3.13. Mecanismul fenomenului de oboseală. a) Evoluția deformației în timpul solicitării la oboseală; b) Studii caracteristice în încercarea la oboseală.

3.4.3. Caracterizarea energetică a fenomenului de oboseală

În urma unor experiențe efectuate pe epruvete din mixturi asfaltice de către cercetători francezi de la L.C.P.C. (Stefani și Assi) urmărind fenomenul prin intermediul unei camere în infraroșu, s-a pus în evidență faptul că în zonele cele mai solicitate apare o încălzire, care este legată de procesul de disipare a energiei în urma deteriorării legăturilor dintre bitum și agregat. O dată cu dezvoltarea progresivă a fisurilor are loc și o modificare a caracteristicilor de deformabilitate datorită creșterii locale a temperaturii - în sensul că apar deformații vîscoase.

În acest sens într-un anumit domeniu de solicitare, mixturile asfaltice pot fi considerate ca materiale vîsco-elastice liniar degradabile.

În urma cercetărilor și a încărcărilor la oboseală la deformație impusă s-a constatat că apar trei faze (fig. 3.14):

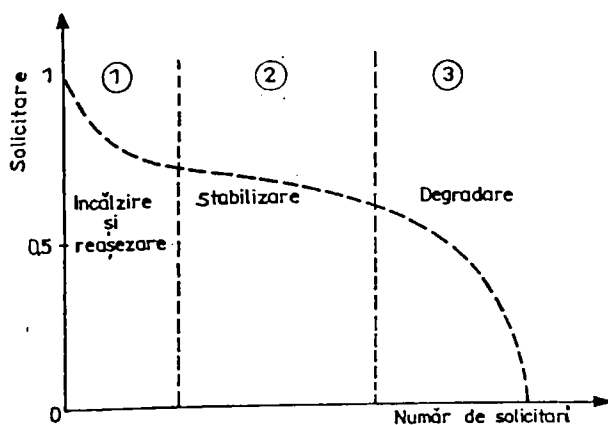


Fig.3.14. Evoluția unei solicitări la oboseală

- 1 - în faza 1 efortul scade rapid datorită reaşezării materialului; creşterea temperaturii determină o disipare vîscoasă care modifică modulul de rigiditate al mixturii;

- 2 - în faza 2 se produce o oarecare stabilizare cu menţinerea regimului permanent a temperaturii;

- 3 - în faza 3 efortul scade rapid datorită faptului că macrofisurile ajung la ultimul stadiu al dezvoltării, ruperea (cedarea) materialului fiind iminentă.

Dacă solicitările nu depăşesc nivelul fazei a 2-a în mixtura asfaltică se produce așa numitul fenomen de autoreparare care se manifestă prin recuperarea totală a modulului de rigiditate după o perioadă de repaus și o recuperare parțială a duratei de exploatare (N-cicluri) în funcție de temperatură și timpul de repaus între solicitări.

3.4.4. Curbele lui Wöhler

Comportarea la oboseală a unui material este pusă în evidență prin stabilirea unei relații între eforturi (σ) sau deformația (ϵ) și numărul de solicitări (N) care produce ruperea.

Datele obținute (σ sau ϵ și N) se reprezintă într-un sistem de axe. Pentru un material aceste date dau o întreagă familie de curbe care permit stabilirea unor legi de oboseală.

Cele mai obișnuite sisteme sunt cele la scară logaritmică ($\lg \sigma$ sau $\lg \varepsilon$ și $\lg N$) sau semilogaritmică (σ sau ε și $\lg N$), care vor duce la transformarea curbelor în drepte.

Curba care reprezintă numărul de solicitări pînă la rupere, în funcție de amplitudinea efortului sau deformației aplicate se numește Curba lui Wöhler, fig. 3.15.

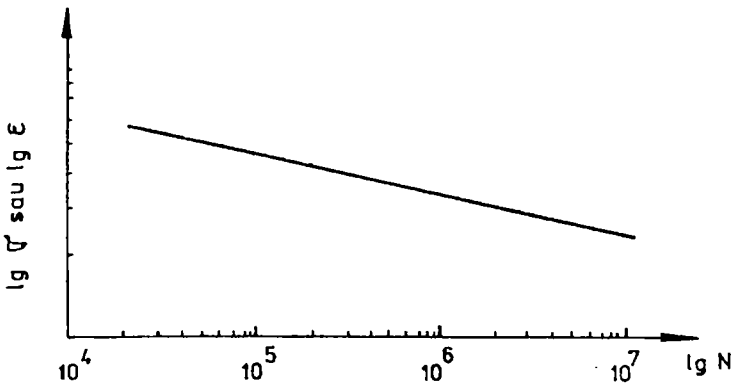


Fig. 3.15. Curba lui Wöhler.

Astfel se poate defini mai exact noțiunea de rezistență la oboseală a unui material ca fiind valoarea solicitării pentru care o epruvetă supusă încărcării suportă N cicluri înainte de a se rupe.

Numărul de cicluri de încărcare - descărcare care duce la rupere se numește "durată de exploatare" (durată de viață).

Relația matematică dintre amplitudinea solicitării și durata de exploatare se poate scrie:

$$\boxed{\sigma = a \times N^{-b}}, \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (3.10)$$

atunci cînd curba lui Wohler este o dreaptă la scară logaritmică, sau :

$$\sigma = a - b \times \lg N, \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (4.2)$$

cînd curba este o dreaptă la scară semilogaritmică, unde a și b sunt constante determinate experimental funcție de caracteristicile materialului și modul de încercare.

3.4.5. Legea de cumulare a degradărilor Palmgren - Miner

În laborator încercările la oboseală se realizează în condiții simple de încărcare prin aplicarea continuă a ciclurilor de încărcare cu o mărime constantă (efort sau deformație) la o anumită temperatură.

În exploatarea practică însă materialul este supus la o solicitare complexă, încărcările fiind de diferite mărimi, la intervale de timp și temperaturi diferite.

Astfel are loc o cumulare a degradărilor .

Legea Palmgren - Miner consideră că degradările se cumulează progresiv pentru diverse niveluri de solicitare.

Condiția ruperii prin oboseală este dată de relația:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = 1, \quad (3.12)$$

unde: n_i este numărul de solicitări în perioada de perspectivă pentru nivelul de deformație specifică considerat;

N_i - numărul de solicitări care provoacă oboseala corespunzător aceleași deformații.

Pentru mixturi asfaltice valoarea raportului $\sum \frac{m}{N_i}$ variază între 0,61 și 1,45.

3.4.6. Incercări la oboseală asupra mixturilor asfaltice

Datorită faptului că studiul "in situ" a rezistenței la oboseală a mixturilor asfaltice ar necesita un timp foarte îndelungat s-a apelat la studiul în laborator a acestui fenomen. Se precizează însă faptul că în laborator nu se pot simula toate condițiile solicitării complexe din teren, datorită multitudinii parametrilor care intervin.

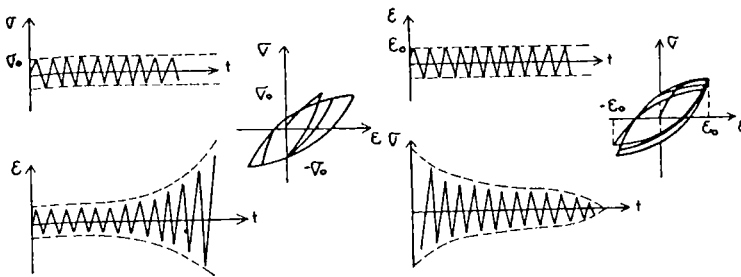
Un prim aspect ar fi variația, în limite destul de largi, a temperaturii în decursul unui an și alungirile la oboseală variază în funcție de temperatura mixturii asfaltice.

În consecință este necesar să se cunoască caracteristicile de deformabilitate a mixturilor asfaltice - modulul de rigiditate și coeficientul lui Poisson în funcție de temperatură și de frecvența solicitărilor și să se studieze comportarea la oboseală la temperaturi la care degradările prin oboseală sunt mari.

Pornind de la ipoteza că deformațiile unitare radiale la baza straturilor bituminoase produc fisurarea prin oboseală, atunci durata de exploatare (rezistența la oboseală) poate fi determinată prin încercări uniaxiale.

Încercările, în diverse laboratoare din lume s-au efectuat pe epruvete prismatice, cilindrice, cu secțiune trapezoidală sau cu secțiune variabilă, care au fost supuse la solicitări dinamice sinusoidale de întindere din încovoire, întindere -compresiune, utilizându-se două moduri de încercări:

- modul de solicitare cu amplitudinea efortului constantă (fig.3.16.a);
- modul de solicitare cu amplitudinea deformației constantă (fig.3.16.b).



a) Încercarea la efort constant b) Încercarea la deformație constantă
Fig.3.16. Principiul încercării la oboseală

Frecvențele solicitărilor la care s-au efectuat încercările au fost de 10 și 25 Hz, iar temperaturile au variat între - 10 și + 30 °C, cel mai des fiind întâlnită temperatura de + 10 °C.

Durata de exploatare a mixturilor asfaltice estimată în laborator depinde în mare măsură de metodele de încercare.

Astfel, la încercările cu efort constant ruperea este legată strâns de începutul fisurării, iar la încercările cu deformație constantă, în calculul duratei de exploatare se include și o parte considerabilă din timpul de propagare a fisurilor.

De asemenea din cercetările efectuate se constată că rezistența la oboseală obținută din încercarea cu amplitudine constantă a efortului crește cu modulul de rigiditate, iar la încercarea cu amplitudine constantă a deformației variază proporțional cu modulul de rigiditate.

În sensul încercării cu amplitudine constantă a deformației are loc o reducere continuă a modulului de rigiditate prin cumulara degradărilor produse, de unde rezultă și o reducere a forței necesare pentru a menține deformația constantă.

În acest caz nu este vorba de o rupere mecanică propriu-zisă a probei chiar dacă reducerea modulului de rigiditate este avansată, ci de apariția degradărilor cumulate prin oboseală.

Comparând cele două moduri de solicitare se constată că încercarea la efort constant este mai severă, duratele de exploatare în acest caz fiind mai mici față de încercarea la deformație constantă. Fenomenul se explică prin durata de propagare a fisurilor care este mai mare la deformație constantă.

3.4.6.1. Legea de oboseală a mixturilor asfaltice

În general, pentru ambele moduri de solicitare, se admite legea de oboseală de forma :

$$N = K \left(\frac{1}{\epsilon} \right)^n \quad \text{și} \quad (3.13)$$

$$N = K \left(\frac{1}{\sigma} \right)^n \quad (3.14)$$

în care: N este numărul de cicluri de solicitare pînă la rupere;

ε - deformația relativă;

σ - efortul aplicat;

K - coeficient care depinde de compoziția mixturii asfaltice,

$$K=10^{-10} \dots 10^{-18};$$

n - exponent care depinde de duritatea bitumului,

$n = 5 \dots 6$, mai mic pentru bitum moale și

mai mare pentru bitum dur.

Ținînd cont de cele arătate anterior am considerat necesar efectuarea în continuare a unor cercetări privind comportarea la oboseală a celor trei probe de mixtură asfaltică pe care le-am considerat reprezentative și anume: B.A.16 cu 7,0 %, bitum B.A.16 cu 6,0 % bitum și B.A.D.25 cu 3,9 % bitum.

Pentru experimentare s-a folosit aparatul Guericke existent la INCERTRANS Secția Cercetări Drumuri, unde s-au făcut și încercările.

Parametrii încercării la oboseală au fost aleși astfel:

- s-a lucrat la deformație constantă;
- frecvența solicitării la încovoiere a fost 4,5 Hz, corespunzătoare unei durate de solicitare de 0,035 s, ceea ce corespunde unei circulații a autovehiculelor cu o viteză de 60 km/h;
- temperatura de încercare aleasă a fost de +5 °C;
- amplitudinea deformației specifice de întindere a fibrei marginale ε , cu valori de $3,0 \times 10^{-4}$; $5,6 \times 10^{-4}$ și $6,4 \times 10^{-4}$.

Încercarea la oboseală s-a efectuat pe epruvetele de formă prismatică, avînd dimensiunile 40 mm x 40 mm x 320 mm.

Rezistența la oboseală s-a determinat prin numărul de cicluri care au dus la distrugerea epruvetelor și s-a exprimat prin relația 3.13.

Rezultatele încercării la oboseală au condus la stabilirea legăturilor stohastice între numărul de aplicări ale solicitării care a produs distrugerea prin oboseală N și deformația specifică de întindere ϵ . În coordonate logaritmice, ecuația de regresie a comportării la oboseală este cea a unei drepte :

$$\lg N = \lg K + \lg 1/\epsilon \quad (3.15)$$

Principalele caracteristici statistice sunt date în tabelul 3.8.

Caracteristici statistice ale corelațiilor stabilite pentru încercarea la oboseală

Tabelul 3.8

CARACTERISTICI	B.A.16		B.A.D.25
	etalon	conținut redus	
Conținutul de liant, %	7,0	6,0	3,9
Valoarea medie, $\lg 1/\epsilon$	-3,343	-3,323	-3,323
Valoarea medie, $\lg N$	4,808	4,589	4,123
Abaterea medie pătratică pentru:			
$\sigma^2 \lg 1/\epsilon$	0,02210	0,02056	0,02056
$\sigma^2 \lg N$	0,33372	0,22016	0,18065
Coeficient de corelație, r	0,99599	0,97698	0,99461
Rapoarte de corelație			
$n_{y/x}$	0,98	0,98	0,99
$n_{x/y}$	0,99	1,00	1,00
Coeficient de determinație, d			
k	0,94	0,83	0,90
n	$7,4 \times 10^{-7}$	$9,33 \times 10^{-5}$	$2,14 \times 10^{-5}$
	3,87	3,20	3,00

Valorile mari, de peste 0,98 ale rapoartelor de corelație demonstrează existența unor legături de corelație între cele două variabile $\lg N$ și $\lg 1/\epsilon$.

Aceleași concluzii pot fi admise și în baza valorilor de peste 0,90 ale coeficienților de corelație.

De asemenea, acceptabilitatea liniarității corelației se verifică prin analiza rapoartelor de corelație.

Valorile determinanților demonstrează că 83,0...94,0 % din variația rezistenței la oboseală poate fi explicată prin modificarea deformației specifice. Se poate sublinia în consecință că în experimentările efectuate, în general, variația deformației a determinat în primul rând numărul de cicluri pînă la ruperea prin oboseală, influența altor cauze în cazul fiecărui tip de mixtură asfaltică examinată fiind relativ mult mai redusă.

Valorile K și n sunt constante ale regresiiilor încercate asupra rezultatelor încercărilor la oboseală, determinate în ipoteza (bine justificată anterior) a liniarității corelației $\lg N$ și $\lg 1/\varepsilon$.

Reprezentarea grafică a fenomenului poate fi urmărită în figura 3.17.

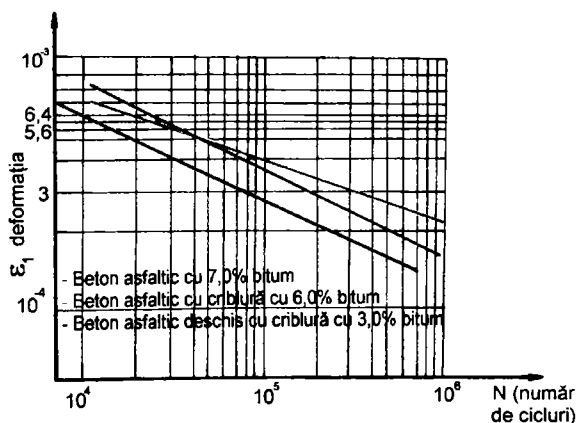


Fig. 3.17. Reprezentarea fenomenului de oboseală (mixturi asfaltice cu conținut redus de bitum).

Pentru experimentare am lucrat cu un beton asfaltic bogat în criblură, cu un conținut de bitum de 7,0 % (proba etalon) comparativ cu același tip de mixtură asfaltică, dar cu 6,0 % bitum. Proba cu 3,9 % reprezintă un beton asfaltic deschis realizat cu criblură pentru strat de legătură.

Comparînd comportarea relativă a celor două tipuri de beton asfaltic bogat în criblură, cu un conținut de liant diferit, se constată că micșorarea acestuia de la 7,0 % la 6,0 % conduce la reducerea numărului de cicluri pînă la rupere, astfel în domeniul deformației $\varepsilon = 3 \times 10^{-4}$ de la $N = 3,19 \times 10^5$ la $1,75 \times 10^5$ pentru proba cu 6,0 % bitum, în timp ce în domeniul $\varepsilon = 5,6 \times 10^{-4}$ de la $N = 2,85 \times 10^4$ la $N = 2,38 \times 10^4$.

În cazul mixturii asfaltice de tipul B.A.D.25 (beton asfaltic pentru stratul de legătură), caracterizat prin 3,9 % bitum, în general la toate deformațiile realizate pe parcursul experimentării numărul de cicluri de solicitare pînă la rupere este de 4 - 5 ori mai mic. Încercarea la oboseală pune în evidență comportarea diferită la oboseală a celor două tipuri de mixturi asfaltice, corelate cu conținutul de liant. Comportarea mai bună la oboseală se obține la un conținut mai ridicat de liant, fapt ce este în concordanță și cu celelate proprietăți fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice studiate.

Utilizarea unui conținut ridicat de criblură și nisip de concasaj necesită o compactare foarte energetică, în scopul realizării unei compactități cît mai ridicate.

Raportul filer / bitum se menține peste 1,0 în cazul betoanelor asfaltice utilizate pentru stratul de uzură, întrucât asigură o stabilitate sporită și un modul de rigiditate corespunzător la temperaturile ridicate din perioada de vară. **Concluzii**

Cercetările realizate au pus în evidență caracteristicile mixturilor asfaltice cu bitum D 80/100 pur, fără adaosuri de la PETROLSUB Suplacu de Barcău pentru B.A.16 și B.A.D25.

Studiile privind fenomenul de oboseală pun în evidență comportarea bună a acestor tipuri de mixturi asfaltice; totodată modulii de rigiditate ai acestora studiați la diferite temperaturi și diferiți timpi de încărcare, evidențiază necesitatea compactării cât mai energice a mixturilor asfaltice.

3.5. Mixturi asfaltice cu bitum D 80/120 aditivat

Una din problemele cele mai importante pentru specialiștii din sectorul rutier este cea legată de adezivitatea dintre bitum și agregatele naturale, aspect ce a fost tratat în capitolul 2. Dată fiind diversificarea foarte mare a agregatelor naturale concasate și neconcasate (nisip de râu) pe care bitumul trebuie să le anrobeze și să asigure concomitent rezistența la acțiunea apei, atât în România cât și în celalalte țări din lume s-au făcut o serie de studii și cercetări de laborator în vederea rezolvării acestei dificile probleme [16; 35; 61; 66; 124].

găsirea în țară a celor mai corespunzători aditivi atât din punct de vedere al eficienței tehnice cât și a celei economice [61].

Prin aditivarea bitumului se îmbunătățesc următoarele caracteristici:

- rezistența la îmbătrânire sub acțiunea factorilor atmosferici și a solicitărilor din trafic;
- adezivitatea între bitum și agregatul natural (prin aditivare cu produși aminici, acizi grați sintetici).

Acțiunea produșilor **aminici** se manifestă prin faptul că aceștia schimbă sarcina electrică a particulelor de bitum prin orientarea radicalilor aminici la suprafața acestuia. În acest fel se obține o afinitate mai bună a bitumului față de agregatele naturale provenite atât din roci bazice cât și acide.

Cercetările realizate de INCERTRANS [61] au arătat că rezultatele cele mai bune s-au obținut prin aditivarea bitumului cu produse aminice, fabricate în țară la ROMTENSID Timișoara acestea fiind: reziduri de amină terțiară simbol R15 și nonilfenoldiamină simbol NFDA.

Cercetările de laborator [61] realizate cu aceste două produse au avut drept scop stabilirea compatibilității lor cu bitumul rutier, a influenței asupra caracteristicilor fizico-chimice ale bitumului, cu clauza asigurării termostabilității bitumului aditivat la temperaturi până la 200 °C, a adezivității acestuia față de agregatele naturale provenite din roci de natură acidă, astfel încât să se realizeze o valoare de minim 75 % a adezivității (metoda de determinare fiind cea cantitativă cu spectrofotometrul și colorant roșu 4G).

Cercetările efectuate au arătat îmbunătățirea caracteristicilor bitumului printr-o bună compatibilitate între bitum și aditiv, precum și o creștere a adezivității [61].

S-a stabilit ca optim dozajul de aditiv de 1 % raportat la bitum și domeniul de aditivare cuprins între 150...180 °C.

Efectul de îmbunătățire a adezivității bitumului aditivat față de agregate naturale cu diferite naturi mineralogice, caracterizate prin conținutul de bioxid de siliciu (SiO₂) sunt prezentate în tabelul 3.9

Tabelul 3.9

Natura și proveniența agregatului	SiO ₂ %	Caracterul rocii	Adezivitatea, %		
			Bitum D 80/120 PETROLSUB		
			fără aditiv	cu 1 % R15	cu 1 % NFDA
Pietriș concasat de Mureș	85...90	acid	60	81	80
Criblură bazalt Brănișca	40...43	bazic	80	88	90
Criblură bazalt Șanovița	45...47	bazic	80	86	90
Criblură Aciuța	> 65	acid	53	75	75

Notă: adezivitatea s-a determinat prin metoda cantitativă cu spectrofotometrul.

Am constatat, pe baza încercărilor de laborator, că adezivitatea bitumului de la PETROLSUB Suplacu de Barcău neaditivat este de 60...63 % pe agregate acide și crește la 80...90 % în cazul aditivării lui cu R15 (reziduu de amină terțiară) și NFDA (nonillfenoldiamină).

Pentru a urmări dacă efectul de îmbunătățire al adezivității se menține și la temperaturi ridicate [61; 124] s-a încălzit bitumul în strat subțire timp de 5 ore la diferite temperaturi și s-a determinat din nou adezivitatea pe agregatul de natură acidă. Rezultatele pot fi urmărite în tabelul 3.10.

Rezultatele bune obținute în condițiile de laborator au permis trecerea la executarea de sectoare experimentale.

Tabelul 3.10

Condiții	Adezivitatea %		
	Criblură acidă Aciuța		
	Bitum fără aditiv	Bitum cu 1 % R15	Bitum cu 1 % NFDA
Bitum inițial	53	75	75
Bitum după încălzire:			
• 163 °C	53	75	75
• 180 °C	53	75	75
• 200 °C	52	73	74

3.5.1. Sector experimental realizat din mixtură asfaltică tip B.A.16 pentru strat de uzură cu bitum D 80/120 de la PETROLSUB Suplacu de Barcău aditivat cu 1 % NFDA

În cadrul D.R.D.P. Timișoara s-a realizat un sector experimental în anul 1986 pe DN 79A km 117 + 400 - 117 + 700 cu un strat de uzură tip B.A.16 cu bitum aditivat cu 1 % NFDA, alături de un sector martor executat cu aceeași compoziție dar cu bitum neaditivat.

Pentru aditivare s-a folosit aditivul NFDA (nonilfenoldiamină) produs la Întreprinderea de Detergenți Timișoara, actuala Societate Comercială ROMTENSID S.A.

Caracteristicile tehnice ale NFDA sunt următoarele:

- aspect la 25 ± 1 °C lichid vâscos;
- culoare brun roșcată;
- indice de amină, mgHCl/g ... 150 ± 10 ;
- substanță uscată, % 93 ± 3 .

Se menționează că produsul este termostabil putînd fi folosit ca aditiv pentru bitum pînă la 200 °C și nu-și modifică proprietățile prin îngheț și revenire la starea inițială.

S-au folosit agregate naturale de natură acidă de la cariera Aciuța.

Bitumul aditivat a fost preparat direct pe șantier cu ajutorul instalației prezentate în figura 3.18.

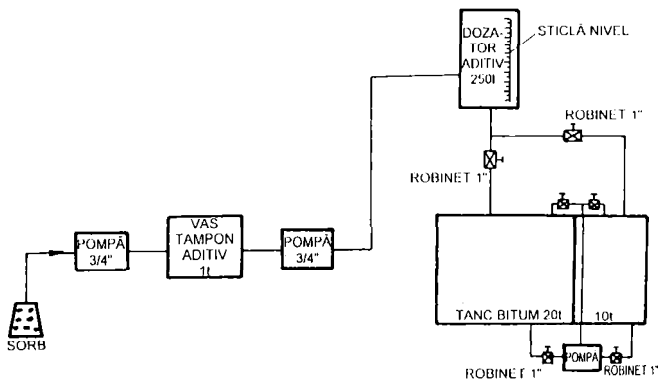


Fig. 3.18. Instalație pentru aditivarea bitumului.

Vasul tampon cu aditiv se încarcă din ambalajele originale prin sistemul sorb-pompă de unde trece prin pompă în dozator și apoi în tancul de bitum unde, prin recirculare, se asigură amestecarea bitumului cu aditivul.

Compoziția B.A.16 realizată pe șantier, exprimată în procente, a fost:

- bitum D 80/120 6,8;
- criblură 8...16 mm 28,0;
- criblură 3...8 mm 23,0;
- nisip (natural + concasaj) 38,0;
- filer de Murfatlar 11,0.

Caracteristicile mixturii asfaltice utilizate la realizarea sectorului experimental, precum și cele determinate pe carote la un an de la execuție sunt prezentate în tabelul 3.11.

Tabelul 3.11

Caracteristici	cu bitum neaditivat		cu bitum aditivat		Condiții STAS
	sept. 1986	oct. 1987	sept. 1986	oct. 1987	
Densitate aparentă, kg/m ³	2250	2260	2240	2300	min. 2250
Absorbția de apă, % vol.	4,4	3,9	3,5	2,7	2...5
R _{C₂₂} , N/mm ²	5,6	6,0	5,8	6,2	min. 3
R _{C₅₀} , N/mm ²	1,6	1,7	1,8	1,9	min. 0,7
Red.R _{C₂₂} la 28 zile, % R _{C₂₂}	17,2	28,3	19,2	19,4	max. 25
Stabilitate la 60 °C, kN	12,0	9,0	9,0	12,0	min. 6,0
Indice de fluaj la 60 °C, mm	3,0	3,2	2,5	4	1,5...4,5
Raport S/I, kN/mm	4,0	2,8	3,6	3,0	2,5...4,0
Punctul de înmuiere al bitumului, IB, °C	48	55	50	55	43...49

Adezivitatea bitum – agregat, determinată prin metoda cantitativă, prezintă următoarele valori:

- în cazul bitumului neaditivat:
 - 53,0 % inițial;
 - 50,0 % la un an de la execuția sectorului experimental;
- în cazul bitumului aditivat:
 - 75,0 % inițial;
 - 74,0 % la un an de la execuția sectorului experimental.

Pe baza analizelor de laborator și a observațiilor rezultate din urmărirea în exploatare a sectorului experimental se pot formula următoarele **concluzii**:

- caracteristicile fizico-mecanice ale mixturii asfaltice preparate cu bitum aditivat atestă o ușoară îmbunătățire față de cele ale mixturii cu bitum neaditivat, în special după un an de la darea în exploatare;

- sectorul prezintă o suprafață uniformă fără denivelări și fisuri;

- adezivitatea bitum – agregat este substanțial îmbunătățită prin aditivare și deci se confirmă faptul că se pot utiliza agregate de natură acidă la prepararea mixturilor asfaltice.

3.5.2. Mixturi asfaltice realizate cu bitum D 80/120 de la PETROLSUB modificat cu aditiv ITERLENE-IN 400

Aditivul ITERLENE-IN 400 este produs de firma italiană ITERCHIMICA-SPA (Italia) și este un lichid vâscos, de culoare închisă având următoarele caracteristici:

- substanță activă 100 %;
- solubilitate prin autodispersie;
- densitate la 15 °C 1,01...1,02;
- rezistență la temperatură ... peste 180 °C;
- pH bazic.

Caracteristicile reologice ale bitumului de la rafinăria PETROLSUB

Suplacu de Barcău aditivat cu ITERLENE se pot urmări în tabelul 3.12.

Caracteristici	UM	Bitum pur	Bitum aditivat cu IN 400 %		
			0,8	1,0	1,2
Penetrația la 25°C	1/10 mm	98	98	93	86
Punctul de înmuiere al bitumului, IB	°C	48	48	47	46
Ductilitatea la 25°C	cm	121	143	137	157
Ductilitatea la 0°C	cm	6,3	6	6	5,8
Punctul de rupere Fraass	°C	-22	-21	-21	-21
Adezivitatea	%	76	85	90	95

Din tabel se constată îmbunătățirea considerabilă a adezivității de la 76 % în cazul bitumului neaditivat la 90 % în cazul folosirii aditivului în proporție de 1,0 % din masa bitumului. Ținând cont de aceste rezultate s-a trecut la realizarea mixturii sfaltice tip B.A.16 pentru strat de uzură conform dozajului prezentat în tabelul 3.13 pentru reabilitarea care s-a executat pe DN7.

Dozaje și caracteristici pentru B.A.16 cu bitum D 80/120 cu și fără aditiv

Tabelul 3.13

Caracteristici	UM	B.A.16	
		fără aditiv	cu ITERLENE (1,0 %)
Bitum D 80/100	%	6,15	6,15
Criblura 8...16 mm	%	30,0	30,0
Criblura 3...8 mm	%	18,0	18,0
Nisip natural	%	9,4	9,4
Nisip de concasaj	%	28,2	28,2
Filer calcar	%	8,25	8,25
Raport filer / bitum	-	1,3	1,3
Densitate aparentă (pe cub)	g/cm ³	2,33	2,33
Stabilitate Marshall, la 60 °C	kN	13,08	13,2
Fluaj	mm	3,75	3,75
Raport stabilitate/fluaj	-	3,5	3,5

Notă. Este foarte interesant de remarcat cât de apropiate sunt aceste două dozaje realizate în 1995 - 1996 față de cele din tabelele 3.3 și 3.4 folosite la realizarea sectorului experimental pe DN 66 km 167 + 000 - 168 + 000.

Din examinarea datelor de mai sus se poate trage **concluzia** că deși toate rezultatele privind caracteristicile celor două tipuri de mixturi asfaltice tip B.A.16 sunt foarte apropiate singura diferențiere care apare este cea legată de adezivitate întrucât aceasta a crescut de la 76 % la 90 % prin adaosul de 1 % ITERLENE în bitum.

Cap. 4. CONSIDERAȚII PRIVIND FIABILITATEA ÎMBRĂCĂMINȚILOR RUTIERE REALIZATE DIN MIXTURI ASFALTICE

4.1. Noțiuni generale

Implicațiile economico-sociale a **construcțiilor rutiere**, care constituie, în totalitatea lor una din infrastructurile de bază ale economiei naționale, fac ca unora dintre caracteristicile de calitate ale acestora să li se acorde o importanță deosebită, fiind urmărite pe întreaga durată de exploatare a construcțiilor. Dintre aceste caracteristici se evidențiază în mod deosebit **fiabilitatea**, mentenabilitatea, disponibilitatea, protecția mediului înconjurător, caracteristici care s-au impus ca noțiuni de sine stătătoare în cadrul conceptului mai larg al calității.

4.1.1. Definirea noțiunii de fiabilitate

Noțiunea de **fiabilitate** s-a desprins relativ recent din conceptul de calitate cu toate că noțiunea de “siguranță în exploatare”, cum era denumită inițial, este cunoscută de foarte mult timp. Fiabilitatea a devenit o caracteristică primordială abia în ultimele trei decenii, când s-a constatat că metodele empirice utilizate în proiectarea, executarea și exploatarea produselor nu mai pot fi folosite.

Deși este o noțiune de sine stătătoare **fiabilitatea** nu poate fi detașată de noțiunea de **calitate**. Dacă, calitatea reprezintă totalitatea proprietăților unui produs care-l fac corespunzător potrivit destinației sale, în schimb **fiabilitatea este capacitatea produsului de a-și menține calitatea pe toată durata de utilizare [11]**. Deci fiabilitatea este calitatea produsului extinsă în timp.

În conformitate cu definiția dată în cadrul instrucțional internațional privind **calitatea** și **fiabilitatea** se precizează următoarele (conform SR ISO 8402 - 95):

- **calitatea** este "ansamblul de proprietăți și caracteristici ale unui produs sau serviciu care îi conferă acestuia aptitudinea de a satisface necesitățile exprimate sau însușite";

- **fiabilitatea** este "aptitudinea unui produs de a îndeplini o funcție specificată în condiții stabilite și pentru o anumită perioadă de timp".

În limbajul instrucționalizat pentru evaluări tehnice, termenul de "**calitate**" nu se folosește pentru a exprima gradul **superlativ** și nici cu sens **cantitativ**. În aceste cazuri se folosesc calificative cum ar fi termenii: "calitate selectivă" (într-o comparație) sau "nivelul calității" (ca măsură a calității în evaluări cantitative).

În conformitate cu prevederile legislației calității în construcții (v. Legea 10/1995), "**calitatea construcțiilor** este rezultanta totalității performanțelor de comportare a acestora în exploatare, în scopul satisfacerii, pe întreaga durată

de existență, a exigențelor utilizatorilor și colectivităților", ceea ce se poate numi ca fiind **fiabilitatea construcțiilor**.

Având în vedere natura specifică a "construcțiilor rutiere" se impune necesitatea nuanțării termenului general de "calitate a construcțiilor" cu precizarea unor aspecte principale privind **calitatea drumurilor**, după cum urmează:

- **calitatea** reprezintă rezultanta unui număr de performanțe estimate prin proprietăți sau caracteristici considerate relevante la nivelul unor **indicatori** ai stării tehnice (ai calităților funcționale, inclusiv de degradare);

- **calitatea** reprezintă **comportarea în exploatare** a drumurilor, deci **fiabilitatea** lucrărilor rutiere;

- **calitatea** satisface exigențele specificate prin cercetare, proiectare, construcție, întreținere și exploatare a construcțiilor rutiere;

- **calitatea** drumurilor se raportează la exigențele **utilizatorilor și colectivităților**, ea conduce la construcții corespunzătoare în scopul protejării vieții oamenilor, a bunurilor acestora, a mediului înconjurător și a societății în general.

Pentru obținerea unor construcții rutiere de "calitate corespunzătoare" se impun unele **cerințe** rezultate din prevederile legale generale cum ar fi: rezistență și stabilitate, siguranță în exploatare, igienă, sănătatea oamenilor, protecția împotriva zgomotului, protecția mediului, economia de energie etc.

Cerințele specifice drumurilor se definesc atât față de "criteriile de decizie" cât și prin "indicatori elementari intrinseci" care vizează caracteristicile materialelor din straturile rutiere (de ex. agregatele naturale, bitumul, compoziția mixturilor asfaltice etc.) și caracteristicile stării tehnice (de ex. defecțiuni ale structurii rutiere, ale straturilor rutiere etc.), precum și prin "indicatori sintetici" ai calității care reprezintă funcțiunile drumurilor și a rețelelor rutiere (de ex. siguranța circulației, confortul, estetica rutieră, rolul drumului în rețea, economicitatea etc.) [153; 154].

De asemenea se menționează că legislația construcțiilor în vigoare (v. H.G. nr. 766/1997) prevede reglementări privind **urmărirea comportării în exploatare**, intervențiile în timp și postutilizarea construcțiilor". În acest sens, referitor la specificul construcțiilor rutiere menționez următoarele:

- **urmărirea comportării în exploatare** este o componentă a sistemului calității în construcții;
- **obiectul urmăririi comportării** constă în evaluarea stării tehnice a drumurilor și menținerea aptitudinii acestora de a fi exploatate pe toată durata lor de existență;
- **modalitățile de efectuare a urmăririi curente** sunt reglementate prin instrucții tehnice, precum și prin studii și cercetări întreprinse în domeniu, cum sunt și cele tratate de autor în teză;

- **obligațiile și răspunderile privind urmărirea comportării în exploatare a drumurilor** cad în sarcina investitorilor, proprietarilor, proiectanților, constructorilor, administratorilor și utilizatorilor.

4.1.2. Sensurile interpretării (utilizării) conceptului de fiabilitate în domeniul construcției și întreținerii drumurilor.

Fiabilitatea poate reprezenta:

- ansamblul caracteristicilor calitative ale structurii rutiere, privită ca un sistem tehnic, care determină capacitatea acesteia de a fi utilizată un timp cât mai îndelungat;

- o mărime care caracterizează siguranța în exploatare a unei structuri rutiere;

- o măsură a probabilității de bună funcționare a unei structuri rutiere în conformitate cu normele prescrise.

Fiabilitatea reprezintă un criteriu major al aprecierii eficienței structurii rutiere construite, este proprietatea acesteia de a-și menține capacitatea de a îndeplini un serviciu, cu o anumită probabilitate, în condițiile de exploatare prescrise, într-o anumită perioadă.

Prin caracteristicile pe care trebuie să le aibă, printre care și fiabilitatea, drumul este purtătorul material al serviciului pe care îl îndeplinește și deci în acest sens fiabilitatea înseamnă “calitate în timp” sau “viabilitate”.

Drumul, acest sistem tehnic care este apreciat de către utilizatori prin calitatea suprafeței de rulare care-i oferă utilizatorului confort și siguranță în deplasare, are valoarea de întrebuințare (exploatare) diminuată, mai mult sau mai puțin, dacă suprafața de rulare nu-și păstrează caracteristicile de calitate inițiale pe perioada de exploatare prescrisă, dacă la un anumit timp după darea în exploatare apar o serie de defecțiuni, uneori frecvente, care deranjează circulația.

Rezultă că noțiunea de fiabilitate este strâns legată de aceea de defectare. O structură rutieră, de exemplu, realizată cu îmbrăcăminte bituminoasă de tip greu și la care apar, în scurt timp după darea în exploatare, defecțiuni ca fisuri și crăpături, fâgașe longitudinale, faianțări nu este fiabilă deoarece normativele prevăd că un astfel de drum are durata medie de exploatare de 15 ani la o intensitate medie zilnică anuală de 1501...3000 vehicule fizice.

În aceste condiții rezultă că fiabilitatea este legată și de capacitatea structurii rutiere de a putea fi reparată după defectare. Această caracteristică este denumită **mentenabilitate**.

Impunerile progresului tehnic au făcut ca proiectarea și realizarea structurilor rutiere să se facă, avînd în vedere utilizarea lor, la un nivel optim de performanță, pe anumite perioade de timp. Nu se poate aprecia fiabilitatea unui drum în afara unei dimensiuni temporale, precum nici făcînd abstracție de condițiile de mediu în care acesta funcționează.

În aprecierea nivelului tehnic și calitativ al structurilor rutiere, al drumului în general, prin fiabilitate, intervine inevitabil și conceptul de probabilitate. La produsele tehnice complexe cu durată de exploatare îndelungată, așa cum este o structură rutieră, nu se poate aprecia comportamentul în timp decât utilizând concepte și noțiuni din teoria probabilității [11].

4.1.3. Clasificarea fiabilității

Prin clasificări, după anumite criterii, se pot pune în evidență diferite aspecte ale fiabilității, reliefând astfel un concept bogat în semnificații [11].

Din punct de vedere al **etapei de realizare a fiabilității** deosebim:

- a) fiabilitatea **proiectată** - care reprezintă fiabilitatea unei structuri rutiere apreciată pe baza concepției și proiectării acesteia, precum și pe baza fiabilității componentelor sale, în special a îmbrăcămintei rutiere în condiții de exploatare prescrise;
- b) fiabilitatea **experimentală** - care se determină experimental în poligoane, stații pilot, laboratoare unde condițiile de solicitare sunt similare cu cele din exploatare;
- c) fiabilitatea **operațională** - care se determină pe baza rezultatelor obținute din urmărirea comportării în exploatare într-o anumită perioadă de exploatare a diverselor

sectoare de drum cu structuri similare.

Din punct de vedere al **modalităților de estimare** a fiabilității se deosebesc:

- a) fiabilitate **nominală** - ca fiind cea prescrisă de standarde, norme tehnice etc;
- b) fiabilitatea **estimată** - care se determină, cu un anumit grad de probabilitate, pe baza încercărilor experimentale sau pe baza informațiilor din exploatare obținute prin urmărirea unor sectoare identice.

Pe baza rezultatelor încercărilor sau a datelor din exploatare se obțin o serie de indicatori prin care se apreciază nivelurile de fiabilitate.

În figura 4.1 se prezintă sugestiv modul de depreciere, degradare a fiabilității între etapele (fazele) de cercetare, proiectare și exploatare.

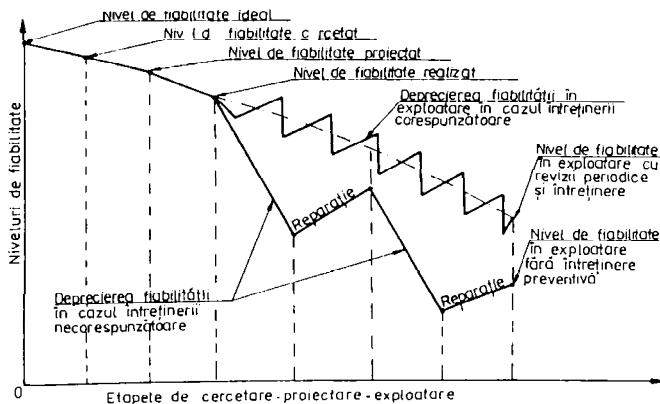


Figura 4.1

4.1.4. Modelarea matematică a fiabilității

Cuantificarea fiabilității se bazează pe **densitatea de probabilitate a defectărilor în timp, $f(t)$** .

Funcția de repartiție, $F(t)$, a evenimentului “defectare” este dată de relația:

$$F(t) = \int_0^t f(\tau) \times d\tau, \quad [-] \quad (4.1)$$

Complementul față de 1 a funcției de probabilitate $F(t)$ reprezintă probabilitatea ca între timpii 0 și t să nu avem nici o defectare și se numește **fiabilitate la timpul t** , notată cu $R(t)$. Între $R(t)$ și $F(t)$ există relația:

$$R(t) = 1 - F(t), \quad [-] \quad (4.2)$$

O altă noțiune importantă în fiabilitate este **rata defectărilor, $\lambda(t)$** .

Expresia $\lambda(t) \times dt$ reprezintă probabilitatea ca pe un drum în stare bună la timpul t , să apară defecțiuni în intervalul de timp $(t, t + dt)$ și exprimă o **densitate de probabilitate** a defectării. Ea este condiționată de defectare, condiția fiind: drum în stare bună la timpul t și cu defecțiuni la timpul $t+dt$.

Se mai notează faptul că ambele funcții $F(t)$ și $\lambda(t)$ reprezintă același eveniment: **defectarea**.

În final, fiabilitatea drumului la timpul t este dată de relația:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) \cdot d\tau}, \quad [-] \quad (4.3)$$

În practică interesează în principal evoluția în timp a ratei defectărilor $\lambda(t)$, în funcție de "îmbătrânirea" drumului, de evoluția traficului etc.

4.1.5. Menținabilitate. Disponibilitate.

În strânsă legătură cu noțiunea de fiabilitate se utilizează frecvent noțiunile de **menținanță, menținabilitate și disponibilitate**.

Menținanță. Este noțiunea care definește activitatea depusă pentru restabilirea capacității de bună funcționare a unei structuri rutiere după ce s-a produs o defecțare.

Menținabilitatea. Este definită prin probabilitatea ca starea de bună funcționare, în urma unor defecțiuni, să fie restabilită într-o perioadă de timp.

Disponibilitatea. Prin disponibilitate se subînțelege ca drumul să fie apt de funcționare după o durată de timp consumată pentru repararea defecțiunii (defecțiunilor) ce s-a (s-au) produs după o anumită perioadă de bună funcționare.

Modalități de creștere a disponibilității.

Utilizatorul pretinde ca drumul să fie disponibil în permanență.

Disponibilitatea se obține prin următoarele mijloace:

- fiabilitate;
- menținanță;
- utilizare corectă;
- înnoire.

Disponibilitatea prin fiabilitate. Această cale de sporire a disponibilității este ușor de înțeles. De exemplu, se știe că este rentabil să se execute lucrări ceva mai costisitoare pentru ca defecțiunile în timpul

exploatării să fie cât mai rare. Dificultatea apare atunci cînd trebuie să se stabilească limita pînă la care se poate merge cu costurile astfel încît lucrarea să fie rentabilă avînd în vedere serviciul pe care trebuie să-l îndeplinească. Dacă de exemplu media anuală a cheltuielilor de întreținere este de circa 10 % din valoarea unei soluții tehnice (clasice) care se aplică atunci este avantajos să se recurgă la soluții care costă inițial cu 10...20 % mai mult. În practică se caută tot timpul un compromis între costul inițial și serviciul propus a se realiza.

Disponibilitatea prin mentenanță rezultă din faptul că fiabilitatea este considerată ca fiind o probabilitate. Fiabilitatea este limitată atît din punct de vedere tehnic cît și financiar. Defecțiunile care apar în exploatare datorită solicitărilor, uzurii, îmbătrînirii materialelor au un caracter normal. Fiabilitatea se restabilește prin mentenanță care poate fi o activitate de reparare a defecțiunilor sau o mentenanță preventivă. Deci mentenanța este o prelungire a fiabilității.

Disponibilitatea prin utilizare corectă. Utilizarea corectă a drumurilor se referă în special la impactul care-l produce asupra acestora traficul greu cu sarcina pe osie care depășește limita admisă. Este evident că o utilizare a drumului în condiții de exploatare care se înscriu în limite de solicitare pentru care drumul a fost proiectat și construit, fiabilitatea acestuia se prelungeste în timp.

Disponibilitatea prin înnoire. Apare la un moment dat situația când, după o perioadă îndelungată de exploatare, datorită uzurii, îmbătrînirii și oboselii materialelor, defecțiunile care apar sunt foarte dese, operațiile de mentenanță sunt foarte importante și uneori foarte costisitoare. În această situație, pentru obținerea disponibilității necesare a drumului, este nevoie de înnoire care în cazul drumurilor se realizează prin ranforsări, reabilitări.

4.2. Structura rutieră - produs tehnic complex și fiabilitatea

Structura rutieră în alcătuirea și funcționarea sa este un produs tehnic complex, un **sistem tehnic** format dintr-o multitudine de **componente** care la rândul lor sunt mai mult sau mai puțin complexe și a căror comportare în timpul funcționării depinde de o serie de factori. Din acest motiv fiabilitatea drumului, care este o funcție de probabilitate, este destul de dificil de aproximat rezultând de aici cerința metodologică de a aborda sistemic problema fiabilității.

Abordarea ca sistem tehnic complex a drumului înseamnă a compara permanent performanțele realizate în conceperea și realizarea sa cu resursele utilizate pentru atingerea acestor performanțe, a efectelor economice a unui grad înalt de fiabilitate cu cheltuielile totale făcute pentru realizarea acestuia. Pe de altă parte tratarea sistemică a complexului rutier înseamnă a se ține seama atât de fiecare componentă a sistemului cât și de conexiunile și interdependențele diverse și multiple dintre acestea. Buna funcționare a

complexului rutier este rezultatul bunei funcționări a tuturor componentelor (subansamblurilor) sale. Mergînd mai departe și aceste componente (subansambluri) se compun din mai multe elemente s.a.m.d. pînă cînd acest proces de descompunere identifică **materialele** care au într-adevăr valoare operațională în gestiunea fiabilității.

4.2.1. Defectarea structurilor rutiere

O structură rutieră bine proiectată, corect construită, judicios exploatată și întreținută nu ar trebui să prezinte defecțiuni majore în exploatare. Dar practica arată că totuși și în condițiile respectării cu rigurozitate a cerințelor de mai sus nu este exclusă apariția defecțiunilor.

Cauzele care provoacă apariția defecțiunilor pot fi datorate proiectării, executării sau exploatării drumului. Sigur că nu orice defecțiune duce la scoaterea din funcțiune a structurii rutiere. De exemplu apariția unor gropi izolate în îmbrăcăminte nu se poate spune că afectează fiabilitatea drumului, pe cînd depășirea unor stări limită în structura rutieră, care duc la cedarea acesteia, fac ca fiabilitatea să fie dependentă de durata de exploatare.

De asemenea, se consideră că la o rată constantă a defecțiunilor, caz care este cel mai des întîlnit în regimul de exploatare a drumurilor, fiabilitatea este independentă, iar la o rată crescătoare a defecțiunilor fiabilitatea este dependentă de durata de exploatare a drumului.

4.2.2. Solicitățile drumului în exploatare

Atunci când se fac aprecieri cu privire la constanța în timp a ratei defecțiunilor (degradărilor) se au în vedere anumite condiții de funcționare, într-un anumit regim de exploatare și anumite condiții de mediu.

Solicitățile la care este supusă o structură rutieră, componentele acesteia, în timpul exploatării se pot grupa astfel:

- solicitări pasive, care includ condițiile de mediu (factorii climaterici) și

- solicitări active, care sunt date de traficul rutier și care sunt considerate ca fiind principala cauză a apariției defecțiunilor, iar prin acțiunea lor repetată duc la "obosirea" materialelor din structura rutieră.

Fiabilitatea studiază în mod deosebit solicitările active datorită importanței acestora asupra comportării în timp a structurilor rutiere.

4.2.3. Culegerea datelor privind fiabilitatea

Informațiile privind fiabilitatea se obțin în principal fie prin urmărirea comportării drumului în **exploatare** fie prin **încercări**.

Fiecare din aceste căi prezintă atât avantaje cât și limitări. În cadrul **urmăririi în exploatare** se consemnează amănunțit toate fenomenele apărute în cursul utilizării. Dar un studiu bazat numai pe aceste informații este un studiu "istoric", valoarea lui constând în culegerea unor date statistice sau la depistarea unor factori care conduc la o slabă siguranță în exploatare, iar la

momentul formulării concluziilor acestea s-ar putea să nu prezinte decît o **importanță istorică**, scopul studiilor de fezabilitate fiind însă găsirea soluțiilor concrete, imediate pentru ridicarea nivelului performanțelor drumului în timpul construcției sau refacere curentă.

Fără a exclude acest procedeu, care prezintă o serie de avantaje, se impune și utilizarea metodei încercărilor. În cursul acestor încercări se caută pe cît posibil să se imite condițiile de exploatare reală atît prin reproducerea solicitărilor active cît și prin cele de mediu.

Încercările necesită amenajarea unor poligoane cu dotări speciale, iar uneori pot dura foarte mult avînd în vedere că structurile rutiere sunt uneori încercate pînă la cedarea lor totală.

În aceste condiții observarea comportării drumului în exploatarea reală reprezintă calea cea mai utilizată în culegerea informațiilor în vederea estimării fiabilității denumită uzual "starea tehnică a drumului".

4.2.4. Sistemul informațional al ciclului de viață a drumurilor

Îmbunătățirea continuă a calității drumurilor nu poate fi concepută fără perfecționarea corespunzătoare, permanentă, a sistemului informațional în acest domeniu.

Necesitatea perfecționării sistemului informațional privind calitatea drumurilor trebuie abordată în contextul general al perfecționării sistemului informațional economico-social și extinsă la întregul ciclu de viață al

drumurilor, ciclu care este format în principal din următoarele trei etape semnificative: proiectarea, execuția (care include și procesele de fabricație a mixturilor asfaltice, betoanelor de ciment rutiere, emulsiilor bituminoase etc.) și exploatarea acestora.

În etapa de **proiectare** perfecționarea sistemului informațional face parte integrantă din sistemul general informațional al unității care execută proiectarea (fie că proiectarea este făcută de un compartiment specializat al unității administrative a drumului, fie este făcută în unități specializate numai în proiectare care trebuie să aibă un sistem general informațional propriu).

În etapa de **execuție și fabricare** a produselor utilizate la realizarea structurilor rutiere, perfecționarea sistemului informațional are o importanță deosebită atât din punctul de vedere al tehnologiilor care se aplică cât și din punct de vedere al soluțiilor tehnice și calității produselor care se înglobează, în special atunci când între data proiectării și data execuției intervalul de timp este relativ mare.

În etapa **exploatării** drumului perfecționarea sistemului informațional al calității exploatării contribuie atât la cunoașterea mai bună a comportării în exploatare a drumului, cât și la reducerea corespunzătoare a cheltuielilor de exploatare.

Necesitatea perfecționării sistemului informațional privind calitatea - implicit fiabilitatea - drumurilor nu constituie un scop în sine, deoarece prin perfecționarea continuă a sistemului informațional se urmărește realizarea unor

cerințe **concrete** specifice fiecărei etape a procesului de îmbunătățire a calității drumului. Dintre aceste cerințe se menționează următoarele: dimensionarea corespunzătoare a sistemului informațional, stabilirea riguroasă a necesarului de informații, sporirea vitezei de circulație a informației, raportul optim dintre valoarea și costul informației.

Dimensionarea corespunzătoare a sistemului informațional constituie o cerință de bază a perfecționării sistemului deoarece o supradimensionare a acestuia necesită personal mult, eventual și un exces de dotare tehnică, ceea ce poate duce la fragmentarea fluxurilor informaționale și la întârzierea furnizării informației. Pe de altă parte o subdimensionare a sistemului informațional înseamnă lipsă de informații.

În consecință, dimensionarea sistemului informațional trebuie realizată în concordanță cu structurile organizatorice optime implicate în domeniul calității.

Stabilirea necesarului de informații necesită în primul rând perfecționarea sistemului de indicatori ai calității- fiabilității și în al doilea rând raționalizarea evidențelor (tehnico- operativă, contabilă și statistică) privind calitatea drumurilor.

Sporirea vitezei de circulație a informației constituie una dintre cele mai importante cerințe în perfecționarea sistemului informațional, deoarece acesta trebuie să furnizeze informațiile necesare luării deciziilor în timp util. O viteză de circulație corespunzătoare a informației înseamnă, de fapt, realizarea unui parcurs complet al informației în intervalul de timp dintre

apariția unui eveniment (care poate fi o defecțiune, o perturbație sau un factor de progres) și luarea unei decizii prin care să elimine sau să se îmbunătățească efectul evenimentului. În acest sens un rol deosebit revine și în acest domeniu tehnicii moderne de calcul.

Raportul optim dintre valoarea și costul informației se referă la eficiența perfecționării sistemului informațional. Creșterea valorii informației atrage în mod firesc și creșterea costului acesteia, însă variația acestor mărimi nu este aceeași. Astfel, din figura 4.1 se observă că pînă la un anumit punct "k", creșterea valorii informației este mai mare decît creșterea costului ei.

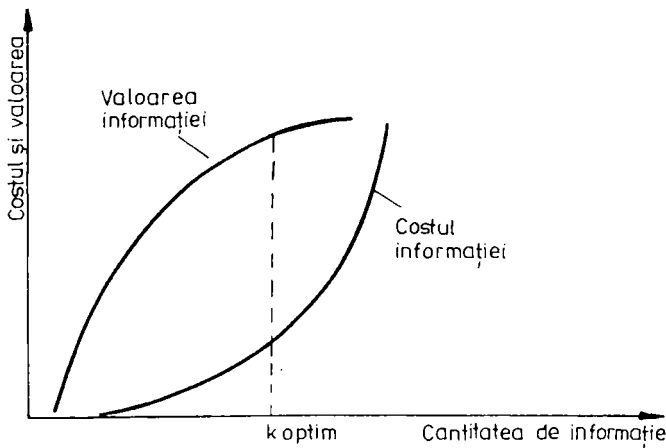


Figura 4.2. Raportul dintre valoarea și costul informației.

După acest punct însă, raportul de creștere a acestor mărimi se inversează.

Punctul "k" din abscisă indică raportul optim (echilibrul) dintre valoarea și costul informației, adică, cantitatea optimă care trebuie prelucrată pentru o apreciere corectă a stării de lucruri și, implicit, luarea corectă a deciziilor.

4.3. Fiabilitatea structurilor rutiere realizate cu mixturi asfaltice.

Conceptii și metode adaptate din teoria fiabilității.

4.3.1. Fiabilitatea straturilor și structurilor rutiere

Așa cum am menționat și în paragrafele anterioare, fiabilitatea "elementelor" și a "structurilor" primește o interpretare particulară proprie în domeniul specific al drumurilor - al construcției, întreținerii, reparării și exploatării acestora - interpretare ce necesită adaptarea și dezvoltarea principiilor și metodelor din teoria generală a fiabilității.

În acest fel structura rutieră poate fi analizată din punct de vedere al comportării acesteia, la nivelul caracteristicilor sale, atât ca sistem unic definit ca un "obiect", cât și ca un ansamblu de elemente (straturi rutiere) componente, "de obiecte" definite fără interdependență între ele în structură.

În scopul analizei structurale sistemul necesită a fi reprezentat atât prin caracteristicile sale funcționale ca sistem, cât și prin caracteristicile particulare ale elementelor sale. În acest fel **straturile rutiere** se constituie în elemente ale sistemului, iar cele **realizate din mixturi asfaltice**, în speță, pot conferi indicii particulare acestuia prin caracteristicile lor funcționale.

La nivelul îmbrăcămintei bituminoase (strat de uzură și strat de legătură) calitățile funcționale ale structurii rutiere sunt evidențiate pe de o parte prin "indicatori de degradare" (făgașe longitudinale, văluriri, rugozitate etc.), iar pe de altă parte, la un nivel superior de analiză, prin "indicatori de calitate

funcționali" [126; 149; 151].

Studiile și cercetările de fiabilitate întreprinse de autor au cuprins evaluarea comportării în exploatare a "stării tehnice dinamice" și a "calităților funcționale dinamice", precum și "analiza indicatorilor de degradare" definiți la nivel intermediar de interpretare.

Având în vedere scopul propus privind **comportarea în timp, sub exploatare, a mixturilor asfaltice** din îmbrăcămințile bituminoase, s-a considerat că influența caracteristicilor de degradare a celorlalte straturi din structura rutieră să fie redusă, adică s-a analizat fiabilitatea îmbrăcămintei bituminoase doar față de producerea degradărilor efective în structura rutieră la acest nivel.

Astfel, înregistrând rezultatele unor investigații proprii ale autorului, precum și ale unor studii organizate în vederea obținerii unor informații necesare proiectării "reabilitării" drumurilor naționale - etapa I -, printre care și DN 69, Timișoara - Arad, a fost posibilă efectuarea unor studii și cercetări privind fiabilitatea drumurilor.

În urma analizei informațiilor selectate am constituit o "populație de obiecte omogene" (privind natura structurii rutiere), având ca unitate de măsură "hectometrul de drum" (hm). Omogenitatea este asigurată prin faptul că plajele valorilor indicatorilor tipului de structură rutieră (mediul geo - climateric, traficul rutier, modul de întreținere și reparații etc.) sunt asemănătoare, iar caracteristicile îmbrăcămintei bituminoase și ale mixturilor

asfaltice sunt conform instrucțiunilor tehnice din perioada execuției acestora (1976...1996).

Experimentul cuprinde DN 69, km 2 + 630 - 47 + 000, prezentat prin datele prelucrate în studiul de caz de la paragraful 4.3.3.

4.3.2. Fiabilitatea empirică și parametrică Weibull aplicată la structurile, respectiv straturile rutiere

Aplicațiile realizate de autor privind analiza fiabilității empirice (experimentale) și parametrice (teoretice) a structurilor rutiere pornesc de la principii și metode generale din teoria fiabilității [11; 58; 118], abordând adoptări specifice pentru sectorul rutier [126; 152; 153; 154].

Studiile și cercetările au fost întreprinse după prevederile STAS 10307-75, SR ISO 9000-1995, SR ISO 8402-1995, privind indicatorii de fiabilitate, conducerea și asigurarea calității, terminologia și urmărirea calității dinamice etc., adoptate și tratate ca atare în sectorul rutier.

În studiile și cercetările referitoare la fiabilitatea teoretică (parametrică) s-a acceptat funcția de repartiție tip Weibull cu trei parametri ($W - 3p$) deoarece aceasta permite asimilarea unei structuri rutiere ca și "obiect", adică o structură asimilată unui element singular cum este cazul experimentului tratat în teză (îmbrăcămintea bituminoasă). Această acceptare se datorează, în principal, datorită următoarelor proprietăți ale funcției Weibull:

- legea de repartiție Weibull permite modelarea fiabilității produselor sau componentelor acestora care suferă **uzură fizică**, așa cum este și cazul structurilor rutiere și a componentelor acestora;

- modelarea matematică asigură reprezentarea perioadei critice de intrare în **etapa degradării**, defecțiunile apărând într-un regim crescător, până la ieșirea din funcțiune;

- parametrii funcției Weibull asigură posibilități convenabile de **reprezentare**, aceștia fiind:

- β este "parametrul de formă", valorile lui fiind

$\beta = 1$ pentru repartiția exponențială,

$\beta = 3$ pentru repartiția normală etc.

- γ - "parametrul de locație" (inițializare sau poziție); în cazul analizelor efectuate începând cu darea în exploatare $\gamma = 0$; se măsoară [în ani];
- η - "parametrul de scală" (sau "scară", sau "viață caracteristică"), care semnifică "vârsta", [în ani], ce poate fi aproximată cu media timpurilor de bună funcționare (MTBF) experimentale și teoretice;

Ecuția "densitate de probabilitate" este:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta - 1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta}; \quad (4.4)$$

"Funcția de probabilitate" sau probabilitatea de supraviețuire, conform

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (4.5)$$

Ceilalți parametri reprezentați în studiul de la paragraful 4.3.3 pot fi calculați față de doar unul dintre aceștia - toate expresiile fiind de fapt proprii aceluiași fenomen modelat.

Estimarea parametrilor repartiției $W - 3p$ s-a efectuat analitic pe baza indicatorilor experimentali utilizați.

Validarea modelului $W - 3p$ s-a efectuat tot analitic, procedură aplicată indicatorilor experimentali și indicatorilor parametrice ai studiilor, aplicând metoda de validare denumită în literatura de specialitate "testul Kolmogorov - Smirnov" care este un "test de distanță" punând în evidență mărimea depărtării dintre funcția de repartiție experimentală și cea teoretică.

Studiile și cercetările au cuprins și evaluarea indicatorilor teoretici privind așa numitul "interval de încredere" (respectiv limitele superioară și inferioară considerate pentru fiecare indicator în parte). Probabilitatea impusă în cazul analizat de către autor este de $P = 1 - \alpha$, valoarea **riscului** $\alpha = 0,10$ fiind considerată normală în studiul de caz.

Menționez că în studiul de caz prezentat în paragraful ce urmează s-a organizat un experiment normal în ceea ce privește înregistrarea apariției degradărilor, nefiind necesare așa numitele "truncheri" sau "cenzurări" care se practică în anumite cazuri pentru simplificarea analizei.

"Obiectele populației" (hectometri de drum) luate în analiză au fost considerate ca "produse nereparabile" în perioada unei "mentenanțe" curente, specifice domeniului rutier.

4.3.3 Studiu de caz privind încercările de fiabilitate asupra îmbrăcăminților bituminoase

În legătură cu acest studiu de caz sunt necesare câteva precizări:

- experimentul se bazează pe studiul stării tehnice dinamice a DN 69, Timișoara - Arad, km 2 + 630 - 47 + 000, în lungime totală de 44,730 km;

- ca indicator al stării tehnice au fost considerate "făgașele longitudinale" la nivelul îmbrăcăminții datorate deformațiilor straturilor de legătură și uzură realizate din mixturi asfaltice de tipul B.A.D.25, respectiv B.A.16; parametrul de "degradare" (făgașe), asimilat în acest caz situației de "defectare", a primit calificativul de calitate "2 - nesatisfăcător", conform Instrucțiunilor tehnice ind. C.D. 155-86;

- populația statistică este reprezentată de "hectometri" (hm) de drum cuprinși în sectoare considerate omogene în ceea ce privește caracteristicile: tipul de structură rutieră, condițiile geo - climaterice, intensitatea și compoziția traficului rutier, modul de întreținere și reparații efectuate asupra drumului; populația "omogenă" nu include sectoare cu structuri care să prezinte degradări la nivelul altor straturi și care să afecteze caracteristica de portanță (P); evoluția valorii indicatorului "făgașe longitudinale" este influențată numai

de calitățile (proprietățile) mixturilor asfaltice în cauză;

- "defectarea" este apreciată rațională față de necesitatea programării "lucrărilor de reparații curente" de tipul "g" - covoare asfaltice cu strat de legătură, cu sau fără strat de bază, conform Instrucțiunilor tehnice ind. C.D. 155-86 și ind. C.D. 175-75;

- investigațiile privind evoluția stării tehnice a drumului (DN 69) au fost finalizate în momentul începerii lucrărilor de reabilitare în perioada 1996...1998.

Pregătirea experimentării s-a efectuat astfel:

- sectorul de drum (DN 69) a fost împărțit în 5 (cinci) tronsoane omogene: km 8 - 10; 11 - 13; 15 - 18; 22 - 23 și 29 - 39,8, rezultând în total 18,8 km;

- obiectele populației sunt constituite din 188 hm drum;

- ca unitate de măsură pentru intervale s-a ales anul.

Prelucrarea s-a efectuat în anul 1998.

Datele care au intrat în **prelucrare** sunt următoarele:

- numărul total de obiecte al populației (NPO) 188;

- numărul de obiecte al eșantionului prelevat (NOE) 31;

- numărul de obiecte defecte la sfârșitul observațiilor (NOR) 31;

- numărul de intervale al experimentului ($I = 1...n$) 5.

Valorile limită ale intervalelor și numărul de defecte pe intervale sunt date în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

Numărul intervalului	Valori limită, în ani		Număr de defecte
	Inferioară	Superioară	
1	6,5	7,5	2
2	7,5	8,5	6
3	8,5	9,5	13
4	9,5	10,5	7
5	10,5	11,5	3

Suma valorilor observațiilor, prin convenție, este de 282 ani.

A. Rezultatele privind “fiabilitatea experimentală” (empirică) sunt prezentate în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2

Număr interval, I	Indicatori punctuali pe intervale:				
	Frecv. relat. a defectelor $f(t)$, [1/int]	Frecv. cumul. a defectelor $F(t)$, [-]	Frecv. cumul. a obiect. în funcțiune $R(t)$, [-]	Rata de defectare $Z(t)$, [1/int]	Densitatea de defectare $\lambda(t)$, [nr./int]
1	0,65	0,06	0,94	0,07	2
2	0,19	0,26	0,74	0,26	6
3	0,42	0,68	0,32	1,30	13
4	0,23	0,90	0,10	2,33	7
5	0,10	1,00	0,00	fără sens	3

A1. Indicatori globali experimentali

În urma prelucrării datelor înregistrate, pentru indicatorii globali experimentali au rezultat următoarele valori:

- timpul final al experimentului ($t_{FIN\ exp}$) 11 ani;
- perioada de observație ($t_{OBS\ exp}$) 11 ani;
- perioada de producere a defectărilor ($dt_{DEF\ exp}$) 5 ani;
- cuantila timpului de funcționare fără defectări (qtf 0 %) 6,5 ani;
- cuantila timpului de funcționare cu 25% defectări (qtf 25%)... 7,5 ani;
- media timpului de funcționare fără defectări (mtf_{exp}) 9,1 ani;

- coeficientul frecvenței medii a defectărilor pe interval

$$(k_{tf_{exp}}) \dots\dots\dots 0,11 \text{ 1/ani};$$

- dispersia timpului de funcționare ($Dt_{f_{exp}}$) 1,6 ani²;

- abaterea medie pătratică a timpului de funcționare ($st_{f_{exp}}$) 1,3 ani;

- coeficientul de variație a timpului de funcționare (cv_{exp}) 0,11.

B. Rezultate privind “fiabilitatea teoretică” (parametrică)

B1. Estimarea parametrilor funcției tip Weibull - 3p:

- rezultatul pentru “parametrul de formă” (β): $\beta = 5,9$;

- rezultatul pentru “parametrul de locație”, “de poziție” sau “de inițiere”

(γ), în cazul studiului început de la darea în circulație: $\gamma = 0$ ani;

- rezultatul pentru “parametrul de scară” sau “viața caracteristică” (η):

$$\eta = 9,37 \text{ ani.}$$

Punînd condiția ca $NOR > 0,6$ NOE aceasta se confirmă ($31 > 19$),

deci rezultatul estimării este **concludent**.

B2. Indicatorii parametrici punctuali, pe intervale.

Rezultatele acestor indicatori sunt prezentate în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3

Nr. crt. al anului (anul)	Densit. de probabilit. a defectării $f(t)$, [1/int]	Funcția de probabilit. a defect. cumul. $F(t)$, [-]	Funcția de probabilit. a funcț. fără def. $R(t)$, [-]	Funcția ratei (intensitatea) de defectare $Z(t)$, [1/int]
1 (6)	0,70	0,07	0,93	0,07
2 (7)	0,13	0,16	0,84	0,15
3 (8)	0,20	0,33	0,67	0,29
4 (9)	0,24	0,55	0,45	0,52
5 (10)	0,20	0,77	0,13	0,87
6 (11)	0,10	0,92	0,08	1,38
7 (12)	0,03	0,99	0,01	2,12

B3. Indicatorii parametrici globali

Valorile indicatorilor parametrici globali sunt următoarele:

- media timpului de bună funcționare fără defecțiuni (MTBF) ... 8,7 ani;
- modul = valoarea timpului de funcționare cea mai probabilă
(MODT) 9,1 ani;
- mediana = valoarea de mijloc a timpului de funcționare
(MEAT) 8,8 ani;
- dispersia timpului de funcționare fără defectare, (D) 3,4 ani²;
- abaterea medie pătratică a timpului de funcționare fără defectare,
(S) 1,84 ani;
- coeficientul de variație a timpului de funcționare fără defectare
(C_v) 0,21.

B4. Validarea modelului teoretic Weibull - 3p estimat

Validarea modelului teoretic “W - 3p” s-a efectuat aplicînd “testul Kolmogorov” obținînd pentru indicatorul specific “λ” valori specifice pe cele cinci intervale, între care $\lambda_{\max} = 0,74$, în condițiile acceptării riscului ca $\alpha = 0,10$. Rezultă că validarea este acceptată.

C. Rezultate privind “fiabilitatea teoretică” cu limite de încredere

C1. Estimarea caracteristicilor studiului de caz

În această variantă s-a propus ca indicatorii fiabilității teoretice să aibă următoarele “limite de încredere”:

- riscul " α " = 0,10;
- probabilitatea "P" = 90 %.

C2. Indicatorii parametrici punctuali, pe intervale, cu limitele de încredere propuse au valorile prezentate în tabelul 4.4.

Tabelul 4.4

Nr. crt. al anului (anul)	f(t)	F(t) sup.	R(t) inf.	Z(t) sup.
1 (6)	0,08	0,14	0,86	0,09
2 (7)	0,14	0,29	0,71	0,20
3 (8)	0,18	0,52	0,48	0,36
4 (9)	0,17	0,76	0,24	0,68
5 (10)	0,09	0,92	0,08	1,14
6 (11)	0,02	0,99	0,01	1,82
7 (12)	0,00	1,00	0,00	2,79

C3. Indicatorii parametrici globali, cu limitele de încredere propuse.

S-a determinat limita inferioară pentru $MTBF_{inf} = 7,3$ ani.

4.3.3.1 Observații privind prelucrarea și interpretarea informațiilor

Din modul de abordare a experimentării și prin rezultatele obținute rezultă următoarele:

- frecvența cumulată a obiectelor în funcționare asigură prelucrarea datelor;
- interpretarea datelor privind rata de defectare experimentală conduce la concluzia că defectarea proeminentă se produce prin "uzura" obiectului.

Fiabilitatea experimentală demonstrează că:

- media timpului de funcționare fără defectări (mtf_{exp}) reprezintă 76 %

din timpul final al experimentului;

- cuantila timpului de funcționare cu 25 % din defectări (reprezentând termenul de garanție pentru cazul de probabilitate ales), are valoarea de 82 % din mtf_{exp} ;

- variația timpului de funcționare (evaluată prin $c_{v\ exp}$) este **foarte bună**.

Aprecieri privind estimarea parametrilor funcției tip W - 3p:

- valoarea parametrului de formă, $\beta > 4$;

- valoarea parametrului de inițializare, $\gamma = 0$, este acceptată;

- valoarea parametrului de scară (valoarea vieții caracteristice) este: $\eta = 103$ % din mtf_{exp} , apreciere care este acceptată;

- testul de validare Kolmogorov privind estimarea ulterioară a tipului de funcție W - 3p este acceptat.

Fiabilitatea teoretică demonstrează că:

- prin funcția ratei parametrice de defectare, defectarea se produce prin “uzura” obiectului;

- media timpului de bună funcționare (MTBF) fără defectare are valoarea de 73 % din timpul final al experimentului;

- variația timpului de funcționare (evaluată prin C_V) este bună;

- valoarea “modulului” - MODT (timpul de funcționare cel mai probabil) este de 104 % față de MTBF;

- valoarea “mediane” - MEAT (valoarea de mijloc a timpilor de funcționare) este de 101 % față de MTBF.

Fiabilitatea teoretică cu “limite de încredere” ne arată că:

- valorile propuse pentru “riscul α ” și “probabilitatea P” pentru studiul de caz sunt cele uzuale;
- limita inferioară pentru MTBF cu limite de încredere reprezintă 84 % din MTBF parametric.

Calificativul general pentru utilitatea prelucrării datelor în studiul de caz abordat este “**foarte bun**”.

4.3.3.2 Concluzii

Studiul de caz prezentat poate constitui o posibilă metodologie prin care se pot studia în viitor tipurile de mixturi asfaltice concepute și realizate în vederea diversificării și îmbunătățirii calității acestora.

Având în vedere acțiunea de “reabilitare” a unor trasee de drumuri naționale (DN) este utilă organizarea urmării în viitor a comportării în exploatare.

Analiza “fiabilității drumurilor” poate asigura un supliment de informații considerând că nu este importantă numai urmărirea ei și prognozarea comportării în exploatare a drumurilor. Teoria fiabilității structurilor rutiere poate contribui la dezvoltarea conceptelor privind proiectarea, realizarea și mentenanța drumurilor, precum și la prognozarea evoluției structurilor rutiere existente aflate în exploatare.

Cap. 5. CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI APLICABILITATEA ACESTORA

Teza de doctorat, prin tematica abordată, prezintă contribuțiile aduse de autor prin studiul agregatelor naturale produse și utilizate cu precădere în Sud - Vestul țării, prin studiul complex al bitumului tip D 80/120 fabricat de Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău, în vederea realizării unor mixturi asfaltice eficiente pentru sectorul rutier, precum și prin studiile, cercetările și încercările întreprinse în vederea aplicării conceptului de fiabilitate în domeniul drumurilor în general și al mixturilor asfaltice în special.

Studiile și cercetările le-am realizat practic în laboratoarele de drumuri ale Direcției Regionale Drumuri și Poduri Timișoara, a Catedrei de Drumuri și Fundații din cadrul Facultății de Construcții Timișoara, unde mi-am desfășurat activitatea peste 19 ani, dintre care peste 10 ani numai în laborator, în colaborare cu prestigioase Instituții de Cercetări din țară, în principal cu INCERTRANS și CESTRIN București, iar în ultimii ani în cadrul Societății de Construcții ALBIX Timișoara.

În ceea ce privește **agregatele naturale** am studiat și realizat un număr mare de determinări de laborator pe o gamă largă de agregate provenite din roci de naturi diferite, acide, neutre și bazice care au vizat în special criblurile produse de carierele Brănișca, Zam, Vîrfurile, Romanița și Tălagiu din județul Arad, Crușovița și Maidan - Brădișorul de Jos din județul Caraș -

Severin, Meri și Porceni din județul Gorj, Zlaști din județul Hunedoara și Șanovița din județul Timiș.

Am efectuat un volum mare de încercări pentru determinarea rezistenței la uzură a agregatelor naturale cu aparatul Los Angeles, stabilind în funcție de această caracteristică posibilitatea utilizării diferențiate a criblurilor din diferite cariere.

O altă caracteristică importantă a fost determinarea adezivității bitum - agregat natural prin metodele clasice cunoscute, precum și prin metoda cantitativă cu spectofotometrul, indicînd, în funcție de necesități, orientarea utilizatorilor spre oportunitatea aditivării biturilor pentru ameliorarea acestui parametru.

De asemenea, pentru verificarea încadrării sorturilor de agregate naturale în limitele prescrise de normativele tehnice în vigoare, am efectuat neconținut multiple determinări privind granulozitatea agregatelor, forma granulelor, starea lor de curățenie.

Sintetizînd se poate spune că pentru lucrările de drumuri și în mod special pentru fabricarea mixturilor asfaltice și executarea tratamentelor bituminoase, agregatele naturale (criblurile) utilizate trebuie să îndeplinească, în principal, următoarele condiții de calitate:

- să fie foarte curate;
- să provină din roci dure;
- să fie rezistente la uzură;

- să aibă o formă poliedrică, apropiată de cub;
- să fie colțuroase, cu muchii vii.

Ca urmare a studiilor și cercetărilor efectuate asupra agregatelor naturale privind caracteristicile de calitate a acestora se fac următoarele mențiuni:

- agregatele naturale care conțin argilă, praf, substanțe humice, utilizate la fabricarea mixturilor asfaltice, la executarea tratamentelor bituminoase, compromit sigur lucrările; se împiedică anrobarea totală a granulelor, adezivitatea liant (bitum) agregat este compromisă iar în contact cu apa se produce umflarea amestecului favorizând dezanrobarea. Utilizarea agregatelor murdare în special la producerea mixturilor asfaltice pentru stratul de uzură creează prejudicii grave calității;

- duritatea rocilor influențează rezistența la sfărîmarea agregatelor naturale, rezistența la uzură a îmbrăcăminților bituminoase sub forțele tangențiale date de traficul rutier;

- rezistența la uzură este o caracteristică foarte importantă pentru agregatele naturale, în special pentru cele care intră în componența straturilor bituminoase de suprafață; această caracteristică depinde atât de duritatea rocii de proveniență, cât și de dimensiunile și forma granulelor;

- agregatele naturale sub formă aplatizată sau aciculară nu se pot compacta corespunzător iar sub trafic se sparg, se rup favorizând dezanrobarea și pătrunderea apei în straturile rutiere reducînd rezistența la oboseală;

- efectul colțurozității agregatelor naturale se manifestă prin mărirea unghiului de frecare interioară a scheletului mineral; pe de altă parte trebuie reținut că un schelet mineral puternic cu frecare interioară mare conferă stratului rutier rezistență mare la forfecare, o mare stabilitate în exploatare îndeosebi la temperaturi ridicate ale atmosferei, evitînd formarea făgașelor și a vălurilor.

Din analizele și încercările de laborator efectuate am constatat că din 11 cariere luate în studiu, practic numai trei cariere (Brănișca, Zam și Șanovița) livrează cribluri care îndeplinesc integral condițiile de calitate impuse acestora pentru fabricarea mixturilor asfaltice.

Principalele deficiențe ale criblurilor de la celelalte cariere sunt legate în special de rezistența slabă la uzură, de granulozitatea necorespunzătoare, iar uneori și de o stare de curățenie precară.

Astfel, carierele Tălagiu, Romanița și Vîrfurile, deși dispun de roci de tipul andezit cu piroxeni, rezultatele au fost sub așteptări datorită faptului că se exploatează și roci alterate care provin din fronturi de lucru cu un grad mare de alterare.

Criblurile de la Maidan și Crușovița prezintă rezistențe mici la uzură (provin din roci cu grad mare de alterare) și nu corespund nici din punct de vedere al granulozității.

Criblurile de la Zlaști provin dintr-un calcar dolomitic, dar nu corespund din punct de vedere al rezistenței la uzură avînd coeficientul Los Angeles

cuprins între 24,0 și 31,0 % față de maxim 20...22 % recomandat de standard, în funcție de clasa de trafic a drumului.

Carierele de la Meri și Porceni care exploatează roci acide de tipul granit cu hornblendă și biotit arată că pentru a putea folosi criblurile produse de aceste cariere este necesar să se selecționeze cu mare atenție numai fronturile de lucru cu roci nealterate, astfel încât rezistența la uzură a acestora să se înscrie în parametri tehnici impuși.

În vederea ameliorării calității agregatelor naturale autorul tezei s-a preocupat de introducerea în practica curentă a unor noi metode și tehnici de lucru, rapide și eficiente.

Astfel, începând cu anul 1994, am introdus în practica uzuală metoda de laborator privind determinarea valorii albastrului de metilen și mașina mobilă pentru recieriurirea agregatelor naturale la punctele de lucru.

Metoda albastrului de metilen permite evidențierea substanțelor argiloase din fracțiunea sub 0,09 mm, care au aderat pe suprafața granulelor de nisip de râu, de concasaj, criblură, filer de calcar sau filer de cretă măcinată.

Menționez că din anul 1997 această încercare a fost introdusă și în standardul românesc.

Mașina mobilă pentru resortarea agregatelor naturale a fost realizată de autorul tezei împreună cu colectivul Firmei ALBIX Timișoara.

Cu aceasta se pot sorta rapid diverse cribluri pentru a obține de exemplu sortul 0 - 11 necesar pentru realizarea unor straturi bituminoase foarte subțiri la rece, sau sortul 0 - 5 solicitat de unii beneficiari.

Studiile și cercetările pe care le-am efectuat pentru cunoașterea și stăpînirea caracteristicilor calitative a **biturilor rutiere** au fost orientate spre bitumul tip D 80/120 produs de Rafinăria PETROLSUB Suplacu de Barcău comparativ cu biturile neparafinoase fabricate în țară de Rafinăriile ASTRA și VEGA Ploiești.

Am evidențiat în cercetările de laborator caracteristicile bitumului privind compoziția lui, compoziția de grupă ajungînd la următoarele concluzii:

- toate biturile românești sunt constituite din aceleași elemente;
- compoziția pe grupe de componenți este asemănătoare;
- analiza röntgenostructurală caracterizează structura asfaltelor ca fiind amorfă pentru toate biturile;
- biturile neparafinoase de la cele trei rafinării prezintă stări structurale tip gel.

Am evidențiat că bitumul de la PETROLSUB este de consistență mai ridicată, are un conținut de parafină foarte mic, variind între 0,15 și 0,75 %, comparativ cu 1...2 % cît au celelalte bitumuri.

O mare atenție am acordat studiului și cercetării fenomenului de îmbătrînire a bitumului. Cercetările întreprinse în România, inclusiv ale

autorului, au condus la concluzia că îmbătrânirea produce treptat transformarea biturilor, care se evidențiază prin:

- modificări de compoziție prin creșterea conținutului de asfaltene, pe seama scăderii compuşilor mai ușori din uleiuri și rășini;
- modificarea stării de structură prin creșterea volumului miculelor, modificând structura rețelei coloidale și astfel biturile trec într-o structură mai apropiată de gel;
- biturile devin mai rigide și deci mai puțin deformabile;
- efectele cele mai pronunțate asupra îmbătrânirii bitumului o exercită căldura și ele devin periculoase atunci când încălzirea acestuia este excesivă (cum este cazul supraîncălzirii bitumului și a agregatelor naturale în timpul fabricării mixturilor asfaltice).

Un mare volum de studii și încercări am consacrat celei mai importante caracteristici a bitumului rutier: adezivitatea acestuia față de agregatele naturale.

Am trecut în revistă cele mai cunoscute teorii privind fenomenul adezivității și am analizat critic metodele de determinare a acestuia.

Am efectuat un număr important de încercări de laborator pentru determinarea adezivității bitum - agregat în special pe agregatele studiate în teză punând în evidență scăderea considerabilă a adezivității bitumului pe agregatele naturale murdare, nespălate, acoperite cu praf.

De asemenea am scos în evidență modalitatea de creștere a adezivității bitumului prin aditivare, efectuând cercetări, într-o primă fază, cu aditivul NFDA (nonilfenoldiamină) produs de Întreprinderea de Detergenți Timișoara (actuala Societate Comercială ROMTENSID), determinând efectul acestuia asupra îmbunătățirii adezivității și stabilind procentul optim de aditiv.

O altă parte a studiului a fost dedicat modificării bitumului rutier prin adaos de polimeri, punând în evidență procesul tehnologic de preparare a bitumului modificat, îmbunătățirea unor proprietăți ale acestuia în comparație cu bitumul nemodificat, precum și domeniile în care se recomandă a fi utilizat.

În scopul ameliorării activității de studiu și încercări pentru determinarea unor caracteristici ale biturilor m-am preocupat pentru modernizarea aparturii de laborator. Am realizat astfel, împreună cu un colectiv al Catedrei de Drumuri și Fundații, două invenții: "aparatură electronică pentru determinarea penetrației biturilor", brevetat cu **Brevetul de Invenție** nr. 87504 din 1995 și "aparatură electronică pentru determinarea punctului de înmuiere al biturilor" brevetat cu **Brevetul de Invenție** nr. 88352 din 1995. Pentru aceste realizări autorul a primit CertIFICATELE DE INVENTATOR.

Teza prezintă în detaliu avantajele utilizării acestor aparate comparativ cu cele manuale.

Autorul tratează în teza de doctorat, prin studii și încercări de laborator și apoi pe sectoarele experimentale realizate, problemele complexe generate de

calitatea bitumului rutier de la PETROLSUB utilizat la proiectarea și realizarea unor tipuri de **mixturi asfaltice** fiabile.

Am realizat mixturi asfaltice de tipul B.A.16 și B.A.D.25 cu diverse procente de bitum, mai mici decât cele prevăzute de normativele tehnice în vigoare la data respectivă, pe care le-am încercat în condiții de laborator și pe diverse sectoare experimentale.

Din analiza rezultatelor obținute pentru caracteristicile fizico - mecanice determinate pe carote prelevate de pe sectoarele experimentale, pentru mixturile de tip B.A.16 realizate cu un conținut de bitum pur D 80/100 de 5,7 respectiv 6,0 %, rezultă că acestea sunt foarte bune, corespunzătoare normativelor tehnice în vigoare la data execuției.

Comparând rezultatele și cu cele obținute în diferite țări pe mixturi asfaltice similare se confirmă reușita experimentării și cercetării.

Autorul subliniază că punerea în operă a acestor mixturi trebuie să se facă cu respectarea tuturor prevederilor normelor tehnologice, asigurând o compactare foarte energetică astfel încât să se obțină un grad de compactare ridicat (97...98 %).

Pentru punerea în evidență a comportării reologice a mixturilor asfaltice am determinat, prin calcul, modulii de rigiditate a mixturilor asfaltice de tip B.A.16 cu 7,0 și 6,0 % bitum, precum și pentru B.A.D.25 cu 3,9 % bitum.

Analizând rezultatele cercetării întreprinse se pot rezuma următoarele concluzii:

- modulii de rigiditate a mixturilor asfaltice cresc odată cu creșterea temperaturii și cu creșterea vitezei de încărcare, evidențiind o comportare bună a betonului asfaltic realizat cu 6,0 % bitum față de proba etalon cu 7,0 % bitum;

- ei variază în funcție de modulul de rigiditate al bitumului pe care îl conțin;

- un alt parametru important în variația modurilor de rigiditate este volumul de goluri al mixturilor asfaltice; odată cu micșorarea volumului de goluri se obțin valori maxime ale modurilor de rigiditate;

- consecința ce derivă în mod firesc din valoarea acestui parametru se traduce în practică prin realizarea unei compactări cât mai eficiente pentru a reduce cât mai mult volumul de goluri.

Un alt fenomen studiat și cercetat de autor în teza de doctorat a fost comportarea la oboseală a mixturilor asfaltice.

După studiul teoretic al fenomenului de oboseală am efectuat încercări practice pe corpuri de probă realizate din mixturile de tipul B.A.16 cu 7,0 % bitum (considerate etalon), B.A.16 cu 6,0 % bitum B.A.D.25 cu 3,9 % bitum.

Încercarea s-a efectuat la deformație constantă, rezultatele ei ducând la următoarele concluzii:

- la încercarea mixturilor asfaltice tip B.A.16 se constată că numărul de cicluri de încărcare care au dus la distrugerea epruvetelor scade odată cu reducerea conținutului de bitum din mixtură; această scădere este mai

accentuată dacă deformația impusă este mai mică și mai puțin accentuată dacă deformația impusă este mai mare (de ex. la o creștere a deformației impuse cu 53,6 % numărul de cicluri de încărcare scade numai cu 15,2 %);

- în cazul mixturii asfaltice tip B.A.D.25 numărul de cicluri de solicitare pînă la rupere este de 4...5 ori mai mic;
- cercetările efectuate au evidențiat prin studiile făcute la oboseală comportarea bună a acestor tipuri de mixturi asfaltice tip B.A.16 realizate cu bitum pur D 80/120 de la PETROLSUB - Suplacu de Barcău, confirmînd astfel valoarea cercetărilor.

În vederea cercetării influenței bitumului aditivat cu NFDA asupra evoluției caracteristicilor fizico - mecanice ale mixturilor asfaltice, pornind de la constatarea în laborator a faptului că acest produs determină o creștere a adezivității bitumului de la PETROLSUB pe roci de natură acidă, de la 60...63 la 80...90 %, am executat un sector experimental pe DN 79A cu o mixtură asfaltică de tip B.A.16 cu un dozaj de aditiv de 1 % raportat la conținutul de bitum.

Rezultatele obținute pe baza analizelor de laborator și a observațiilor efectuate în timpul exploatării au permis formularea următoarelor concluzii:

- caracteristicile fizico - mecanice ale mixturii asfaltice preparate cu bitum aditivat atestă o ușoară îmbunătățire față de cele ale mixturii cu bitum neaditivat, în special după un an de la darea în exploatare;
- sectorul prezintă o suprafață uniformă fără denivelări și fisuri;

- adezivitatea bitum - agregat este substanțial îmbunătățită prin aditivare și deci se confirmă faptul că se pot utiliza agregate de natură acidă la prepararea mixturilor asfaltice.

Din studiul efectuat de autor pe mixturile realizate cu bitum D 80/120 de la PETROLSUB aditivat cu produsul ITERLENE (import Italia) în proporție de 1 % din bitum, rezultă că adezivitatea bitum - agregat crește de la 76 % la 85...90 %.

Este interesant de remarcat cât de apropiate sunt dozajele și caracteristicile mixturii asfaltice realizate pe DN 7 în 1995...1996 (tabelul 3.13) față de cele experimentate de autor pe DN 66 km 167 + 000 - 168 + 000 (tabelele 3.3 și 3.4).

Din examinarea rezultatelor din tabel se constată că aditivarea contribuie doar la creșterea adezivității, celelalte caracteristici ale mixturilor asfaltice rămânând la aceleași valori ca și în cazul bitumului neaditivat.

În vederea dezvoltării cadrului informațional care să dea posibilitatea proiectării și fabricării unor mixturi asfaltice care să confere straturilor rutiere, îmbrăcămișilor bituminoase care se realizează din acestea, o comportare cât mai bună pe toată durata lor de exploatare, să fie deci fiabile, autorul tezei de doctorat a întreprins importante studii și cercetări în vederea aplicării **conceptului de fiabilitate** în domeniul drumurilor, într-un anumit segment al sistemului rutier.

Prin studiile și cercetările efectuate, inclusiv prin studiul de caz prezentat în teza de doctorat autorul precizează următoarele:

- fiabilitatea drumurilor constituie o componentă a calității acestora; autorul dezvoltă în teză terminologia tehnică specifică domeniului rutier;
- studiile și cercetările întreprinse de autor au condus la dezvoltarea definițiilor în domeniul calității construcțiilor impusă prin legislație, formulând propuneri privind particularizarea acestora pentru construcții de drumuri;
- efectuarea urmăririi în exploatare a construcțiilor se impune a fi realizată în mod specific sectorului rutier, atât organizatoric cât și tehnic; sunt precizate unele obligații și răspunderi ale factorilor implicați;
- studiile și cercetările prezentate constituie o bună analiză pentru modelarea fiabilității elementelor (straturilor rutiere) și fiabilității sistemelor (structurilor rutiere) în domeniul construcțiilor de drumuri;
- în teză se prezintă rezultatele aplicației realizate privind fiabilitatea experimentală (empirică) și fiabilitatea parametrică (teoretică) a straturilor unei îmbrăcăminți bituminoase executată din mixturi asfaltice; aceste rezultate oferă posibilități concludente de implementare a metodei propuse de autor, inclusiv prin concluziile tehnice formulate în activitatea de analiză fiabilistă a lucrărilor rutiere;
- metodologia propusă de autor pentru modelarea fiabilității teoretice parametrică privind repartiția de tip Weibull cu trei parametri, având în vedere acuratețea modelării uzurii fizice a structurilor și straturilor rutiere,

demonstrează utilitatea și posibilitatea de utilizare a acesteia; se demonstrează de asemenea estimarea modelelor prin testul de validare Kolmogorov;

- autorul propune implementarea generalizată a procedurii de analiză a fiabilității mixturilor asfaltice realizate în prezent în cadrul rețelei de drumuri publice, organizând observații pe termen lung, precum și asupra altor tipuri de defecțiuni ale mixturilor asfaltice;

- modelarea fiabilității în cadrul studiului de caz prezentat referitor la îmbrămințile bituminoase, a condus la rezultate foarte bune privind aproximările pentru media timpului de funcționare experimental, pentru media timpului de funcționare teoretic, pentru modul teoretic și media teoretică, pentru viața caracteristică, avînd în vedere defecțiunea (indicatorul "făgașe longitudinale") considerată în studiul de caz;

- studiul de caz demonstrează justetea constituirii "populației de obiecte" (hm în cadrul tronsoanelor de drum observate) ținînd seamă de valoarea foarte bună a coeficienților de variație.

Autorul consideră că este utilă dezvoltarea în continuare a studiilor și cercetărilor pentru investigarea principiilor și metodelor abordate în teoria fiabilității drumurilor.

De asemenea consider utilă extinderea în viitor a încercărilor de fiabilitate rutieră pentru exploatarea rezultatelor existente, atît în ceea ce privește comportarea în timp a lucrărilor executate cît și privitor la planificarea rațională a mentenanței lucrărilor.

BIBLIOGRAFIE

1. ALEXA I., SZITAR Rodica, *PAȘCA I. Unele considerații asupra fenomenului transmiterii fisurilor din straturile stabilizate cu lianți hidraulici în îmbrăcămințile bituminoase, la structurile rutiere mixte.* În A 8-a “Conferință națională de drumuri și poduri”, Vol. Drumul și eficiența, Cluj-Napoca, 5 - 6 iunie 1990.
2. ALEXA I., SZITAR Rodica, *PAȘCA I. Îmbunătățirea calității nisipului bituminos utilizat la producerea mixturilor asfaltice.* În A 8-a “Conferință națională de drumuri și poduri”, Vol. Drumul și eficiența, Cluj-Napoca, 5 - 6 iunie 1990.
3. ALEXA I. *Execuția tratamentelor bituminoase la rece cu emulsie bituminoasă cationică EBMCR, cu bitum modificat cu polimeri.* În “Zilele Academice Timișene”, Vol. I, Timișoara, 22...24 mai 1997.
4. ALEXA I., BILȚIU Aurica. *Emulsii bituminoase.* Editura Mirton, Timișoara, 1998.
5. ALLIMANI M. *Contribution à l'étude de l'endommagement par fatigue des enrobés bitumineux.* Rapport de recherche. În “Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées”, nr. 151, juin 1988.

6. ANDREI R. Metode statistice aplicate la drumuri. Editura Tehnică, București, 1983.
7. ANGHELUȚĂ C., ALEXANDRESCU S. Uzura Los Angeles, caracteristică esențială privind calitatea agregatelor naturale utilizate la lucrările de drumuri. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. I, Iași, 15...18 septembrie 1998.
8. ARAD V., BOGDAN I. Determinarea caracteristicilor geomecanice ale rocilor tari utilizate la infrastructura căilor de comunicații terestre. În “Zilele Academice Timișene”, Vol. II, Timișoara, 22...24 mai 1997.
9. ASSI M. Une méthode d'étude du comportement des enrobés bitumineux à la fatigue en cission. Rapport de recherche. În “Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées”, nr. 118, janvier 1983.
10. AUSSEDAT G., AZIBERT CH., MONNIOT M. F. Méthode pratique pour le dimensionnement des chaussées la fatigue. În “Revue générale des routes et des aérodromes”, nr. 495, fevr. 1974.
11. BARON T. ș.a. Calitate și Fiabilitate. Vol. I. Editura tehnică, București, 1988.
12. BEICA Vasilica, UNGUR Aurelia. Analiza cantitativă și calitativă a bitumului modificat, cu ajutorul spectrometrului FT - IR. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. II, Iași, 15...18 septembrie 1998.

13. BENSE P., MALGRAS P. Les techniques et moyens de SCREG pour rehabiliter les routes roumaines. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. II, Iași, 15...18 septembrie 1998.
14. BEURAN Marieta, ILIESCU, M. Unele aspecte privind calculul de oboseală a structurilor rutiere nerigide. În A 8-a “Conferință națională de drumuri și poduri”, Vol. Drumul și eficiența, Cluj-Napoca, 5 - 6 iunie 1990.
15. DI BENEDETTO H., YAN X., CHAVEROT P. Caractéristiques mécaniques des enrobés et au bitume polymère (Styrelf 13). În “Bulletin de liaison”, nr. 187, Paris, oct. - nov. 1993.
16. BILȚIU Aurica. Adezivitatea lianților hidrocarbonați. În “MID Drumuri-Poduri”, București, 1973.
17. BILȚIU Aurica. Metode moderne de control a calității lucrărilor de drumuri. Referat de doctorat. Institutul Politehnic “Traian Vuia” Timișoara, 1979.
18. BILȚIU Aurica, PAȘCA I. Aparatură de laborator introdusă în producție ca urmare a colaborării între Direcția Drumuri și Poduri Timișoara și Institutul Politehnic “Traian Vuia” Timișoara. Sesiunea “40 de ani de învățământ superior de construcții la Iași”. Institutul Politehnic Iași, oct. 1981

19. BILȚIU Aurica. Studii privind metodele de încercare a emulsiilor bituminoase cationice. În Simpozionul “Soluții eficiente în construcția și întreținerea drumurilor, podurilor și căilor ferate”, Cluj-Napoca, 2 - 3 octombrie 1987.
20. BILȚIU Aurica. Determinarea rezistenței la degradare a mixturilor asfaltice cu aparatul Los Angeles. În Simpozionul “Soluții eficiente în construcția și întreținerea drumurilor, podurilor și căilor ferate”, Cluj-Napoca, 2 - 3 octombrie 1987.
21. BONNAURE F. A., HUIBERS A. Étude en laboratoire de l'influence des temps repos sur caractéristique de fatigue. KSLA. În “Revue générale des routes et des aérodromes”, nr. 595, 1983.
22. BONNOT J., CHANTEREAU J. C. Dimensionnement des chaussées. PENPC, Paris, 1984.
23. BOTA O., PANȚEL E., ILIESCU M., CHIRA Carmen, OLTEANU Carmen, HODA G. Dimensionarea sistemelor rutiere suple și semirigide. În “Revista Drumuri și poduri”, nr. 37, București, 1997.
24. BLOT G. Méthode de mesure de l'état de surface d'une chaussée. Présentation, applications et développements éventuels. În “Bulletin de liaison”, nr. 124, Paris, mars - avril 1983.
25. BOUSSAD N., CORNET E., LAFON J. F., LOMBARDI B. Expérimentation de la gravebitume a froid Émultech sur la RD a Saint-Gaudens. În “Routes”, nr. 757, Paris, dec. 1997.

26. LE BOUTEILLER E. Lémulsion de bitume, une technique mondiale. În “Routes”, nr. 754, Paris, sept. 1997
27. BRILLET F. Propriétés antiderapantes des revêtements routiers. bilan de quatorze années de campagnes nationales de glissance. În “Bulletin de liaison”, nr. 134, Paris, nov. - dec. 1984.
28. BRILLET F., MARSAC P. Mesure de la macrotexture des chaussées. În “Bulletin de liaison”, nr. 140, Paris, nov. - dec. 1985.
29. BRULE B. Les bitumes-polymères, notion de base. În “Revue générale des routes et des aérodromes”, nr. 711, Paris, 1993.
30. BURNEI G. Contribuții la introducerea și dezvoltarea tehnologiei de ranforsare a structurilor rutiere existente cu îmbrăcămînți din beton de ciment. Teză de doctorat. I.P. ”T.V.” Timișoara, 1990.
31. BUSCHMANN J., FREUND V., NIEPEL V., RUTTGERS G., TAEUBNER K. Bitumenemulsion. Frankfurt am Main, 1983.
32. BUZDUGAN G. ș.a. Probleme actuale ale calculului la oboseală în rezistența materialelor. Sintează documentară CNST, București, 1979.
33. CHAMPION M. Un nouveau banc d’essai des gravilloneuses a la SEMR de Blois. În “Bulletin de liaison”, nr. 136, Paris, mars - avril 1985.
34. CHEVRIER J. P. Interet et limites des methodes de mesures nucleaires en construction routiere. În “Bulletin de liaison”, nr. 140, Paris, nov. - dec. 1985.

35. CIOCAN Georgiana. Studiul comportării biturilor în legătură cu diverse tipuri de agregate naturale. Universitatea “Politehnica” Timișoara, Referat, 1998.
36. COSTESCU I. ș.a. Considerații asupra comportării în exploatare a unor îmbrăcăminti bituminoase executate cu agregate locale. În “Comportarea în situ a construcțiilor”, Vol. V, Piatra Neamț, 1984.
37. COSTESCU I., STELEA Ileana, BANCEA C., PAȘCA I. Tehnologii energo-neintensive de mare eficiență pentru construcția și întreținerea drumurilor. Al V-lea Simpozion privind metode eficiente de construcție și întreținere a drumurilor, podurilor și căilor ferate. Fetești, 1985.
38. COSTESCU I. Contribuții la dezvoltarea tehnologiei de construcție a straturilor rutiere cu materiale energo-neintensive. Teză de doctorat. I.P. ”T.V.” Timișoara, 1985.
39. COSTESCU I. Comportarea în exploatare a structurilor rutiere din mixturi la rece. În “Zilele Academice Timișene”, Timișoara, 25...27 mai 1995.
40. COSTESCU I., NANU P. Tehnologii noi aplicate pentru întreținerea drumurilor folosind materiale locale din zona Orșova. În A 8-a “Conferință națională de drumuri și poduri”, Vol. Drumul și eficiența, Cluj-Napoca, 5 - 6 iunie 1990.

41. COSTESCU I., BELC F. Preocupări pentru valorificarea materialelor locale și subproduselor industriale în construcția și întreținerea drumurilor. În A 8-a “Conferință națională de drumuri și poduri”, Vol. Drumul și eficiența, Cluj-Napoca, 5 - 6 iunie 1990.
42. COSTESCU I., BELC F., BANCEA C. Încercări periodice pentru determinarea calității unor agregate naturale. În “Zilele Academice Timișene”, Vol. I, Timișoara, 22...24 mai 1997.
43. COSTESCU I. Contribuții la dezvoltarea tehnologiilor de construcție a sistemelor rutiere cu materiale energo-neintensive. Teză de doctorat. Institutul Politehnic “Traian Vuia” Timișoara, 1979.
44. COSTESCU I., BELC F., RAMIS M. Investigarea stării tehnice a unor drumuri din Banat. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. I, Iași, 15...18 septembrie 1998.
45. COTUNA A. ș.a. Studii documentare privind tipurile de aditivi și de polimeri care se utilizează pentru îmbunătățirea performanțelor biturilor din punct de vedere al adezivității, elasticității și rezistenței la îmbătrânire. Timișoara, 1993.
46. DINU M. O metodă de apreciere a capacității portante reziduale în sisteme rutiere compozite, utilizând măsurători DYNATEST. În “Zilele Academice Timișene”, Vol. II, Timișoara, 22...24 mai 1997.

47. DOAN T. H. Les études de fatigue des anrobés bitumineux. În “Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées”, Special V, dec. 1977.
48. DOROBANȚU S., JERCAN S. Piste de încercări auto pentru viteze mari. În A V-a “Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri”, Vol. I, Timișoara, 1978.
49. DOROBANȚU S. Posibilități de refolosire a mixturilor asfaltice uzate și îmbătrânite. În A V-a “Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri”, Vol. I, Timișoara, 1978.
50. DOROBANȚU S., JERCAN S. ș.a. Drumuri. Calcul și proiectare. Editura Tehnică, București, 1980.
51. DOROBANȚU S. Proiectare, cercetare, construcție drumuri și autostrăzi. În A 8-a “Conferință națională de drumuri și poduri”, Vol. Drumul și eficiența, Cluj-Napoca, 5 - 6 iunie 1990.
52. DOROBANȚU S. Unele aspecte actuale de tehnică rutieră. În A 8-a “Conferință națională de drumuri și poduri”, Vol. Drumul și eficiența, Cluj-Napoca, 5 - 6 iunie 1990.
53. DUCA Liliana. Caracterizarea bitumurilor rutiere pe baza distilării simulate prin cromatografie în bază gazoasă. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. I, Iași, 15...18 septembrie 1998.

54. FIERBINȚEANU M., ALEXA I., DIMA Tatiana, ACHIMESCU Olga. Tehnologie de întreținere și reparare a drumurilor cu straturi subțiri la rece cu emulsie pe bază de bitum modificat cu polimeri. În “Zilele Academice Timișene”, Vol. I, Timișoara, 25...27 mai 1995.
55. FODOR Georgeta, GIUȘCĂ Gabriela. Transmiterea fisurilor în îmbrăcăminți rutiere. În “Revista Drumuri Poduri”, nr. 37, București, 1997.
56. FODOR Georgeta. Metoda de dimensionare la oboseală a sistemelor rutiere nerigide. În “Revista transporturilor și telecomunicațiilor”, nr. 1, 1981.
57. FRANKEN A., VERSTRAETEN J., VEVERKA V. Structural design methods developed in Belgium. În “Sixth international Conference on the structural Design of Asphalt Pavements”. Ann Arbor, 1987.
58. GHEORGHIU Al. ș.a. Măsurarea, analiza și optimizarea calității produselor. Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1982.
59. GIUȘCĂ Gabriela, FODOR Georgeta. Metodologii moderne pentru caracterizarea comportării în exploatare a mixturilor asfaltice. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. II, Iași, 15...18 septembrie 1998.
60. GIUȘCĂ Gabriela, DASCĂLU M. Studiu calității bitumului modificat utilizând spectroscopia în infraroșu. “Îmbrăcăminți rutiere moderne”- Seminar, Cluj-Napoca, aprilie 1995.

61. GIUȘCĂ Gabriela, OPREA C. Aspecte noi privind îmbunătățirea calității bitumului rutier. În A 8-a “Conferință națională de drumuri și poduri”, Vol. Drumul și eficiența, Cluj-Napoca, 5 - 6 iunie 1990.
62. GOANȚĂ I., GROZAV A. ș.a. Studiul variabilității compoziției maselor asfaltice provenite de la Rafinăria “PETROLSUB” Suplacu de Barcău. În “Zilele Academice Timișene”, Vol. I, Timișoara, 25...27 mai 1995.
63. GREEN A. E., BOURNE A. J. Reliability Technology. New York, 1972.
64. GROZ P. C. Bitumes modifiés et enrobes mince. În “Revue générale des routes et des aérodromes”, nr. 711, Paris, 1993.
65. GUERIN G. Le dosage en gravillons des enduits superficiels. În “Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées”, nr. 136, mars - avril 1985.
66. GUGIUMAN Gh., TEODORESCU M. Utilizarea bitumului aditivat la prepararea mixturilor asfaltice. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. II, Iași, 15...18 septembrie 1998.
67. HAIDA V., VOICU Cristina, BOGDAN I., BOLDUREAN P. I., MIHU P. Considerații asupra condițiilor tehnico-geologice și geotehnice specifice Cîmpiei Banatului. În “Zilele Academice Timișene”, Vol. I, Timișoara, 22...24 mai 1997.

68. HĂRĂȚĂU S., FODOR Georgeta, CĂPITANU Camelia, CIOCA S. Propunere pentru o nouă metodă de dimensionare a straturilor bituminoase de ranforsare a drumurilor. În “Zilele Academice Timișene”, Vol. I, Timișoara, 22...24 mai 1997.
69. HOLL A. Bitumenemulsionen in Strassenerhalt und Strassenbau. Hamburg, 1994.
70. ILIESCU M. Preocupări privind determinarea rezistenței la oboseală a straturilor din mixtură asfaltică. Simpozion - Comisia Drumuri, Poduri, Căi Ferate, Cluj-Napoca, oct. 1987. Convolut, secțiunea I.
71. ILIESCU M., DAMIAN S., DAMIAN I. Aparat pentru determinarea rezistenței la oboseală a mixturilor asfaltice. Brevet de invenție nr. 95949 OSIM 1988.
72. ILIESCU M. Cosiderations regardind the determinations of the characteristics of the bituminous mixtures. Bul. I.P.C.N., 1990.
73. ILIESCU M. Preocupări privind introducerea unor concepte noi la dimensionarea sistemelor rutiere nerigide. În “Zilele Academice Timișene”, Timișoara, 1991.
74. ILIESCU M. Contribuții la dimensionarea structurilor rutiere suple, luând în considerare rezistența la oboseală a straturilor bituminoase. Teză de doctorat, Institutul Politehnic Cluj-Napoca, 1991.

75. ILIESCU M. Preocupări privind utilizarea geosinteticelor la încetinirea proceselor de fisurare a îmbrăcămintilor rutiere. În “Zilele Academice Timișene”, Ediția a IV-a, Timișoara, 25...27 mai 1995.
76. IONESCU T. Reciclarea asfaltului uzat. În “Revista Drumuri Poduri”, nr. 34, București, 1997.
77. IONESCU Dorina. Contribuții la caracterizarea comparativă a biturilor de drumuri cu $P_{25} \cong 80...120$ 1/10mm fabricate din țițeiuri românești, în vederea stabilirii potențialului lor calitativ de folosință rațională la execuția îmbrăcămintilor bituminoase pentru drumuri. Teză de doctorat. Institutul Politehnic “Traian Vuia” Timișoara, 1982.
78. JURAN J. M., GRZYNA jr. F. M. Calitatea produselor. Traducere din limba engleză. Editura Tehnică, București, 1973.
79. JEUFFROY G. Écoroute-un nouveau logiciel de calcul des structures des chaussées. În “Revue générale des routes et des aérodromes”, nr. 649, Paris, 1988.
80. JEUFFROY G., SAUTEREY R. Dimensionnement des chaussées. Cours de routes, 2^e édition. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1991.
81. JEUFFROY G., SAUTEREY R. Contrôles de qualité en construction routière. Paris, 1987.

82. LUCACI Gh., STELEA Ileana, *PAȘCA I. Refolosirea îmbrăcăminților bituminoase vechi*. Al V-lea “Simpozion privind metode eficiente de construcție și întreținere a drumurilor, podurilor și căilor ferate”. Fetești, 1985.
83. LUCACI Gh., *PAȘCA I. Studiul cauzelor apariției unor defecțiuni în primii ani de exploatare pe drumul național Timișoara - Arad și propuneri de prevenire și remediere*. Comportarea ÎN SITU a construcțiilor ediția a II-a, Constanța, septembrie 1986.
84. LUCACI Gh. *Contribuții la studiul și diversificarea mixturilor asfaltice și îmbrăcămini bituminoase*. Teză de doctorat. Institutul Politehnic “Traian Vuia” Timișoara, 1986.
85. LUCACI Gh. *Eficiența refolosirii mixturilor asfaltice din îmbrăcămințile bituminoase uzate*. În Simpozion - Comisia Drumuri, Poduri, Căi Ferate, Vol. I, Cluj-Napoca, oct. 1987.
86. LUCACI Gh. *Soluții noi, eficiente pentru realizarea structurilor rutiere*. În “Zilele Academice Timișene”, Timișoara, 25...27 mai 1995.
87. LUCACI Gh., HERMAN A. *Gestiunea drumurilor, factor determinant în asigurarea viabilității acestora*. În “Zilele Academice Timișene” Timișoara, Vol. I, 22...24 mai 1997.
88. LUCACI Gh., BARBOS V. *Soluții tehnice aplicate la reabilitarea drumurilor în România*. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. II, Iași, 15...18 septembrie 1998.

89. MARCHAND J. P. ș.a. Quelques formules utiles pour le calcul des chaussées sur petites calculatrices programmables. În “Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées”, nr. 125, 1983.
90. MARIN C. G. Metode moderne de studiu a lianților bituminosi modificați cu polimeri. În “Revista Drumuri Poduri”, nr. 34, București, 1997.
91. MIHART S. Drumul național 7 sector Arad - Nădlac a fost reabilitat. În “Zilele Academice Timișene” Timișoara, Vol. I, 22...24 mai 1997.
92. MIHART S., ASLĂU I. Realizarea unor mixturi asfaltice cu bitum modificat. În “Zilele Academice Timișene” Timișoara, Vol. III, 22...24 mai 1997.
93. MITROFAN M. I. Folosirea bitumului modificat cu CAROM în cadrul reabilitării drumului național 7 Sebeș - Deva. În “Zilele Academice Timișene” Timișoara, Vol. I, 22...24 mai 1997.
94. MONISMITH C. L., DEACON J. A. Fatigue of asphalt paving mixtures. În “Transportation Engineering journal of ASCE”, Vol. 95, no. TE2, May 1969.
95. MONISMITH C. L., FINN F. N. Flexible pavement. În “Transportation Engineering journal of ASCE”, June 1977.
96. MONISMITH C. L. International conference - twenty five years of contribution to asphalt concrete pavement design and rehabilitation. În “Sixth international Conference on the structural Design of Asphalt Pavements”, Vol. II, Ann Arbor, 1987.

97. MOUTIER F. Étude comportement mécanique des enrobés bitumineux en laboratoire. Module. Fatigue. Traction. LCPC Nantes, 1992.
98. MUNTEANU V., PAȘCA I. Observații privind execuția și comportarea în exploatare a unui sector experimental pe drumul național București - Giurgiu. Simpozionul "Construcția și întreținerea drumurilor", Bulgaria, Sofia, oct. 1986.
99. NICOARĂ L. Defecțiunile îmbrăcămintilor rutiere. Tehnologii pentru prevenirea și remedierea lor. Teză de doctorat. Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1974.
100. NICOARĂ L. Curs de drumuri. Vol I - V. Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1975.
101. NICOARĂ L., BILȚIU Aurica, IONESCU N. Routes économiques, Routes a faible circulation. Raport național la tema VIII, Al XV-lea "Congres Mondial de drumuri" Mexico, 1975.
102. NICOARĂ L., MUNTEANU V., IONESCU N. Întreținerea și exploatarea drumurilor. Editura Tehnică, București 1979.
103. NICOARĂ L. Considerații asupra unor posibilități de îmbunătățire a stării de viabilitate a drumurilor în exploatare. În convolut la A VI-a "Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri" Brașov, 1982.
104. NICOARĂ L., BILȚIU Aurica. Îmbrăcăminti rutiere moderne. Editura Tehnică, București, 1983.

105. NICOARĂ L., UDVARDY L. Considerații cu privire la evoluția calității lucrărilor de drumuri. În convolut “Coportarea ÎN SITU a construcțiilor”, Vol. V. Piatra-Neamț, 1984.
106. NICOARĂ L., PĂUNESCU M., BOB C., BILȚIU Aurica. Îndrumătorul laboratorului de drumuri. Editura Tehnică, București, 1985.
107. NICOARĂ L. Propuneri pentru o nouă concepție privind clasificarea și definirea structurilor rutiere. În convolut la A VII-a “Conferință pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri” Pitești, 10 - 11 oct. 1986.
108. NICOARĂ L., BILȚIU Aurica, STELEA L., ALEXA I., STELEA Ileana, LUCACI Gh. Considerații privind producerea mixturilor asfaltice la rece, utilizând emulsia bituminoasă cationică, cu rupere lentă. În A VII-a “Conferință pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri”, cu tema: Drumul și Energia, Pitești, 10 - 11 oct. 1986.
109. NICOARĂ L., STELEA L. Comportarea în exploatare a tratamentelor bituminoase. În convolut “Comportarea ÎN SITU a construcțiilor” Arad, 1988.
110. NICOARĂ L. ș.a. Curs - Proiectarea și construcția drumurilor. Institutul Politehnic “Traian Vuia” Timișoara, 1988.
111. NICOARĂ L. ș.a. Proiectarea și construcția drumurilor. Tehnologii neconvenționale. Institutul Politehnic “Traian Vuia” Timișoara, 1988.

112. NICOARĂ L. Întreținere, exploatare drumuri și autostrăzi. În A VIII-a “Conferință națională de drumuri și poduri”, Vol. Drumul și eficiența, Cluj-Napoca, 5 - 6 iunie 1990.
113. NICOARĂ L. Terminologia rutieră. În “Revista Drumuri Poduri”, nr. 28, București, 1996, și în “Zilele Academice Timișene” Timișoara, Vol. I, 22...24 mai 1997.
114. NICOARĂ L., BILȚIU Aurica. Tehnologii aplicate pentru îmbunătățirea stării tehnice a drumurilor pietruite în cadrul Direcției Regionale Drumuri și Poduri Timișoara. În “Zilele Academice Timișene” Timișoara, Vol. I, 22...24 mai 1997.
115. NICOARĂ L., BILȚIU Aurica. Fisurarea îmbrăcăminților bituminoase. În “Zilele Academice Timișene” Timișoara, Vol. III, 22...24 mai 1997.
116. NICOARĂ L. ș.a. Îndrumător pentru laboratoarele de drumuri. Ediția a V-a. Apărut sub egida A.P.D.P. din România, Editura INEDIT, 1998.
117. NICOLAU M., MOLAN Ileana, DUMITRESCU Livia, DINU Gh. Dinamica de evoluție a traficului pe rețeaua de drumuri publice interurbane și elementele necesare determinării traficului de calcul pentru proiectarea drumurilor. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. I, Iași, 15...18 septembrie 1998.
118. NICULESCU D. Calitate. Fiabilitate. Mentenanță. Vol. 18 □□19. Editura Tehnică, București, 1975.

119. OPREA Cornelia, BEICA Vasilica, UNGUR Aurelia, TĂNĂSESCU Mirela. Utilizarea reometrelor pentru analiza biturilor rutiere. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. II, Iași, 15...18 septembrie 1998.
120. PAȘCA I. Considerații asupra tehnologiei de încălzire a bitumului în vederea punerii în operă. În A III-a “Sesiune de comunicări științifice a cadrelor tehnice și economice din Direcția Drumuri și Poduri Timișoara și Catedra de Drumuri și Fundații a Institutului Politehnic “Traian Vuia” Timișoara” Orșova, 1977.
121. PAȘCA I., LUCACI Gh., STELEA Ileana, DĂNILĂ V. Preocupări privind automatizarea aparaturii și introducerea unor metode noi de încercare în laboratoarele de drumuri. În A V-a “Sesiune de comunicări tehnico științifice - C.N.I.T., M.T.Tc., I.P.”T.V.” Timișoara”, Timișoara, nov. 1984.
122. PAȘCA I., LUCACI Gh., STELEA Ileana. Aparat electronic pentru determinarea penetrației biturilor. Simpozionul național “Construcții și materiale de construcții” Pitești, nov. 1986.
123. PAȘCA I., ALEXA I., SZITAR Rodica. Utilizarea nisipului bituminos cu conținut redus de parte organică la prepararea mixturilor asfaltice. Al VI-lea Simpozion “Noi tehnologii rutiere pentru reducerea consumurilor de materiale, energie și combustibili” Academia României, Baza Timișoara, iunie 1988.

124. PAȘCA I. Observații privind comportarea în exploatare a unui sector experimental executat din mixtură asfaltică cu bitum aditivat. “Comportarea ÎN SITU a construcțiilor”- ediția a VII-a Arad, 1988.
125. PAȘCA I. Determinarea deformațiilor elastice la baza straturilor rutiere supuse la încovoiere. Metode de determinare. Timișoara, sept. 1993.
126. PAȘCA I. Fiabilitatea drumurilor. Referat pentru doctorat. Universitatea “Politehnica” Timișoara, 1995.
127. PAȘCA I. Aplicarea analizei multicriteriale la concepția și realizarea structurilor rutiere suple. Referat pentru doctorat. Universitatea “Politehnica” Timișoara, 1995.
128. PETICILĂ M. Tehnici nucleare utilizate la controlul calității lucrărilor de drumuri. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. I, Iași, 15...18 septembrie 1998.
129. PINESCU A. Solicitarea dinamică a straturilor rutiere de rulare. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. II, Iași, 15...18 septembrie 1998.
130. PEYRON C., CAROFF G. Dimensionnement des chaussées. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1984.
131. POPESCU Nadia, BOICU M. Unele considerații privind utilizarea bitumului modificat la execuția îmbrăcămintilor bituminoase. În “Zilele Academice Timișene” Timișoara, 25...27 mai 1995.

132. REICHERT J., ROMAIN J. E. Dimensionnement, entretien en renforcement des chaussées a revêtement hydrocarbone. Études. Centre de Recherche Routiers, nr. 4, Bruxelles, 1981.
133. ROMANESCU C., DIACONU Elena, MARIN C. G. Spectroscopia în infraroșu în laboratorul de drumuri. În “Zilele Academice Timișene”, Vol. III, Timișoara, 22...24 mai 1997.
134. ROMANESCU C., DIACONU Elena, DICU M., MARIN C. G. Influența comportării vîsco-elastice a lianților bituminoși ca atare și modificați, asupra mixturilor asfaltice în regim dinamic. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. II, Iași, 15...18 septembrie 1998.
135. ROUX D. La recherche fondamentale dans les émulsions au service de l'industrie. În “Routes”, nr. 754, sept. 1997.
136. SAMANOS J. Emulsions. Evolution de la profession. În “Routes”, nr. 754, sept. 1997.
137. SAUTEREY R. ș.a. Efficacite et recherche routieres. În “Revue générale des routes et des aérodromes”, nr. 619, Paris, 1985.
138. STELEA Ileana. Investigații pe sectoarele candidat RO - LTPP. în “Revista Drumuri Poduri”, nr. 34 - 35, București, 1997.
138. STELEA Ileana, COSTESCU I. Urmărirea stării tehnice a drumurilor pe termen lung. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. I, Iași, 15...18 septembrie 1998.

139. STELEA Ileana. Studiul evoluției cercetărilor privind caracteristicile biturilor rutiere în vederea utilizării lor eficiente. Referat pentru doctorat. Universitatea “Politehnica” Timișoara, 1998.
140. STELEA L. Contribuții la elaborarea unor tehnologii eficiente pentru întreținerea drumurilor. Teză de doctorat. Institutul Politehnic “Traian Vuia” Timișoara, 1991.
142. STELEA L. Concepții moderne în domeniul reabilitării drumurilor și a lucrărilor de artă. În “Zilele Academice Timișene”, Vol. I, Timișoara, 22...24 mai 1997.
143. STELEA L. Monitorizarea traficului greu și efectele asupra rețelei de drumuri. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. I, Iași, 15...18 septembrie 1998.
144. STELEA L., DUMITRU P. Conceptul calității, organizarea și funcționarea acestuia în sectorul infrastructurii rutiere. În Al X-ea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. I, Iași, 15...18 septembrie 1998.
145. STELEA L., ACHIMESCU Olga. Considerații asupra utilizării emulsiilor bituminoase cationice la lucrări de drumuri din România. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. II, Iași, 15...18 septembrie 1998.

146. TĂUTU N. ș.a. Lărgirea gamei lianților pentru lucrări de drumuri. În convolut la A VII-a “Conferință pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri” Pitești, 10 - 11 oct. 1986.
147. TĂUTU N., CRĂCIUNESCU T. ș.a. Dispozitiv pentru investigarea elementelor geometrice și a planității drumului. În A VIII-a “Conferință națională de drumuri și poduri”, Vol. Drumul și Eficiența, Cluj-Napoca, 5 - 6 iunie 1990.
148. TRAN Ngoc Lan, MILLON-DEVIGNE P. L'essai au bleu de méthylène turbidimétrique.
147. ȚÂRCOLEA C. ș.a. Tehnici actuale în teoria fiabilității. Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1989.
149. UDVARDY L., MICU A. Propuneri pentru o metodologie de evaluare a eficienței soluțiilor de construcție și întreținerea drumurilor. Aplicație informatică. În Simpozion “Comisia Drumuri, Poduri, Căi Ferate”, Vol. I, Cluj-Napoca, 2 - 3 oct. 1987.
150. UDVARDY L., IONESCU N., MICU A. Modelarea capacității de circulație și siguranței circulației virtuale într-o bancă de date rutiere informatizate. În A VIII-a “Conferință națională de drumuri și poduri”, Vol. Drumul și Eficiența, Cluj-Napoca, 5 - 6 iunie 1990.

151. UDWARDY L. Principii și metode în definirea calității lucrărilor de drumuri în procesul C.T.C. În “Zilele Academice Timișene” Timișoara, 25...27 mai 1995.
152. UDWARDY L. Calimetrie în construcții și teoria deciziilor multiatribut. În “Zilele Academice Timișene”, Vol. I, Timișoara, 22...24 mai 1997.
153. UDWARDY L. Aspecte tehnico-economice particulare în domeniul construcțiilor rutiere privind aplicațiile teoriei generale a calității. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. I, Iași, 15...18 septembrie 1998.
154. UDWARDY L. Degradare evolutivă a structurilor rutiere și durata lor de serviciu. Comportarea ÎN SITU a construcțiilor. Ediția a XII-a. Buziaș, oct. 1998.
155. VELLUET P. Études d’entretien sur routes nationales. În “Revue générale des routes et des aérodromes”, nr. 674, Paris, 1990.
157. VAN DIJK W. Practical fatigue characterization of bituminous mixes. În “The journal of the Institution of Highway Engineers” 1979.
158. VERSTRAETEN J., VEVERKA V., FRANIEN L. Rational designs of asphalt pavements to avoid cracking and rutting. Fifth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements. Vol. I. Delft, 1982.

159. VERSTRAETEN J. Design and streigthening metods for bituminous pavements. 2-nd International Symposium on Pavement Evaluation and Overlay Design. 1989.
160. VIOLEANU S. Manualul calității în societățile executate din domeniul rutier. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. I, Iași, 15...18 septembrie 1998.
161. VINTILĂ B., FODOR Georgeta, GIUȘCĂ Gabriela. Soluții de prevenire a transiterii fisurilor în îmbrăcămințile rutiere. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. II, Iași, 15...18 septembrie 1998.
162. VINȚAN L., TREVISAN R., MOLINARI M., MUNTEANU D. Modificatori pentru bitumuri rutiere. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. I, Iași, 15...18 septembrie 1998.
163. VLAD N. Contribuții în problema efectului înghețului asupra drumurilor. Teză de doctorat. Facultatea de Construcții Iași, 1982.
164. VLAD N., FLORESCU E. Cercetări asupra comportării mixturilor asfaltice tip MEDIFLEX în condițiile climatice din România. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. I, Iași, 15...18 septembrie 1998.

165. VLAD N., MSSIR-VLAD Ivana. Primele rezultate ale aplicării normelor “SUPERPAVE” pentru zona climatică a rețelei rutiere, după criteriul temperaturii îmbrăcăminte. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. I, Iași, 15...18 septembrie 1998.
166. ZAFIU G. P. Repartizatoarele finisoare de mixturi asfaltice în tehnica de vîrf. În “Revista Drumuri Poduri”, nr. 37, București, 1997.
167. ZAROJANU H. Utilitatea folosirii indicelui de grosime la dimensionarea sistemelor rutiere nerigide. În “Construcții în transporturi”, Vol. XX/1970.
168. ZAROJANUH. Preocupări pentru determinarea unui indice de grosime în cadrul diverselor metode de dimensionare a sistemelor rutiere nerigide. În “Construcții în transporturi”, Vol. XXV/1971.
169. ZAROJANU H. Corecția indicelui de grosime la deflexiune a sistemelor rutiere nerigide în funcție de caracteristicile pământului din pat. În “Sesiunea de comunicări ISCT”, Vol. IV, București, 1973.
170. ZAROJANU H. Contribuții la studiul indicelui de grosime. Teză de doctorat. Universitatea Tehnică Iași, 1973
171. ZAROJANU H. Calculul traficului global echivalent. În “Sesiunea de comunicări ICPTT”, Vol. IV, București, 1975.
172. ZAROJANU H. ș.a. Metode pentru urmărirea comportării în exploatare a structurilor rutiere. În convolut “Comportarea ÎN SITU a construcțiilor”, Vol. V, Piatra-Neamț, 1984.

173. ZAROJANU H., VLAD N. ș.a. Stația de încercări rutiere a institutului politehnic Iași. În A VII-a “Conferință pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri”, Vol. II, Pitești, 10 - 11 oct. 1986.
174. ZAROJANU H., BOBOC V., GUGIUMAN G., VLAD N. Rezistența la gelivitate a agregatelor de carieră și influența asupra comportării la îngheț-dezghet a betoanelor de ciment rutier și a mixturilor asfaltice. În A VIII-a “Conferință națională de drumuri și poduri”, Vol. Drumul și Eficiența, Cluj-Napoca, 5 - 6 iunie 1990.
175. ZAROJANU H. Asupra posibilității asimilării pentru sectoare de triere a elementelor de calcul din metodele Highway Manual Capacity. În A VIII-a “Conferință națională de drumuri și poduri”, Vol. Drumul și Eficiența, Cluj-Napoca, 5 - 6 iunie 1990.
176. ZAROJANU H., VLAD N. Încercarea structurilor rutiere la trafic accelerat, realizat cu sarcină OS-115 kN. Transformarea traficului accelerat în trafic în cale curentă pe baza agresivității. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. I, Iași, 15...18 septembrie 1998.
177. ZAROJANU H., VLAD N. Criterii pentru echivalarea vehiculelor fizice în vehicule etalon. În Al X-lea “Congres național de drumuri și poduri”, Vol. I, Iași, 15...18 septembrie 1998.
178. * * * Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées. Colecția Franța.

179. * * * Congres mondial de l'emulsion 1997. În "Revue générale des routes et des aérodromes", nr. 754, sept. 1997.
180. * * * Construction et entretien des chaussées souple. Question 2. În Al VIII-lea "Congres Mondial de Drumuri" Bruxelles, 1987.
181. * * * The Czechoslovak Method. TEM/TC/WP, nr. 131, 1986.
182. * * * Les emulsion de bitume. Special W, iunie 1974.
183. * * * L'essai AASHO. În "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", Special E, mai 1966.
184. * * * Guide de dimensionnement des renforcement des chaussées souples. SETRA, Paris, 1998.
185. * * * Instrucțiuni tehnice departamentale privind dimensionarea sistemelor rutiere rigide și nerigide. Indicativ PD 177 - 76.
186. * * * Instrucțiuni tehnice departamentale privind determinarea rezistenței la oboseală a straturilor bituminoase din alcătuirea sistemelor rutiere nerigide, 1978
187. * * * Instrucțiuni tehnice departamentale pentru dimensionarea ranforsărilor cu strat din agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici a sistemelor rutiere nerigide. Indicativ PD 152 - 85.
188. * * * Instrucțiuni tehnice departamentale privind determinarea stării tehnice a drumurilor moderne (SARO). Indicativ CD 155 - 86.

189. * * * Instrucțiuni tehnice departamentale pentru prevenirea și remedierea defecțiunilor la îmbrăcămișile rutiere moderne. Indicativ CD 98 - 86.
190. * * * Instrucțiuni tehnice departamentale pentru determinarea prin deflectografie și deflectometrie a capacității portante a drumurilor cu sisteme rutiere suplă. Indicativ CD 31 - 89, revizuite în 1994.
191. * * * Instrucțiuni pentru dimensionarea și controlul sistemelor rutiere nerigide și semirigide. DGD Bulgaria. Traducere INCERTRANS București, f.a.
192. * * * Instrucțiuni tehnice privind îmbrăcămișile bituminoase cilindrate la cald, realizate cu bitum modificat, A.N.D. nr. 526/1996.
193. * * * Instrucțiuni tehnice privind metoda de determinare a stabilității la stocare a bitumului modificat cu polimeri, A.N.D. nr. 526/1996 (Anexă).
194. * * * Instrucțiuni tehnice pentru determinarea conținutului de polimer din bitumul modificat prin spectrofotometrie în IR, A.N.D. nr. 529/1997.
195. * * * Instrucțiuni tehnice pentru determinarea gradului de omogenitate a amestecurilor bifazice bitum – polimer prin utilizarea microscopului cu lumină fluorescentă, A.N.D. nr. 528/1997.

196. * * * Instrucțiuni tehnice privind metoda de determinare a revenirii elastice a bitumului modificat cu polimeri, A.N.D. nr. 526/1996 (Anexă).
197. * * * Instrucțiuni tehnice pentru prepararea în laborator a biturilor modificate și a emulsiilor bituminoase cu moara coloidală, A.N.D. nr. 527/1997.
198. * * * Instrucțiuni tehnice privind metoda de determinare a compoziției chimice a bitmului rutier pe patru fracțiuni nr. 521R/1996.
199. * * * Instrucțiuni tehnice pentru determinarea stabilității în strat subțire a bitumului pentru drumuri. Încercarea RTFOT – 93/418/1997.
200. * * * Instrucțiuni tehnice pentru determinarea stabilității în strat subțire a bitumului pentru drumuri. Încercarea TFOT – 93/418/1997.
201. * * * Normativ privind straturi bituminoase foarte subțiri executate la rece pe bază de emulsii bituminoase cationice cu polimeri, A.N.D. nr. 523/1998.
202. * * * Normativ privind execuția îmbrăcăminților bituminoase pe calea pe pod, A.N.D. nr. 531/1998.
203. * * * Normativ privind caracteristicile tehnice ale bitumului neparafinos pentru drumuri, A.N.D. nr. 537/1998.
204. * * * Măsurători nedistructive cu DYNATEST 8000 FWD pentru determinarea capacității portante a structurilor rutiere pe DN 69. IPTANA-SEARCH, 1994.

205. * * * Metode perfecționate de dimensionare a sistemelor rutiere suple pentru modernizări și construcții noi de drumuri. Referat 2. Facultatea de Construcții Iași, 1990.
206. * * * Metode perfecționate de dimensionare a sistemelor rutiere suple pentru modernizări și construcții noi de drumuri și pentru ranforsarea sistemelor rutiere existente. Referat INCERTRANS București, 1991 și 1993.
207. * * * Mic dicționar enciclopedic. Editura Enciclopedică, București 1972.
208. * * * National Academy of Engineering – Effect of water on bitumen. Washington 1968.
209. * * * Normativ pentru dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare a sistemelor rutiere suple și semirigide. Anteproiect. IPTANA-SEARCH, 1997.
210. * * * Recommendation for Flexible Pavements. TEM/TC/WP nr. 130, Vol. 1, Anex. 1 - 2, 1986.
211. * * * Revista Drumuri și Poduri, nr. 25 - 26, AND și APDP București 1995.
212. * * * Revista Drumuri, Poduri, Siguranța Circulației. – Colecție.
213. * * * Revista FOCUS editată US Department of transportation. Federal Highway Administration, USA. Colecție.
214. * * * Revue générale des routes et des aérodromes. Colecția Franța.

215. * * * Le savoir faire français en matiere d'émulsions de bitume. Paris, 1989.
216. * * * Système de gestion des chaussées. Rapport realise par un groupe d'experts scietifiques de l'OCDE. Paris, 1987.
217. * * * Standardele germane DIN- Germania. Colectie.
218. * * * Standardele Românești. Colectie.
219. * * * Syndicat des fabricants des émulsions routieres de bitumes - Les émulsions de bitumes et leurs techniques d'application. Paris, 1986.

*

*

*