

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" TIMISOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCTII

Ing. GEORGE BURNEI

CONTRIBUȚII LA INTRODUCEREA SI DEZVOLTAREA TEHNOLOGIEI DE
RANFORSARE A STRUCTURILOR RUTIERE EXISTENTE, CU IMBRĂCĂMINȚI
DIN BETON DE CIMBNT

TEZĂ DE DOCTORAT

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

Conducător științific
Prof. dr. ing. LAURENȚIU NICOARĂ

TIMIȘOARA, 1990

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" TIMIȘOARA

Voluntul NR.	554	A
Dulap	292	F

C U P R I N S

Cap.I. <u>Analiza fiabilității drumurilor naționale din județul Caraș-Severin, în funcție de evoluția traficului</u>	1
1.1. Situația drumurilor publice în România.....	1
1.1.1. Aspecte specifice ale dezvoltării drumurilor în județul Caraș-Severin. Evoluția traficului.....	3
1.2. Analiza fiabilității drumurilor naționale din județul Caraș-Severin, în funcție de evoluția traficului.....	7
1.2.1. Probleme de bază ale fiabilității. Adaptări ale conceptului.....	7
1.2.1.1. Formularea obiectivelor.....	9
1.2.1.2. Solicitățile în exploatare și fiabilitatea drumului.....	11
1.2.2. Planuri de experimente și adaptări metodologice.....	11
1.2.2.1. Adaptări metodologice specifice.....	12
1.2.2.2. Definirea atributului "defectării".....	14
1.2.3. Dezvoltări privind prelucrarea automată a datelor.....	16
1.2.3.1. Organizarea experimentelor.....	17
1.2.4. Fiabilitatea experimentală a structurilor rutiere suplă din județul Caraș-Severin.....	20
1.2.4.1. Evaluarea indicatorilor fiabilității experimentale.....	20
1.2.4.2. Studiul procesului evolutiv al defectărilor.....	
1.2.4.3. Parametrii de exploatare cu influență asupra fiabilității drumurilor.....	24
1.2.5. Fiabilitatea teoretică a structurilor rutiere suplă.....	27
1.2.5.1. Indicatorii W3p punctiformi ai fiabilității.....	27
1.2.5.2. Testul Kolmogorov-Smîrnov.....	28
1.2.5.3. Indicatorii W3p cu limite de încredere..	29
1.2.6. Legea fiabilității dinamice a structurilor rutiere suplă.....	30

1.3. Menținerea și disponibilitatea drumurilor.....	32
1.3.1. Disponibilitatea ca indicator sintetic al calităților funcționale ale drumurilor.....	33
1.4. Concluzii și propuneri metodologice.....	34
Cap. II. <u>Studiul materialelor neconvenționale în scopul utilizării lor la ranforsarea structurilor rutiere</u>	37
2.1. Studiul posibilităților de utilizare a calcarului de la cariera C. Daicoviciu, la fabricarea betoanelor de ciment rutiere...	38
2.1.1. Scurt istoric privind din beton de ciment cu agregate din cariera C. Daicoviciu..	39
2.2. Studii de laborator efectuate pe probe reprezentative.....	41
2.2.1. Studiul agregatului provenit de la cariera C. Daicoviciu.....	42
2.2.2. Studiul agregatelor provenite din calcarul de la C. Daicoviciu.....	44
2.3. Cercetări privind stabilirea influenței agregatelor de calcar asupra caracteristicilor betoanelor de ciment rutiere. Sectoare experimentale.	47
2.3.1. Materiale utilizate.....	49
2.3.2. Compoziția betoanelor.....	50
2.3.3. Prepararea și transportul betonului.....	51
2.3.4. Agregarea betoanelor.....	52
2.3.5. Executarea rosturilor.....	53
2.3.6. Controlul privind calitatea lucrărilor executate.....	54
2.3.6.1. Rezistențele mecanice.....	55
2.3.6.2. Gradul de impermeabilitate.....	57
2.3.6.3. Rezistența la îngheț-dezghet.....	59
2.3.6.4. Controlul la uzură.....	60
2.3.6.5. Rezistența la uzură prin frecare.....	63
2.4. Verificarea calității și durabilității rutiere executate.....	64
2.4.1. Determinări efectuate pe carote.....	64
2.4.2. Măsurători de rezistență.....	65
2.4.3. Verificarea planității și suprafeței de rulare cu aparatul Viagraf.....	65
2.4.4. Observații vizuale.....	66
2.5. Concluzii și propuneri.....	66

P R E F A T ă

Dezvoltarea economiei naționale a determinat intensificarea activității de transport rutier de mărfuri și călători, ca urmare s-a impus ca o necesitate extinderea rețelei rutiere, România dispunând de o rețea de drumuri publice de 72 816 km, din care 14 688 km sînt drumuri naționale, restul fiind drumuri de interes local.

În prezent, pe drumurile naționale din țara noastră se desfășoară peste 65 % din traficul rutier total, deși lungimea acestora reprezintă numai 20 % din întreaga rețea de drumuri publice.

Rețeaua de drumuri naționale cuprinde și drumuri europene, ca urmare a aderării României în anul 1985, la Acordul european asupra marilor drumuri de circulație internațională elaborat sub egida Comisiei Economice O.N.U. pentru a trivrit căruia, rețeaua de drumuri din România include drumuri internaționale "E", aspect de o importanță deosebită în elaborarea strategiei rutiere la nivel național.

Pe parcursul anilor s-au produs modificări esențiale și în structura traficului, o creștere mai importantă și cu implicații directe asupra fiabilității drumurilor s-a înregistrat la traficul greu și foarte greu, care la finele anului 1988 reprezenta peste 30 % din volumul total de trafic, avînd permanent tendința de creștere.

În etapa actuală, în sectorul de drumuri se impune rezolvarea unor noi probleme, corespunzător cerințelor și stadiului de dezvoltare a științei și tehnicii, atît pe plan intern cît și internațional.

La cel de al XVIII-lea Congres Mondial de drumuri, Bruxelles, septembrie 1987, printre problemele nerezolvate și care stau în fața specialiștilor din sectorul rutier, s-au enumerat și:

1) cuantificarea calităților funcționale și structurale ale drumurilor, paralel cu stabilirea valorilor "limită" aferente;

2) elaborarea unor modele matematice susceptibile de a prognoza evoluția calităților funcționale ale unui sector de drum, calități care sînt permanent într-o evoluție dinamică, datorită condițiilor specifice de exploatare;

3) valorificarea materialelor locale paralel cu intro-

2.6. Studiul cenușei de șist bituminos de la C.T.F. Anina în scopul utilizării ei la prepararea betoanelor de ciment rutiere.....	69
2.6.1. Cercetări de laborator. Proprietățile fizice și mecanice.....	72
2.6.1.1. Compoziția chimică.....	76
2.6.1.2. Compoziția mineralogică.....	78
2.6.2. Activarea cenușilor de la C.T.F.....	78
2.6.3. Determinarea activității hidraulice.....	81
2.6.4. Betoane de ciment cu adaos de cenușă de la C.T.F. Anina. Sectoare experimentale.....	84
2.6.5. Controlul privind calitatea lucrărilor executate.....	86
2.6.5.1. Rezistențele mecanice ale betoanelor cu cenușă.....	88
2.6.5.2. Gradul de impermeabilitate.....	90
2.6.5.3. Gelivitatea betoanelor cu adaos de cenușă.....	92
2.6.5.4. Contractia la uscare.....	93
2.6.5.5. Verificarea calității suprafeței de rulare. Observații vizuale.....	94
2.6.6. Concluzii și propuneri.....	95
Cap. III. <u>Ranforsarea complexelor rutiere existente folo-</u> <u>gind îmbrăcăminti din beton de ciment.....</u>	97
3.1. Necesitatea și posibilitățile de execuție a lucrărilor de ranforsare.....	97
3.1.1. Metode moderne de investigații rutiere....	99
3.1.1.1. Investigarea traficului rutier.....	99
3.1.1.2. Investigarea suprafeței de rulare.....	101
3.1.1.3. Investigarea capacității portante a structurilor rutiere suplimentare.....	105
3.2. Îmbrăcăminti rutiere din beton de ciment.....	107
3.2.1. Avantajele și dezavantajele îmbrăcăminti- lor rigide.....	108
3.2.2. Tendințe în proiectarea și realizarea îmbrăcămintilor rigide.....	110
3.3. Ranforsarea structurilor rutiere suplimentare cu îmbrăcăminti din beton de ciment. Materiale utilizate.....	110
3.3.1. Agregatele naturale.....	111
3.3.2. Cimentul.....	113

3.3.2.1. Compoziția mineralogică a cimentului....	113
3.3.3. Aditivii.....	117
3.3.3.1. Noi tipuri de superplastifianți.....	120
3.3.3.2. Apa.....	127
3.4. Durabilitatea betoanelor de ciment rutiere.....	128
3.5. Caracteristici structurale și de compoziție ale betonului.....	129
3.5.1. Structura betonului.....	131
3.5.1.1. Adeziunea matricei cu agregatele.....	133
3.6. Porozitatea și permeabilitatea betonului.....	134
3.6.1. O nouă metodă de sporire a impermeabilită- ții și durabilității îmbrăcăminților rutie- re din beton de ciment.....	139
3.7. Deformațiile betonului.....	143
3.7.1. Contractia plastică.....	144
3.7.2. Contractia la uscare.....	146
3.7.3. Model matematic pentru calculul distanței optime dintre rosturile de contractie.....	148
3.7.4. Influența fisurilor asupra fiabilității îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment.....	155
3.8. Tehnologii noi aplicate la execuția îmbrăcămin- ților rutiere din beton de ciment.....	157
3.8.1. Finisarea, tratarea și protejarea suprafe- ței îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment.....	164
3.9. Fundamentarea tehnică, economică și energetică a a programului de experimentare a unor noi teh- nologii de ranforsare.....	167
3.10. Concluzii și propuneri.....	173
Cap. IV. <u>Concluzii generale. Contribuții originale.</u>	
<u>Valorificarea rezultatelor cercetărilor.....</u>	178
4.1. Concluzii generale.....	178
4.2. Sinteza principalelor contribuții originale ale tezei de doctorat.....	184
4.3. Valorificarea rezultatelor cercetărilor.....	185
Bibliografie.....	187.

ducerea unor noi tehnici și tehnologii de ranforsare a structurilor rutiere existente;

4) extinderea utilizării aditivilor superplastifianți în scopul diversificării betoanelor de ciment rutiere și conferirii acestora calității specifice condițiilor de exploatare a unei îmbrăcămînți rutiere din beton de ciment ș.a.

Ținînd seama de penuria de hidrocarburi, Ministerul Transporturilor prin Direcția Drumurilor București, a orientat în jurul anului 1980 cercetările rutiere în sensul de a introduce noi tehnologii pentru ranforsarea complexelor rutiere existente, în care scop, ținînd seama și de orientările prezentate mai sus, s-a luat în considerare posibilitatea ranforsării drumurilor cu trafic greu, folosind îmbrăcămînți rutiere din beton de ciment, autorul inițind în acest sens studii și cercetări, ale căror rezultate fac obiectul tezei de doctorat.

Lucrarea cuprinde patru capitole:

Cap. I. Analiza fiabilității drumurilor naționale din județul Caraș-Severin, în funcție de evoluția traficului.

Cap. II. Studiul materialelor locale neconvenționale în scopul utilizării lor la ranforsarea structurilor rutiere.

Cap. III. Ranforsarea complexelor rutiere existente, folosind îmbrăcămînți din beton de ciment.

Cap. IV. Concluzii generale. Contribuții originale. Valorificarea rezultatelor cercetărilor.

x x x

Autorul își exprimă profunsa sa recunoștință conducătorului științific, d-lui prof. dr. ing. LAURENTIU NICOARA, pentru înalta competență și exigență cu care i-a călăuzit întreaga activitate de studii și cercetări efectuate în vederea elaborării tezei de doctorat, pentru dragostea și pasiunea ce i-a însușit-o față de drumuri, pentru formarea sa profesională și științifică.

De asemenea, odată cu finalizarea tezei de doctorat, aduce cele mai calde mulțumiri d-lui prof. dr. doc. ing. Ioan Filimon, pentru sprijinul acordat de-a lungul anilor în activitatea de studiu și cercetare a betoanelor de ciment rutiere.

Autorul mulțumește cu recunoștință pentru ajutorul acordat la elaborarea lucrării, conducerii Institutului Politehnic "Tibian Vata" și Facultății de construcții Timișoara, tuturor colegilor și cadrelor didactice din Catedra de drumuri, Fundației și instalații în construcții și Catedra de construcții civili-

le, industriale și agricole din cadrul Facultății de construcții Timișoara.

Se exprimă vii mulțumiri și recunoștință conducerii Direcției Drumurilor București, d-lui dr. ing. Mihai Boicu, pentru sugestiile valoroase pe care le-a dat în pregătirea științifică și reușita lucrării de doctorat.

~~Autorul mulțumește călduros d-lui ing. Viorel Pîrvu, din cadrul INCERTRANS București, pentru fructuoasa colaborare în activitatea de studiu și cercetare a îmbrăcăminților rutiere executate din betoane de ciment preparate cu agregate caldarogăna.~~

Vii mulțumiri și recunoștință conducerii D.D.P. Timișoara, în mod deosebit d-lui director, ing. Ladislau Udvardy, pentru sprijinul acordat de-a lungul anilor în activitatea de cercetare, utilizînd ca instrument de lucru, calculatorul.

Pentru sprijinul acordat în acțiunea de cercetare și introducere în tehnica preparării betoanelor de ciment rutiere a unor noi tipuri de superplastifianți, autorul aduce calde mulțumiri și recunoștința sa, d-nei dr. ing. Georgeta Popescu, din cadrul ICECHIM București.

Se exprimă de asemenea, calde mulțumiri și recunoștință colegilor din cadrul D.D.R. Timișoara și Secției de drumuri naționale Caransebeș, tuturor lucrătorilor, care sub o formă sau alta au contribuit și sprijinit la experimentarea soluțiilor propuse de autor precum și la elaborarea și redactarea tezei de doctorat.

CAP. I. ANALIZA FIABILITĂȚII DRUMURILOR NAȚIONALE
DIN JUDEȚUL CARAȘ-SEVERIN, ÎN FUNCȚIE DE
EVOLUȚIA TRAFICULUI

Drumurile, ca parte componentă a dezvoltării complexe și multilaterale a țării, asigură într-o măsură importantă înfăptuirea obiectivelor impuse la nivel național în domeniul transporturilor.

Prin specificul lor, transporturile rutiere sprijină desfășurarea activității tuturor compartimentelor societății, dezvoltându-se legio, dată cu viața social-economică a întregii țări. Dezvoltarea drumurilor trebuie deci să concorde cu cerința obiectivă a creșterii traficului rutier, să prefigureze no trasee și capacități pentru nevoile viitoare.

În etapa actuală în sectorul de drumuri, se impune rezolvarea unor noi probleme, corespunzător cerințelor și stadiului de dezvoltare a științei și tehnicii, atât pe plan intern cât și internațional.

Pe lângă mulți alți factori de apreciere a gradului de civilizație, drumul a fost și rămâne un însemn cu amprente puternice în civilizația unei națiuni.

1.1. SITUAȚIA DRUMURILOR PUBLICE ÎN ROMÂNIA

În prezent, reglementarea activității în sectorul rutier este asigurată prin Legea nr. 13 din 1974, "Legea drumurilor", în baza căreia, Ministerul Transporturilor devine organ unic de autoritate, coordonare și control pentru toate categoriile de drumuri din România.

Sectorul rutier a cunoscut o dezvoltare puternică paralel cu creșterea producției automobilelor, atât pe plan intern cât și internațional, aspect ce a impus o modernizare a rețelei de drumuri publice și în special a celor naționale, dinamica modernizării fiind prezentată în fig.1.1. /20/.

De-a lungul anilor, ca urmare a dezvoltării economiei naționale, traficul rutier a înregistrat creșteri importante, și în mod deosebit, cel aferent drumurilor naționale.

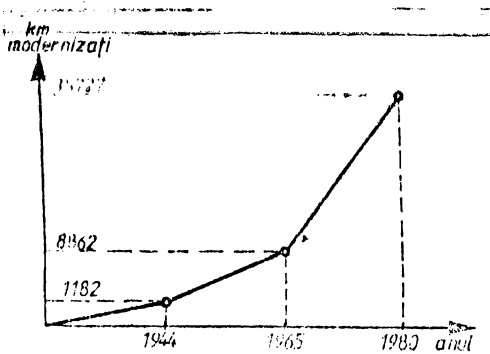


Fig. 1.1. Dinamica modernizării drumurilor publice în România.

În acțiunea de modernizare a drumurilor, după care, odată cu accentuarea crizei mondiale a petrolului, activitatea a fost

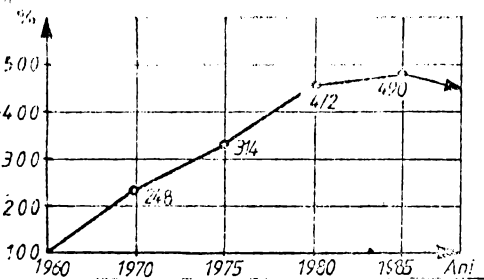


Fig. 1.2. Evoluția traficului rutier.

în acțiunea de modernizare a drumurilor, după care, odată cu accentuarea crizei mondiale a petrolului, activitatea a fost orientată în sensul utilizării îmbrăcămintelor rutiere din beton de ciment la ranforsarea structurilor rutiere existente cât și la drumurile nou construite.

Pe parcursul anilor s-au produs modificări esențiale și în structura traficului, o creștere mai importantă și cu implicații directe asupra fiabilității drumurilor, s-a înregistrat la traficul greu (sarcina pe osie mai mare de 5 kN) care, de exemplu, în anul 1980, reprezintă 29,1 % din traficul rutier total /152/.

Tabelul 1.1. Drumurile publice din România, la 31.XII.1988.

Categoria drumurilor	lungime totală km	Modernizate		Pietruite		Din pământ	
		km	%	km	%	km	%
Autostrăzi	113		100	-		-	
Drumuri Naționale	14 566	14 327	98	333	0,2	-	
Drumuri Județene	20 887	17 301	66	8 346	32	1 320	0,5
Drumuri Comunale	31 466	4 097	13	19 139	61	7 880	25
Total	72 899	35 827	49	27 847	32	9 200	17

Luind ca bază anul 1960, când s-a procedat la efectuarea primului racord-sămint, în fig.1.2. se prezintă evoluția traficului rutier, exprimat prin Media Zilnică Anuală (M.Z.A.) în vehicule etalon A13.

Intre anii 1960...1980, a fost o perioadă de utilizare cu precădere a îmbrăcămintelor bituminoase

orientată în sensul utilizării îmbrăcămintelor rutiere din beton de ciment la ranforsarea structurilor rutiere existente cât și la drumurile nou construite.

Pe parcursul anilor s-au produs modificări esențiale și în structura traficului,

După anul 1980, se constată o reducere substanțială privind alocarea de resurse materiale și financiare în sectorul rutier, în special pentru construcții noi, activitatea specialiștilor fiind orientată în sensul conservării patrimoniului rutier național. Volumul lucrărilor destinat menținerii drumurilor naționale într-o stare de fiabilitate corespunzătoare, este de la un an la altul, cu mult sub cel necesar /18/, ca atare se impune o folosire judicioasă a fondurilor alocate, paralel cu introducerea unor noi tehnologii de ranforsare a structurilor rutiere suplă, în sensul de a se implementa utilizarea unor materiale netradiționale cu rezultate cel puțin la nivelul condițiilor impuse prin normativele în vigoare.

1.1.1. Aspecte specifice ale dezvoltării drumurilor publice în județul Caraș-Severin, evoluția traficului rutier.

Situat în partea de sud-vest a țării, județul Caraș-Severin are o suprafață de 8 514 km², o populație de circa 400 000 locuitori și o economie de tip industrial agrară /34/.

Privind clima, datorită așezării la adăpostul munților Carpați și nu departe de Marea Adriatică, teritoriul său se integrează climatului temperat-continental moderat, subtipul baltic, cu un indice de umiditate relativă /14/.

În ultimii 30...35 ani, județul Caraș-Severin a beneficiat de o intensă dezvoltare economică, dezvoltare la care a contribuit și rețeaua de drumuri publice, în special subrețeaua drumurilor naționale, atât la nivel de județ cât și la nivelul întregii țări.

O mare parte din drumurile naționale existente, își desfășoară traseul pe vechile drumuri romane, construite, așa cum menționează istoria /18/, de cei mai mari constructori ai antichității, romani. Cei 165 ani de prezență efectivă a "Romanii" în Dacia, alcătuiesc o perioadă istorică dominată de faza construcțiilor, atât a drumurilor cât și a centrelor urbane /18/.

În perioada imperiului habsburgic, s-a dezvoltat în zona Banatului, industria metalurgică și minierul, acordându-se o atenție deosebită construirii de căi ferate și drumuri, strict necesare dezvoltării sociale din acea perioadă.

Inceputul secolului al XX-lea este caracterizat prin revoluționarea transporturilor rutiere, datorită apariției au-

tomobilului iar perfecționarea rapidă a caracteristicilor acestuia a impus în perioada dintre cele două războaie mondiale, depășirea rutinei care stăpânea de secole sectorul rutier perfecționându-se metodele de construcție și întreținere a drumurilor.

După anul 1950 se procedează și în județul Caraș-Severin, la o modernizare intensivă a drumurilor existente și la construirea de drumuri noi, astfel ca toate orașele județului să fie legate printr-o rețea de drumuri naționale.

În tabelul 1.2. se prezintă situația drumurilor publice din județul Caraș-Severin la finele anului 1988 comparativ cu situația din anul 1945.

Tabelul 1.2. Situația drumurilor publice în județul Caraș-Severin

Nr. crt.	Categorica drumurilor publice	Situația la 31 dec.		Densitatea pe 100 km ²	
		1945	1988	România	C.S.
1.	Drumuri naționale, km	320	550	9,2	6,5
2.	Drumuri județene, km	479	779	13,6	9,1
3.	Drumuri comunale, km	490	555	7,9	6,5
4.	Total drumuri, km	1 289	1 884	30,7	22,2

Din totalul de 1 334 km de drumuri județene și comunale, numai 436 km sînt modernizați restul fiind drumuri pietruite sau din pămînt.

Majoritatea drumurilor naționale au fost modernizate între anii 1955...1975, adoptîndu-se soluția sistemelor rutiere nerigide cu îmbrăcăminte bituminosă.

La finele anului 1988, conform studiilor întreprinse de autor /26/, 65 % din lungimea totală a rețelei de drumuri naționale avea durata de exploatare depășită, iar în ultimii 15 ani, volumul lucrărilor necesare aducerii lor la un nivel de fiabilitate acceptabil, a avut o evoluție invers proporțională cu creșterea traficului și în special a traficului greu (fig. 1.1).

Această stare de fapt a dus la o descreștere continuă a fiabilității întregii rețele de drumuri naționale, dar în mod deosebit asupra sectoarelor de drumuri europene care preiau cea mai mare parte din traficul internațional, către ele gravitînd și toate celelalte drumuri din județ.

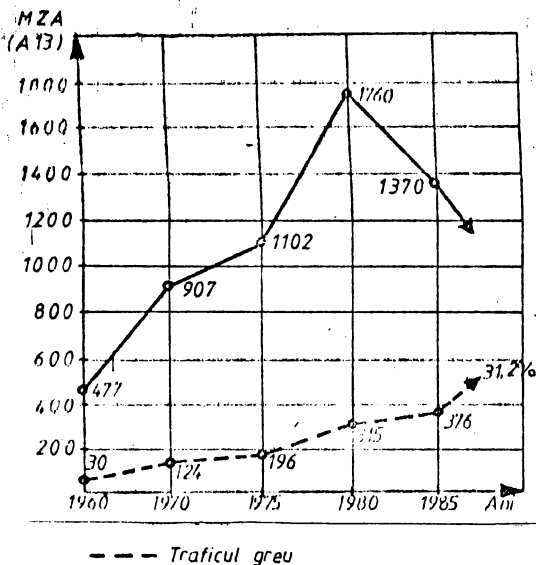


Fig.1.3. Evoluția traficului în județul Caraș-Severin.

Este cazul drumului european E 70, unul din principalele drumuri naționale ale țării care străbate județul Caraș-Severin pe o lungime de peste 105 km și care preia circa 80 % din traficul internațional din partea de sud-vest a țării, făcând parte din culoarul T.E.M. (Trans European Motorway).

După anul 1980 se observă o scădere relativă a volumului total de trafic, dar procentul în continuă creștere a traficului greu (circa 30 % în anul 1985) reprezintă

un semn de atenționare pentru administrația drumurilor.

Studii din Franța și RDG /115/, au scos în evidență influența nefastă a suprasarcinilor vehiculelor privind durata de exploatare a drumurilor, datorită creșterii accentuate a degradărilor, câteva date în acest sens fiind prezentate în tabelul 1.3.

Tabelul 1.3. Reducerea duratei de exploatare a drumurilor, în funcție de creșterea sarcinii pe osie.

Creșteri sarcină pe osie cu:	Degradări din trafic		Durata de exploatare	
	R.S.B.	R.S.H.	R.S.B.	R.S.H.
10 %	1,5	2,6	0,67	0,38
20 %	3,0	6,2	0,50	0,16
30 %	4,8	13,8	0,36	0,07

- R.S.B. - ranforsări cu straturi bituminoase;
 - R.S.H. - ranforsări cu straturi stabilizate cu lianți hidraulici.

Se observă cum la o creștere cu 20 % a sarcinii pe osie, durata de exploatare în cazul unor drumuri cu îmbrăcăminte bituminoasă, se reduce cu 50 %.

Faptul că drumurile din România preiau și o parte din traficul internațional, nu putem rămâne indiferenți atât la creșterea producției de autovehicule ale altor țări cât și la creșterea tot mai accentuată a sarcinii pe osie, deci a traficului greu și supragreu.

Dintre multitudinea de factori care acționează asupra drumului pe toată perioada de exploatare, determinant rămâne traficul rutier, iar cuprinderea tuturor acestor factori în acțiunea de emitere a unei decizii obiective privind întreținerea și ranforsarea drumurilor, nu se poate face decât printr-un Sistem de Gestionare Optimizată a Drumurilor (S.G.D.), utilizând ca instrument de lucru statistica matematică și Banca de date rutiere.

La cel de al XVIII-lea Congres Mondial de drumuri, Bruxelles, septembrie 1987, printre problemele nerezolvate și care stau în fața cercetărilor din sectorul rutier s-au enumerat și:

- cuantificarea calităților funcționale (de suprafață) și structurale ale drumurilor: uniformitatea, făgașe, rugozitate și portanță, paralel cu stabilirea valorilor "limită" aferente;

- studiul critic al avantajelor și inconvenientelor utilizării indicelui global al calității (I.G.C.) drumurilor, ținând seama de existența unei diferențe între defectele structurale și defecțiunile de suprafață, cu toate că efectele de suprafață se constituie ca un "mesager" al defecțiunilor de ordin structural;

- elaborarea unor modele matematice susceptibile de a prognoza evoluția defecțiunilor unui sector de drum, a calităților funcționale, care sînt permanent într-o evoluție dinamică datorită condițiilor specifice de exploatare, trafic rutier ș.a.

În continuare sînt prezentate rezultatele studiilor obținute printr-o abordare sistemică a evoluției calității drumurilor în timp, deci a stabilității lor, utilizînd statistica matematică și Banca de Date Rutiere din cadrul Sistemului Informațional (S.I.), al Direcției de Drumuri și Poduri Timișoara.

1.2. ANALIZA FIABILITĂȚII DRUMURILOR NAȚIONALE DIN JUDEȚUL CARAȘ-SEVERIN, ÎN FUNCȚIE DE EVOLUȚIA TRAFICULUI

Odată cu ridicarea nivelului tehnic și de complexitate al drumurilor, precum și cu creșterea implicațiilor economico-sociale ale exploatării lor, anumite caracteristici calitative au dobândit o importanță deosebită, fiind urmăriile cu prioritate pe toată durata de exploatare.

Astfel, caracteristicii ca: fiabilitatea, mentenabilitatea, disponibilitatea și protecția mediului înconjurător, s-au impus ca noțiuni cu caracter de sine stătător în cadrul categoriei mai largi a calității drumurilor /24/, ca atare se impun a fi cunoscute, proiectate, realizate și exploatate la nivelul cerințelor obiective de valorificare superioară a tuturor resurselor umane, materiale, financiare și energetice disponibile.

1.2.1. Probleme de bază ale fiabilității.

Adaptări ale conceptului.

Noțiunea de fiabilitate - denumită la început siguranță în exploatare - s-a desprins din conceptul de calitate, relativ recent, devenind o condiție tehnică, o caracteristică de importanță primordială a unui produs complex, în cazul de față drumul, abia în ultimile 2 decenii, când s-a ajuns la concluzia că nu se mai pot folosi metode empirice în proiectare, execuție și exploatarea drumurilor.

Cu toate că fiabilitatea este o noțiune de sine stătătoare, între noțiunile calitate și fiabilitate există o strânsă legătură.

Calitatea unui drum, reprezintă totalitatea proprietăților care-l fac corespunzător pentru utilizare potrivit destinației respective, iar fiabilitatea lui este capacitatea de a-și menține calitatea pe toată durata de exploatare, deci fiabilitatea este calitatea drumului extinsă în timp /24/.

Conceptul de fiabilitate /20/, în domeniul construcțiilor rutiere se poate utiliza în următoarele sensuri:

1) ansamblul caracteristicilor calitative ale unui drum, care determină capacitatea acestuia de a fi exploatat în condițiile inițial stabilite, o perioadă de timp cât mai îndelungă-

tă;

2) mărime ce caracterizează siguranța în funcționare a unui drum, aceasta fiind definită prin ansamblul de valori prescrise indicilor unui sistem de caracteristici de calitate (elementari și funcționali);

3) măsura probabilității de bună funcționare a drumului în conformitate cu normele prescrise.

Dacă fiabilitatea înseamnă "calitate în timp", rezultă că fiabilitatea este strâns legată de cea de defectare, de reducere pe parcurs a calităților inițiale ale drumului datorită apariției defecțiunilor, ca atare se impune luarea de măsuri în vederea reducerii întregului sistem tehnic aferent drumului la parametri inițiali, aspect tehnic ce se poate realiza prin renforșare, în funcție de traficul de perspectivă și de alți factori cu influențe directe sau indirecte asupra comportării drumului în exploatare.

În fig. 1.4. se prezintă curba de variație în timp a

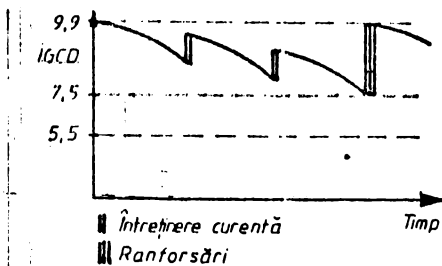


Fig.1.4. Variația I.G.C.D. al unui drum, în timp.

indicelui general privind calitatea de disponibilitate (I.G.C.D.) a unui drum, precum și valorile limită pentru care se impun intervenții în scopul readucerii lui la un nivel calitativ corespunzător traficului de perspectivă și condițiilor specifice de exploatare.

Capacitatea drumului de a fi "reparat" după apariția defecțiunilor, se reține că o primă componentă a fiabilității, cunoscută în teoria generală a fiabilității produselor sub denumirea de mentanabilitate, componentă ce se desfășoară în timp, ca atare dimensiunea temporală este o componentă intrinsecă a fiabilității.

O altă componentă a conceptului de fiabilitate a drumului, o constituie încă și condițiile concrete în care este exploatat, ținând cont de faptul că o exploatare a lui în alte condiții decât cele avute în vedere la proiectare și execuție (sarcina pe osie, regim hidrologic etc.), atrage după sine dereglări grave în buna comportare sub exploatare, reducându-i astfel Media Timpului de Bună Funcționare (M.T.B.F.).

Caracterizarea nivelului tehnic și calitativ al drumului prin fiabilitatea lui, implică inevitabil conceptul de

probabilitate.

Modelarea matematică în fiabilitate (cuantificarea) se bazează pe densitatea de probabilitate a apariției defecțiunilor în timp și se notează cu $f(t)$.

Funcția de repartiție a evenimentului privind apariția defecțiunilor, este dată de relația l.l., din teoria generală a fiabilității /24/:

$$F(t) = \int_0^t f(\tau) d\tau \quad | - | \quad (1.1.)$$

Probabilitatea ca între 0 și t (timp) să nu apară la drum nici o defecțiune, este complementul față de 1 al funcției de probabilitate $F(t)$ și reprezintă chiar fiabilitatea drumului, $R(t)$, între ele existînd relația /24/:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad | - | \quad (1.2.)$$

O altă noțiune preluată din teoria fiabilității este rata defectării, $\lambda(t)$, a apariției defecțiunilor la suprafața de rulare a drumului, ea reprezentînd probabilitatea ca drumul, în stare bună la timpul t , să suporte apariția unor defecțiuni în intervalul $(t+dt)$, reprezentînd o densitate de probabilitate, deci $\lambda(t)$ și $F(t)$ sînt funcții ce reprezintă același eveniment, apariția defecțiunilor, între ele existînd relația 1.3.:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau} \quad | - | \quad (1.3.)$$

În practică, interesează în mod deosebit rata apariției defecțiunilor la un drum, durata lui de exploatare fiind în funcție de timp, trafic rutier ș.a.

1.2.1.1. Formularea obiectivelor.

Probabilitatea ca un drum să se mențină în limita parametrilor de bună funcționare în conformitate cu normele specifice prescrise, după o durată de timp consumată pentru "restabilire", impusă de o degradare evolutivă într-o perioadă de exploatare, se definește a reprezenta disponibilitatea lui. Această probabilitate se referă de fapt la două aspecte înțelinate:

- 1) probabilitatea funcționării întregii structuri rutiere în limitele prescrise;
- 2) probabilitatea atingerii limitelor normate și a restabilirii capacității de bună funcționare a drumului, defi-

nite inițial.

În cazul drumurilor, utilizatorii pretind, în primul rând, ca drumul să fie permanent disponibil, deci să aibă o fiabilitate corespunzătoare, ca utare se impun ca o necesitate anumite căi de creștere a disponibilității. Din teoria fiabilității /120/, se cunosc patru mijloace de ridicare a gradului de disponibilitate:

- 1) fiabilitate;
- 2) mentenanță;
- 3) exploatare corectă;
- 4) înnoire.

Pentru studiile inițiate, este semnificativă disponibilitatea prin înnoire, aspectul tehnic rutier al acestei definiții fiind cunoscut în activitățile rutiere privind aplicațiile terotehnice din ultimile două decenii de activitate.

Dacă se notează fiabilitatea cu F, mentenabilitatea cu M și disponibilitatea prin D, toate ca probabilități, rezultă următoarea relație de definire a legăturilor dintre ele /20/:

$$D = F + (1 - F) \cdot M \quad /-/ \quad (1.4.)$$

Obiectivul principal al studiilor de fiabilitate rutieră este, în final, asigurarea unei disponibilități optime rețelei rutiere, pentru toți utilizatorii ei, în condițiile realizării implicațiilor economico-sociale ale tuturor activităților din sectorul de drumuri publice.

Pentru a se putea asigura furnizarea unor informații de calitate, atât de necesare într-un proces de decizie, se impun a fi soluționate următoarele genuri de probleme:

- descrierea funcțiilor de fiabilitate experimentală și estimarea funcțiilor de fiabilitate teoretică, pentru situații de caz privind omogenitatea structurilor rutiere, a condițiilor de exploatare și a solicitărilor efective;

- evaluarea efectelor produse asupra disponibilității rețelei rutiere, ale tipurilor caracteristice de mentenanță, adică ale diferitelor strategii rutiere de întreținere și reformare a structurilor rutiere existente;

- furnizarea informațiilor pentru crearea unor modele de optimizare a strategiei rutiere, adică pentru stabilirea valorilor raționale ale parametrilor care generează probabilitățile F și M în cadrul domeniilor limitate de valorile extreme: F = 1 și M = 0 (structuri rutiere supradimensionate și fără întreținere) sau F = 0 și M = 1, aferente situației când con-

dițiile de circulație sînt asigurate printr-o întreținere intensivă și permanentă, așa cum este cazul drumurilor nemodernizate.

1.2.1.2. Solicitățile în exploatare și fiabilitatea drumului.

După teoria fiabilității /24/, solicitățile la care sînt supuse elementele componente ale unui sistem, se pot grupa în două clase, după modul cum acționează:

1) solicitări pasive, datorate mediului înconjurător și care acționează indiferent dacă elementul din cadrul sistemului este în acțiune sau nu;

2) solicitări active, care în cazul unui drum sînt datorate traficului rutier.

Prin fiabilitate studiem în primul rînd efectele solicitărilor din trafic, deci cele active, traficul fiind determinant în comportarea sub exploatare a unui drum.

Atît solicitările la care este supusă o structură rutieră, cît și rezistențele de orice natură a acesteia, nu se pot considera ca niște mărimi fixe, ci ele sînt aleatoare, oscilînd în jurul unor valori medii.

Nici unul dintre cei doi factori (rezistență-solicitare) nu poate fi determinat cu precizie, ca atare am recurs la o tratare a lor ca mărimi aleatoare, prin utilizarea procedurilor statistice de prelucrare a datelor și de interpretare probabilistică a rezultatelor.

Studiile și cercetările întreprinse în domeniul fiabilității drumurilor în cadrul rețelei de drumuri naționale din județul Caraș-Severin, au furnizat concluzii și propuneri, ce pot constitui, după părerea autorului, o bază a metodologiei de analiză a fiabilității drumurilor, deci de pregătire a deciziilor ce trebuie luate de către organul de administrație a drumurilor.

1.2.2. Planuri de experimente și adaptări metodologice

Drumul, ca un produs complex, îl vom analiza în continuare prin termenul generalizator de "sistem tehnic" sau mai simplu "sistem", iar elementele componente ale sistemului, prin "elemente".

Pentru o caracterizare obiectivă a drumului, ca sistem tehnic, se impune implementarea unui sistem informațional bine

dimensionat, stabilirea volumului de informații făcându-se pe baze riguroase, paralel cu o sporire a vitezei de circulație a informației, asigurându-se un raport optim dintre valoarea și costul informației (fig.1.5.). /24/.

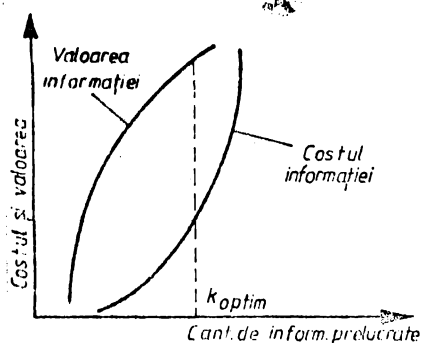


Fig.1.5. Raportul dintre valoarea și costul informației.

buie aplicată asupra întregii rețele de drumuri naționale din administrare.

1.2.2.1. Adaptări metodologice specifice.

Studiul evoluției actuale a dezvoltărilor teoretice-matematice și a aplicațiilor practice operaționale deosebit de importante în diverse ramuri ale producției, în domeniul calității și fiabilității sistemelor, precum și studiul evaluării și proiectării calității și duratei de exploatare a drumurilor, inclusiv rezultatele cercetărilor întreprinse de autor în ultimii ani în acest domeniu /18/, /20/, /21/, au asigurat acumularea unor considerații strict necesare formulării condițiilor de adaptare a metodologiei generale la specificul sectorului de drumuri.

Principalele aspecte ale adaptărilor metodologice cuprind următoarele sfere de probleme:

- obiectivele populațiilor și ale eșantioanelor aferente lor, le reprezintă hectometrul de drum, cu niveluri de consistență ale omogenității caracteristicilor de construcție, de mediu și de solicitare din trafic, bine definite;

- având în vedere importanța ce trebuie acordată omogenității, inclusiv cu privire la structura drumurilor, precum și conlucrării între componentele structurii, studiile de pri-

mă abordare a fiabilității drumurilor, au fost organizate cu acceptarea ipotezei conform căreia, obiectele (sectoarele de drum) sînt considerate elemente;

- procesul de apariție a defecțiunilor (defectarea) la aceste elemente astfel definite, se consideră a fi înregistrat la niveluri semnificative ale calităților funcționale ale drumurilor, avînd în vedere procesul real al degradării evolutive în cazul structurilor rutiere suple;

- în baza rezultatelor studiilor anterioare /21/, la estimarea fiabilității teoretice s-a avut în vedere în principal modelul Weibull triparametric, cunoscut în general prin faptul că descrie foarte bine mecanismul defectării în care intervin procese de defectare în timp prin uzură sau acumulări de sollicitări datorate traficului sau alți factori /24/.

Legea Weibull triparametrică, $W3p$, reprezintă varianta completă iar funcția de fiabilitate adoptată în studii are forma:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\gamma}\right)^{\beta}} \quad /-/ \quad (1.5.)$$

unde: β este parametrul de formă; t - variabila independentă, timp, în ani; γ - parametrul de scară și δ - parametrul de poziție.

Pentru verificarea ipotezelor $W3p$, s-a apelat la testul Kolmogorov - Smîrnov, test de distanță, în sensul evidențierii mărimilor depărtării dintre funcția de repartiție experimentală și funcția de probabilitate teoretică estimată.

În scopul determinării unei relații generale, parametrizate, pentru descrierea funcției de stare a drumurilor cu structuri rutiere suple, se consideră utilă pentru viitor exprimarea parametrilor δ , γ și β ca funcții ale caracteristicilor principale ale drumului, ale mediului și sollicitărilor, iar în cazul modelelor operaționale constituite pe subrețele de drumuri prin banca de date rutiere, se pot determina relații de tipul celor prezentate în paragraful 1.2.6., proprii situațiilor de caz analizate prin biblioteca de programe care conține aplicația de tip FIADEN (vezi anexa 1).

Pentru analiza cu caracter general, utilizînd parametrizări δ , γ și β teoretizate, rezultă utilitatea formei de regresie neliniară, stabilită cu ocazia unor studii anterioare /20/, /21/:

$$MTBF(iGCX)_f = 9,3 - 0,018 \cdot A(X) \cdot t^{B(X)}$$

(1.6)

în care: $MTBF(IGCX)_t$, este indicatorul legii de stare exprimat prin media timpului de bună funcționare (pentru cazul funcționării X), la niveluri succesive de gravitate ale procesului de degradare evolutivă, în timp; $A(X)$ - este funcția $A=f(\gamma, \beta)$ pentru cazul X; $B(X)$ - este funcția $B=g(\gamma, \beta)$ pentru cazul X, iar t este timpul, în ani: $t=1, \dots, T$.

În aceste relații, γ și β sînt funcții ale caracteristicilor mediului și construcției, respectiv de solicitări, β .

Pentru aplicații practice, sînt prezentate relațiile de calcul 1.22...1.24 pentru subrețelele de drumuri din județul Caraș-Severin.

1.2.2.2. Definierea atributului "defectării"

Starea tehnică a unei rețele de drumuri moderne se stabilește pe sectoare omogene de drum, iar caracteristicile pentru determinarea stării tehnice a acestora sînt următoarele /19/:

a) indicele hectometric viagraf, I_{hv} , cu ajutorul căruia se caracterizează planeitatea suprafeței de rulare în profilul longitudinal al drumului;

b) rugozitatea S.R.T., sau înălțimea de nisip, H.S., ce caracterizează rugozitatea îmbrăcămintilor rutiere;

c) deformația elastică caracteristică, d_c , a complexului rutier, prin care se caracterizează capacitatea portantă a drumului;

d) indicele de degradare al îmbrăcămintei rutiere, I.D., prin care se exprimă starea de degradare a acestora.

Metodologia, valorile parametrilor și ale indicilor de evaluare a stării tehnice a drumurilor, fac parte integrantă din sistemul de administrare optimizată a drumurilor moderne.

Studiile și cercetările întreprinse au fost orientate în sensul aplicării prescripțiilor metodologice instrucionizate /18/, /29/, rezultatele obținute reprezentînd informații deosebit de utile pentru activitățile rutiere practice, actuale.

Avînd în vedere că aceste instrucțiuni (CD - 155/86) au intrat în vigoare doar începînd cu anul 1986, ~~baza de date~~, constituită pe parcursul studiilor, începînd cu anul 1977, nu a fost realizată conform acestor prescripții în cauză, iar ulterior nu au putut fi reconstituite datele în totalitate (este vorba în special de sistemul de notare).

Importanța deosebită pe care o prezintă pentru studii de fiabilitate girurile dinamice complexe ale valorilor de observație, în vederea eliminării pe cât posibil, a experimentelor trunchiate și cenzurate, am apelat la valorificarea în prelucrării primare a datelor sub forma informațiilor asupra evoluției caracteristicilor de stare elementară și a indicatorilor calitatilor funcționale principale ale rețelei de drumuri din județul Caraș-Severin.

În acest fel, definirea atributului "defectării", s-a bazat pe cunoașterea valorilor de primăvară și de toamnă ale anumitor tipuri de defecțiuni ca: văluriri, făgașe, gropi, suprafețe poroase și șlefuite, fisuri și crăpături, falanțări, ș.a.

Aceste defecțiuni au fost recenzate la nivelul suprafeței de rulare a drumului, prin evaluări atributive (existența sau nu a lor), la diferite niveluri ale gravității apariției lor.

Valorificând aceste defecțiuni, s-au determinat indicatori globali aferenți calităților funcționale distincte ale fiecărui drum în parte (siguranța și confortul circulației, disponibilitatea de exploatare pentru utilizatori, disponibilitatea tehnică pentru organul de administrare al drumurilor, economicitatea drumului și altele) /20/, /21/.

Metodologia s-a dovedit a fi utilă și pentru aplicații practice în scopul evaluării comportării în timp a drumurilor /126/, /18/.

De exemplu, în cazul indicatorului privind confortul circulației (I.C.C.C.) s-a definit relația:

$$IGCC = 9,3 \left(\prod_{i=1}^8 ID_i \right)^{0,707 - 0,3 \sqrt[8]{i}} \quad (1.7)$$

în care $ID_1, i = 1, \dots, 8$ reprezintă valori atribuite indicatorilor tuturor tipurilor de defecțiuni recenzate, valori cuprinse între 0,59...1,0, funcție de gravitatea apariției defecțiunii și de influența acesteia asupra confortului circulației.

Având în vedere posibilitățile de echivalare a rezultatelor studiilor conduse după cele două metodologii - cea instructivă în vigoare /151/, actualmente în curs de dezvoltare și cea operațională aplicată în prezentele studii, încă de la abordarea cercetărilor din anul 1977 /18/, /21/-, concluziile studiilor de fiabilitate efectuate au fost formulate spre operaționalizare fără dificultăți și se aplică în cadrul

D.D.P. Timișoara.

1.2.3. Dezvoltări privind prelucrarea automată a datelor

În scopul organizării unei prelucrări operative a datelor aferente cercetărilor efectuate, cercetări cu un mare volum de date și de o complexitate considerabilă, precum și pentru asigurarea condițiilor de valorificare operațională a cercetărilor la nivelul sectorului rutier, studiile efectuate în colaborare cu Oficiul de Calcul Electronic (O.C.E.) din cadrul D.D.P. Timișoara, au cuprins și elaborarea unor programe de calcul, o parte dintre ele fiind prezentate în anexa 1.

Un prim ansamblu de aplicații informatice se referă la prelucrări statistice curente, cu orientări specifice domeniului de cercetări rutiere, cuprinzând programe de calcul automat privind:

- dezvoltarea aplicației pentru controlul tehnic al calității lucrărilor rutiere, prin măsurare, bazată pe metode statistice: COLSTAT /21/;

- studii și cercetări statistice generale: calculul corelațiilor și regresiiilor liniare și neliniare (COLLIN, CONELIN etc) și al indicatorilor statistici uzuali (coeficientul de asimetrie, de boltire ș.a.).

În al doilea rând, s-au valorificat rezultatele prelucrării automate a datelor (P.A.D.) din cadrul S.I. al D.D.P. Timișoara, ca:

- evaluarea caracteristicilor actuale și propozate ale solicitărilor din traficul rutier (RECENS, CONTRAF);

- indicii de capacitate portantă (C.P.) prin deflectometrie rutieră (DEMFLEX);

- evaluarea planității suprafeței de rulare a drumurilor (VIAGRAP ș.a.).

A treia direcție de utilizare a facilităților P.A.D., o reprezintă elaborarea, ca parte integrantă a prezentelor studii, a aplicației informatice FIADEN, privind prelucrarea datelor pentru studiul de stabilitate a drumurilor pe bază de experimente în județul Caraș-Severin.

Aplicația FIADEN s-a realizat într-o primă versiune, pe sistem de calcul de tipul microcalculatoarelor din dotarea unităților de drumuri (ROBOTRON, CORAL), asigurându-se posibilitatea exploatării acesteia la orice nivel generalizat.

1.2.3.1. Organizarea experimentelor

Studiile au cuprins integral rețeaua drumurilor naționale din județul Caraș-Severin (vezi fig.2.1), în lungime totală de 550 km, conform situației VIABILITĂȚII drumurilor la 31 decembrie 1988, deci o populație de obiecte de 5 500 sectoare hectometrice.

Au fost reținute pentru studii de fiabilitate la un prim nivel al omogenității constructive, mediu și solicitările din traficul rutier, un număr de 2 526 sectoare, eliminându-se cele pietruite, cele cu îmbrăcăminte din beton de ciment sau ranforsate în ultimii 5 ani, din considerente de neomogenitate.

Experimentul de bază cu rădăcina de simbol EO se compune din sectoare diferite:

D.N. 6	: km 413+850 - 443+850 = 300 hm
	km 457+000 - 474+500 = 175 hm
D.N. 57	: km 110+350 - 177+250 = 669 hm
D.N. 58	: km 0+000 - 66+300 = 663 hm
D.N. 59	: km 110+000 - 441+000 = 331 hm
D.N. 60	: km 0+000 - 411+000 = 411 hm
	<u>Total</u> 2 526 hm

554 357
292 F

Caracteristicile de bază ale acestor sectoare cuprinse în acest experiment, sînt prezentate sintetic în tabelul 1.4.

Ansamblul de sectoare rutiere din EO, a fost supus studiilor de fiabilitate față de niveluri distincte ale definirii defectării, din EO fiind aleși aleator 1 329 hm pentru experimentare în cazurile :

- EO₁, nivelul apariției cerințelor de intervenție prin lucrări de întreținere-reparații curente (valoarea indicatorului global al calității funcționale de disponibilitate tehnică pentru administrația rutieră, I.G.C.D. = 7,3).

Se precizează faptul că această disponibilitate este axiomatic diferită de cea notată anterior D, I.G.C.D. fiind o "notă" acordată pe scara calității funcționale: 9-excelent; 3-impracticabil, pe cînd D este funcția de probabilitate privind disponibilitatea drumului din teoria generală a fiabilității (v. tabelul 1.4, punctul 1);

- EO₂, nivelul apariției necesității de ranforsare preventivă, avînd I.G.C.D. = 6,5 (tab.1.4. punctul 2);

- EO₃, nivelul apariției necesității de ranforsare în vederea eliminării noncalității funcționale pronunțate (tab.

CARACTERISTICILE PRINCIPALE
 DE LIDI SI DE SOLICITARI
 SECTOAREA DE BRUJ CURBINTI

Tabellul 1.4.

Nr. crt.	SIMBOL EXPERIMENT	POPULATIE-ESANTION NPO	NOE	TIP EXPERIMENT	TRIBUTUL DEFECTARI	d ^c 1/100 mm	F ^o dan/cm ²	VEA (A13) (1a ^o = 10 ani) nr. veh. etal.
1.	E01	2526	1329	complet	IGCD = 7.3	40...160	70...120	1300...4500
2.	E02	2526	1329	complet	IGCD = 5.5	idem	idem	idem
3.	E03	2526	1207	trunchiat	IGCD = 4.5	idem	idem	idem
4.	E0211	2526	318	complet	IGCD = 5.5	100...160	70...120	1300...3000
5.	E0212	2526	266	complet	idem	40...100	idem	1300...3000
6.	E0221	2526	410	complet	idem	100...160	idem	3000...4500
7.	E0222	2526	335	complet	idem	40...100	idem	3000...4500
8.	E02211	2526	224	complet	IGCD = 5.5	100...160	70...90	3000...4500
9.	E02212	2526	186	complet	idem	idem	90...100	idem
10.	E11	54	54	complet	IGCD = 7.3	60...120	90...100	2300
11.	E12	54	54	complet	IGCD = 5.5	idem	idem	idem
12.	E13	54	54	complet	IGCD = 4.5	idem	idem	idem
13.	E51	32	32	complet	HP = 13 mm	60...80	100	3300
14.	E52	32	32	trunchiat	HP = 25 mm	idem	idem	idem

1.4. punctul 3).

În continuare, experimentul EO_2 s-a defalcat în clase de experimente, rezultate printr-o grupare a sectoarelor de drum în funcție de caracteristicile de primă importanță privind comportarea în exploatare a drumurilor, ca: modulul de deformare echivalent existent al complexului rutier, E_{dce} (daN/cm²); modulul de deformare al terenului de fundație, E_0 (daN/cm²) și caracteristicile solicitărilor din trafic, în special intensitatea exprimată în MZA, vehicule A13, aferentă celui de al zecelea an de exploatare a drumului.

Pentru situațiile când au fost efectuate anterior măsurători de deflectometrie, ele au fost valorificate în experimentele derivate din EO_2 : EO211; EO212; EO221 etc., în funcție de caracteristicile specificate mai sus.

La un al doilea nivel de exigență privind definirea omogenității vectoriale a populației și esanționului, E_1 , au fost supuse studiilor de fiabilitate sectoarele de drum dintr-o subpopulație extrasă din câmpul experimental aferent D.N. 6, care cuprinde 54 de obiecte, astfel:

km 417+000 - 420+000 = 30 hm

km 426+600 - 429+000 = 24 hm

toate fiind cuprinse în experimentele: E_{11} , E_{12} și E_{13} , cu scopul de a urmări acuratețea ipotezelor fiabilității teoretice sub influența gradului de omogenitate.

De asemenea, un al treilea ansamblu de experimente, ES (v. tab. 1.4.), a cuprins un esanțion omogen, în cadrul căruia s-a urmărit fiabilitatea drumurilor nu sub aspectul complex al indicatorilor calității funcționale, ci doar sub aspectul analizei distincte privind comportarea în exploatare a drumurilor exprimată prin diferite tipuri de defecțiuni. Sînt prezentate experimentele ES_1 și ES_2 , privind evoluția fîgagelor longitudinale pe D.N. 58: km 22+500 - 24+300, în cazul a 32 obiecte, acestea fiind părți componente avînd lungimile cuprinse între 10...100 m.

Din punct de vedere al etapei de realizare a studiului fiabilității se deosebesc /24/:

- fiabilitatea experimentală, determinată pentru drumuri în exploatare efectivă;

- fiabilitatea teoretică sau previzională, determinată pe baza considerențelor privind concepția și proiectarea drumului, precum și pe baza fiabilității experimentale cunoscute

pentru condiții similare de exploatare.

În contextul degradării tehnice și funcționale evolutive, indicatorul de bază al fiabilității experimentale îl constituie "frecvența relativă a defecțiunilor", $f(t_i) / 20/$:

$$f(t_i) = k_i / \sum_{i=1}^n k_i \quad | - | \quad (1.8)$$

în care: t_i este timpul concretizat prin momentele succesive i , $i = 1, \dots, n$;

k_i - numărul sectoarelor de drum cu defecțiuni la momentul i ;

n - limita momentelor succesive, i , implicit "numărul" de momente de observație ale experimentului.

Studiile întreprinse în domeniul calimetriei și fiabilității drumurilor - asemenea altor studii cunoscute - au condus la concluzia că, în condițiile climatice specifice ale rețelei de drumuri supusă analizelor, este rațională alegerea momentelor semnificative în contextul definirii "intervalului de timp" la nivelul anilor, avînd în vedere caracterul sezonier pronunțat al desfășurării fenomenelor reale privind comportarea în timp a drumurilor.

1.2.4. Fiabilitatea experimentală a structurilor rutiere suple din județul Caraș-Severin

Sînt cunoscute eforturile cercetătorilor din sectorul rutier, privind cunoașterea, proiectarea și optimizarea duratelor de exploatare a drumurilor /140/, inclusiv în ceea ce privește sectorul drumurilor publice din țara noastră /84/, /102/.

Studiile întreprinse și prezentate în lucrare, demonstrează faptul că demersurile în aceste direcții vor fi susținute în mod util prin îmbogățirea lor cu adaptarea în domeniu a metodologiei teoriei fiabilității produselor.

1.2.4.1. Evaluarea indicatorilor fiabilității experimentale

Obiectivele derivate ale experimentelor organizate au cuprins evaluarea unui număr însemnat de indicatori specifici, după cum urmează:

- 1) caracteristici ale experimentelor de fiabilitate:
- numărul sectoarelor de drum din populație, NPO;

- numărul sectoarelor din eșantionul prelevat, NOE;
- numărul sectoarelor cu defecțiuni, NOR;
- intervalul (anul) apariției primelor defecțiuni,

NIN (1);

- intervalul ultimilor observații, NIN (N);
- numărul de intervale a apariției defecțiunilor,

dtDEF;

- numărul intervalelor fără defecțiuni, t_f tot SEMI;
- raportul NOR/NOE și NOR/NPO.

2) Indicatori statistici generali:

- momentul central de ordinul 3 și 4;
- coeficientul de asimetrie Pearson-Fisher, $\sqrt{\beta_1}$;
- coeficientul de boltire, Pearson, $\sqrt{\beta_2}$;
- indicatorul de exces Fisher, E;
- dispersia timpului de funcționare, Dtf;
- abaterea medie pătratică a timpului de funcționare,

Stf;

- coeficientul de variație a timpului de funcționare,

CV.

3) Indicatori "punctuali" (pe intervale și global) ai fiabilității:

- frecvența relativă a defectărilor, $f(t+Dt)$;
- frecvența relativă cumulată a defectărilor, $F(t)$;
- funcția fiabilității experimentale, $R(t)$;
- rată de defectare, $Z(t+Dt)$;
- densitatea defecțiunilor pe intervale, $d(t+Dt)$;
- cunștanta timpului de funcționare aferentă defectării a 95 % din sectoarele eșantionului, qf, 95 %;
- media timpului de bună funcționare, MTBF.

Avînd în vedere cîmpul vast al experimentărilor organizate, precum și numărul mare al indicatorilor analizați, în teză se prezintă doar formularea unora dintre cele mai semnificative rezultate obținute, documentația completă a studiilor și cercetărilor întreprinse fiind accesibilă pentru analize de detaliu, tuturor solicitărilor.

Caracteristicile principale ale fiabilității experimentale sînt prezentate în tabelul 2.5., din care se rețin următoarele observații:

- încercările de analiză pe intervale ce cuprind doi, trei sau mai mulți ani, demonstrează utilitatea și posibilitatea limitării dimensiunii intervalelor la un an;
- valorile indicatorilor statistici generali, demon-

CALE CARACTERISTICILE PRINCIPALE ALE FIABILITATII
 ALIMENTARE, INDICATELE STATISTICE SI INDICATORI PONCUALI PE
 INTERVALE SI CLASE SI AL FIABILITATII EXPERIMENTALE

nr. crt.	Symbol Experiment	MIN(1) anul	MIN(F) anul	$\sqrt{\beta_1}$	β_2	F	Stf ani.	CV	g/25% anul	Mrf ani
1.	E01	4	19	1,086	8,582	8,582	1,17	0,17	5,5	6,9
2.	E02	7	17	0,124	8,325	5,325	1,96	0,19	8,5	10,3
3.	E03	14	20(x)	0,090	2,716	-0,284	1,66	0,09	17,0	17,7
4.	E0211	7	11	0	2,726	-0,274	0,94	0,10	7,5	9,0
5.	E0212	10	17	0,839	2,348	-0,652	2,25	0,18	10,5	12,0
6.	E0221	7	11	3,098	15,214	12,214	1,03	0,11	7,5	9,1
7.	E0222	9	13	3,172	14,690	11,690	0,97	0,09	10,0	10,7
8.	E02211	7	17	0,434	2,365	-0,635	0,78	0,09	7,5	8,6
9.	E02212	8	16	0,221	2,051	-0,949	0,86	0,09	8,5	9,6
10.	E11	6	10	3,668	22,564	19,564	0,83	0,10	5,9	8,1
11.	E12	12	18	0,184	3,063	0,063	1,22	0,08	14,0	14,8
12.	E13	17	23	0,472	3,409	0,409	1,27	0,08	18,0	18,8
13.	E31	9	12	0,024	2,180	-0,020	1,07	0,10	7,5	8,9
14.	E32	12(x)	15	0,695	2,744	-0,256	1,06	0,09	13,0	14,2

x) - experimente trunchiate; pentru evaluări s-au considerat valori finale extrapolate.

strează justetea eliminării repartiției normale a frecvențelor relative a defecțiunilor;

- valorile experimentale ale abaterilor medii pătratice ale timpilor de funcționare și valorile coeficienților de variație, furnizează bazele posibilităților de operaționalizare aplicativă a cercetărilor; $CV < 2\sigma$, atestă posibilitatea unei interpretări utile a fenomenelor de comportare în exploatare a drumurilor;

- cunoașterea valorilor cuantilelor de probabilitate poate furniza informații deosebit de utile pentru definirea strategiei rutiere în procesul delicat de luare a deciziilor de către organele de sinteză;

- pe măsura accentuării exigenței definirii parametrilor și valorilor omogenității sectoarelor de drumuri (mărirea succesivă a exigenței: EO, E1, ES) în studiu, frecvența maximă pe intervale crește, aspect ce impune de la început necesitatea unei analize de tip cost-beneficiu a modului de organizare și valorificare efectivă a metodologiei propusă în baza studiilor de fiabilitate asupra drumurilor naționale din județul Caraș-Severin. Rezultatele analizei fiabilității experimentale a drumurilor în studiu, se pot aplica și pentru alte subrețele sau rețele de drumuri, dar să se stabilească și să se utilizeze parametrii specifici acestora.

1.2.4.2. Studiul procesului evolutiv al defecțiunilor

Experimentele EO1...EO3, respectiv E11...E13 și parțial ES1 și ES2, furnizează informații deosebit de semnificative privind caracteristicile procesului evolutiv al apariției defecțiunilor la fixarea sector de drum în parte.

În acest context, evoluția defectării este descrisă prin nivelurile decedente ale indicatorului global al calității funcționale privind disponibilitatea tehnică pentru administrarea drumurilor (EO și E1), respectiv privind defecțiunea de tip fâgășe longitudinale, ES.

Nivelurile reprezentative de degradare în cazul fâgășelor (HF=1 cm pentru ES1 și HF=2 cm pentru ES2), se ating la momente (intervale) diferite, succesive în timp.

Procesul evolutiv al apariției defecțiunilor, descris prin indicatorul funcției de fiabilitate experimentale, se caracterizează prin valorile reprezentate ca exemplu, în fig. 1.6., pentru EO; fig. 1.7., pentru E1; fig. 1.8., pentru ES și

fig. 1.9., pentru E0221.

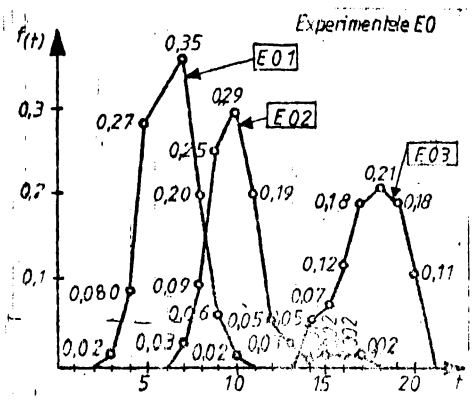


Fig. 1.6.

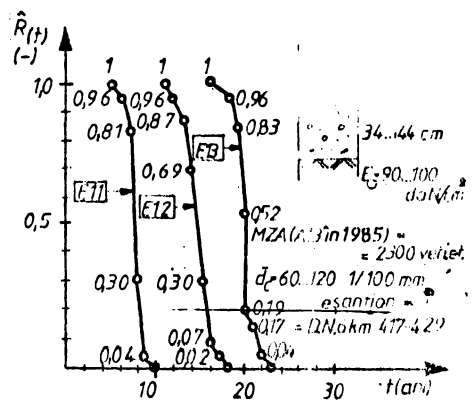


Fig. 1.7.

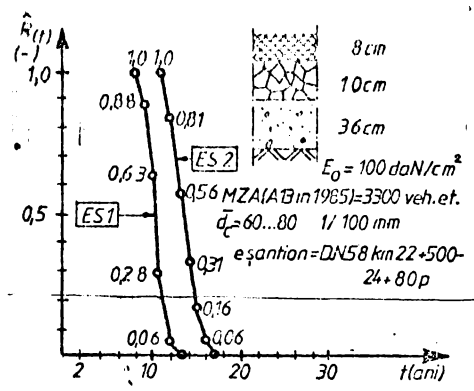


Fig. 1.8.

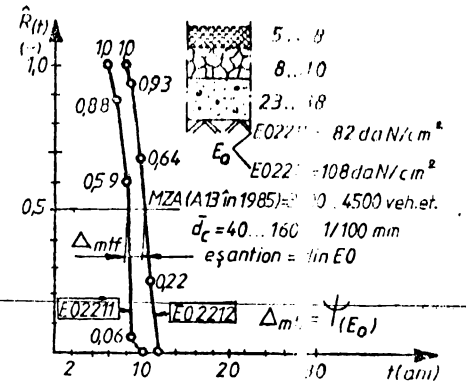


Fig. 1.9

Dintre observațiile formulate asupra rezultatelor experimentale, se remarcă următoarele:

- studiul amplitudinii funcției de frecvență relativă experimentală a defectărilor ne indică faptul că, la nivelurile de gravitate inferioare, se manifestă pregnant efectul caracteristicilor de construcții (în special calitatea execuției îmbrăcămintei bituminoase), iar la cele de gravitate superioară, efectele caracteristicilor de mediu, traficului greu și forțele greu, etc.

- ecuațiile stării dinamice, definite în raport cu parametrii reprezentativi acceptați în studiu, în care variabilele independente sînt valorile medii ale timpilor de bună funcționare aferenți nivelurilor de gravitate semnificative,

sînt - pentru perioadele explorate - următoarele:

1) în cazul experimentelor EO:

$$IGCD(t) = 8,55 - 0,239 \cdot t \quad /- / \quad (1.9)$$

2) în cazul experimentelor E1:

$$IGCD(t) = 9,25 - 0,25 \cdot t \quad /- / \quad (1.10)$$

3) în cazul experimentelor ES:

$$HF(t) = -31,69 + 4,14 \cdot t \quad (cm) \quad (1.11)$$

în care IGCD(t) este indicatorul de calitate privind disponibilitatea (rezerva de capacitate portantă) drumului, iar HF reprezintă adîncimea fîgagelor.

Relațiile 1.9...1.11, sînt reprezentative pentru analiza studiilor empirice și se vor dezvolta conform necesităților (v.p.1.2.6).

1.2.4.3. Parametrii de exploatare cu influență asupra fiabilității drumurilor.

Dintre obiectivele prioritare ale studiilor de fiabilitate a drumurilor, se relevă interesul pentru studiul fiabilității în funcție de parametrii solicitărilor din traficul rutier, în mod deosebit în traficul greu și foarte greu.

În acest scop, au fost studiate variațiile aferente valorilor indicatorilor de fiabilitate experimentali, punctuali și globali, funcție de caracteristicile de mediu și de traficul rutier.

De exemplu, funcțiile fiabilităților experimentale, $R(t)$, s-au analizat sub formă:

$$R(t) = \varphi(t, d_c, RZA/A13, E_0) \quad (1.12)$$

în care, față de notațiile utilizate, d_c reprezintă deflexiunea caracteristică a complexelor rutiere aferente secțiunilor de drum în studiu, deflexiune măsurată cu deflectograful Laproix - ROMAN sau deflectometrele de tip Benkelmann și Soiltest.

În fig. 1.10., se prezintă, ca exemplu, funcțiile de fiabilitate aferente experimentelor EO211...EO222.

Influența intensității traficului rutier este considerabilă, accentuînd scăderea în timp a probabilității de bună funcționare (EO211 și EO212 se referă la trafic relativ redus, iar EO221 și EO222 la trafic relativ evoluat; corespunzător, EO211 și EO221 prezintă deflexiuni relativ defavorabile, iar EO212 și EO222 prezintă deflexiuni relativ reduse).

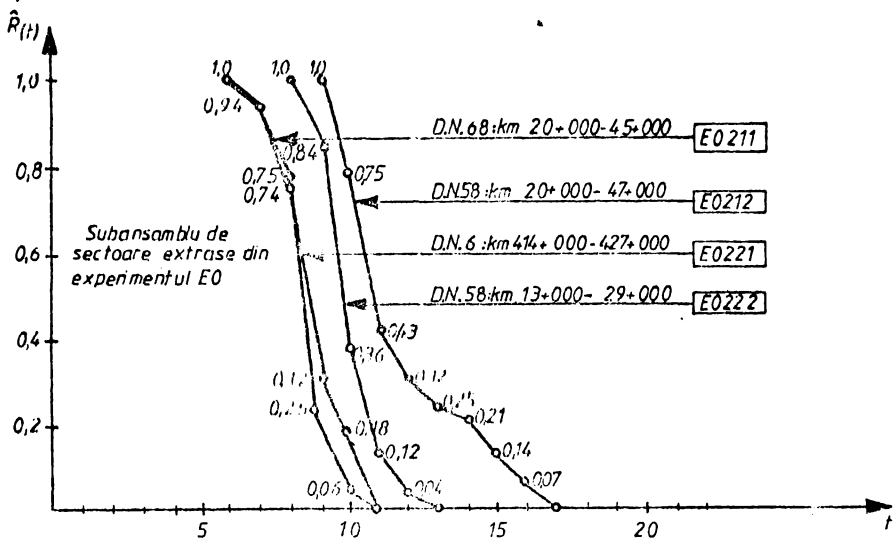


Fig.1.10. Fiabilitate experimentală. Funcția de fiabilitate empirică (exemple).

Studiile au condus la formularea următoarelor relații de regresie, interpretabile pentru domeniul cîmpului de experimentare în cauză:

1) funcția fiabilității experimentale, reprezentată prin timpul mediu de bună funcționare (MTBF), influențată de intensitatea traficului rutier, pentru domeniul deflexiunilor caracteristice favorabile, este dată prin relația:

$$MTBF = 14,21 - 1,06 \cdot 10^{-3} \cdot IZA(A13) \quad /ani/ \quad (1.13)$$

2) funcția fiabilității pentru domeniul deflexiunilor caracteristice defavorabile, este de forma:

$$MTBF = 8,89 - 5,68 \cdot 10^{-5} \cdot IZA(A13) \quad /ani/ \quad (1.14)$$

3) același indicator în funcție de capacitatea portantă a complexului rutier, descrisă prin valoarea deflexiunii caracteristice, în funcție de trafic relativ vedea:

$$MTBF = 14,25 - 0,0375 \cdot d_0 \quad /ani/ \quad (1.15)$$

4) în domeniul cu trafic relativ evoluat funcția are forma:

$$MTBF = 11,375 - 0,0163 \cdot d_0 \quad /ani/ \quad (1.16)$$

Prin experimentele E02211 și E02212, s-a urmărit efectul calității terenului de fundație asupra indicatorului MTBF rezultînd următoarea relație de regresie:

$$MTBF = 4,4 + 0,050 \cdot E_0 \quad /ani/ \quad (1.17)$$

Cu toate că domeniul de aplicabilitate practică a rezultatelor studiilor de fiabilitate experimentală este propriu subrețelelor de drumuri naționale din județul Caraș-Severin, ce au constituit eșantioanele experimentelor concrete, se desprind în baza lor concluzii de o importanță deosebită și cu caracter de generalizare, astfel:

- în activitatea de construcție și întreținere a drumurilor, este deosebit de importantă orice acțiune care conduce la îmbunătățirea caracteristicilor terenului de fundație;

- apariția cu intensitate mereu crescândă a traficului rutier greu și foarte greu, conduce la solicitări ale straturilor rutiere, depășind cu mult rezistențele admisibile ale acestora paralel cu o reducere a valorii mediei timpului de bună funcționare;

- necesitatea ranforsării sectoarelor de drum cu trafic greu și foarte greu, conduce la alegerea unor soluții mai eficiente din punct de vedere tehnic și economic /21/, rezultând în final, pe bază de studii specifice, oportunitatea realizării ranforsărilor cu fabricămintă din beton de ciment.

Cercetările aplicative efectuate în perioada 1982..1988 în baza studiilor prezentate mai sus, au condus la stabilirea sectoarelor de drumuri cu trafic greu și foarte greu astfel: D.N.57 km 108+500 - 164+000; D.N.58 km 0+000 - 38+000; D.N.6 km 358+000 - 477+400; D.N.68 km 0+000 - 20+000 și D.N.58 B km 0+000 - 20+000, iar începând cu anul 1983, s-a luat decizia ranforsării acestor sectoare cu betoane de ciment rutiere.

Analiza fiabilității experimentale, a indicatorilor statistici usuali și specifici, empirici, organizată prin observații continue în timp, a condus și conduce la obținerea unor informații utile și obiective în procesul de planificare a lucrărilor de întreținere și ranforsare a drumurilor, în funcție de evoluția calităților funcționale precum și de apariția și dezvoltarea anumitor tipuri de defecțiuni (exemplu, apariția răgănelor scoarse în evidență în experimentul ES).

Dar, pentru asigurarea condițiilor de generalizare a valorificării rezultatelor studiilor întreprinse, acestea s-au dezvoltat de către autor, inclusiv în domeniul fiabilității teoretice, în scopul evaluării în baza metodologiilor adaptate, a legităților generale ale fenomenelor legate de comportarea în exploatare a drumurilor și căilor de optimizare a strategiei rutiere.

1.2.5. Fiabilitatea teoretică a structurilor rutiere suple

Pentru modelarea proceselor de rezistență în timp în cadrul fenomenelor de degradare ce se manifestă inclusiv sub formă de uzură și oboseală, se recomandă, în orice domeniu de produse complexe (sisteme), abordarea formelor de repartiție teoretică de tip Weibull /24/.

Studiile întreprinse asupra modului de comportare în exploatare a drumurilor cu structuri rutiere suple, justifică descrierea fenomenelor prin estimări foarte bune în cazul alegerii repartiției W3p.

1.2.5.1. Indicatorii W3p punctiformi ai fiabilității

Forma funcției fiabilității teoretice W3p, este cea prezentată în relația 1.5., iar pentru un câmp de experiență dat, cei trei parametri ai repartiției teoretice se estimează prin următorii estimatori:

- estimatorul parametrului de poziție, $\hat{\delta}$;
- estimatorul parametrului de scală, \hat{q} ;
- estimatorul parametrului de formă, $\hat{\beta}$;

Prezentând sintetic concluziile finale ale celor 14 experimente (tabelul 1.5) aferente submulțimilor de sectoare de drumuri naționale din județul Caraș-Severin (p.1.2.3.1.), se utilizează notațiile conform relației 1.5. Rezultatele privind estimările cele mai favorabile formulate asupra parametrilor repartiției W3p, sînt prezentate în tabelul 1.6.

Cu ajutorul valorilor obținute s-au descris indicatorii principali teoretici W3p, astfel /24/:

- funcția densității de probabilitate este:

$$f(t) = \frac{\hat{\beta}}{\hat{q}} \left(\frac{t - \hat{\delta}}{\hat{q}} \right)^{\hat{\beta} - 1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \hat{\delta}}{\hat{q}} \right)^{\hat{\beta}}} \quad | - | \quad (1.18)$$

- funcția de repartiție:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t - \hat{\delta}}{\hat{q}} \right)^{\hat{\beta}}} \quad | - | \quad (1.19)$$

- rata de defectare are forma:

$$z(t) = f(t) / R(t) \quad | - | \quad (1.20)$$

- media timpului de bună funcționare:

$$MTBF = \hat{q} \cdot \Gamma \left(\frac{1}{\hat{\beta}} + 1 \right) \quad (ani) \quad (1.21)$$

- dispersia teoretică (varianța):

$$\text{Var} = \hat{\gamma}^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{\hat{\beta}} \right) - \Gamma \left(1 + \frac{1}{\hat{\beta}} \right)^2 \right] \quad (\text{ani}^2) \quad (1.22)$$

În aceste relații, e reprezintă valoarea bazei logaritmului natural, iar Γ este funcția gama.

Evaluarea estimatorilor $\hat{\gamma}$; $\hat{\gamma}$ și $\hat{\beta}$ a parametrilor W3p, precum și validarea modelelor estimate, iar, în final, calculul tuturor parametrilor și indicatorilor fiabilității teoretice a drumurilor cu structuri rutiere simple, s-au realizat prin exploatarea programului informatic FIADEN, conceput și dezvoltat în acest sens.

Ansamblul de indicatori se concretizează prin parametrul W3p pentru populația experimentului în cauză, precum și pentru populații care prezintă - cu o precizie stabilită - aceleași domenii de valori privind caracteristicile de structură, de mediu și de solicitare, transpuse prin parametrul γ , δ și

Cele mai importante informații directe perceptibile din tabelul 1.6. sînt următoarele:

- media timpului de bună funcționare (LTBF), care poate fi considerată ca indicator de primă importanță pentru compararea între ele a mai multor funcții de repartiție, iar împreună cu valoarea coeficientului de variație CV, descrie într-un mod deosebit de complex aglomerări sau eventuale diferențe dintre ele;

- valorile parametrilor de nouă γ , reprezentînd unul cu probabilitatea de 0,65 a defectării sectoarelor de drum, oferă posibilitatea ca parametrul γ să poată fi considerat direct ca un parametru de importanță deosebită în stabilirea deciziei privind strategia rutieră. În acest fel, acest parametru devin un instrument de lucru pentru organele de conducere din administrația drumurilor.

1.2.5.2. Testul Kolmogorov-Smirnov

Acest test evidențiază mărimea depărtării dintre funcția de repartiție experimentală și cea teoretică estimată, fiind un test de distanță. În final se determină probabilitatea $P(\alpha)$, de concordanță între aceste două funcții de repartiție.

În fig. 1.11. sînt evidențiate sintetic rezultatele testului efectuat asupra experimentelor tratate în lucrare.

VALORILE ESTIMATE ALE INDICATORILOR FIABILITATI
TEORETICE SI REZULTATELE TESTELUI DE VALIDARE KOLMOGOROV-SMIRNOV

Tabelul 1.6.

Nr. crt. experimentelor	Simbolul experimentelor	Parametrii repartițiilor W39			Rezultatele testului Kolmogorov-Smirnov	Indicatorii teoretici globali, unctiformi			
		$\hat{\delta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\beta}$		var ari	ari ari	CV	
1.	F01	0	7,197	4,168	0,006...0,068	6,53	3,31	1,81	0,28
2.	F02	0	10,740	3,390	0,001...0,006	9,55	10,54	3,25	0,34
3.	F03	0	18,001	10,500	x)	17,17	3,88	1,97	0,11
4.	F0211	0	9,120	5,100	0,627...0,900	9,45	3,65	1,92	0,23
5.	F0212	0	12,808	3,900	0,270...0,627	11,59	11,92	3,46	0,30
6.	F0221	0	9,369	5,900	0,270...0,627	9,66	3,39	1,84	0,21
7.	F0222	0	10,636	6,600	0,270...0,627	9,98	3,88	1,97	0,23
8.	F02211	0	9,774	9,000	0,627...0,930	9,24	1,48	1,22	0,15
9.	F02212	0	10,000	7,000	0,627...0,900	9,32	3,20	1,79	0,19
10.	F11	0	8,320	6,170	0,068...0,270	7,70	1,56	1,60	0,21
11.	F12	0	15,300	9,400	0,068...0,270	14,50	3,98	1,99	0,14
12.	F13	0	19,960	9,000	0,068...0,270	18,85	7,73	2,78	0,15
13.	F51	0	11,170	7,200	0,620...0,900	10,42	3,84	1,96	0,19
14.	F52	0	13,520	9,500	x) peste 0,900	12,82	2,96	1,72	0,13

x) - experimente trunchiate

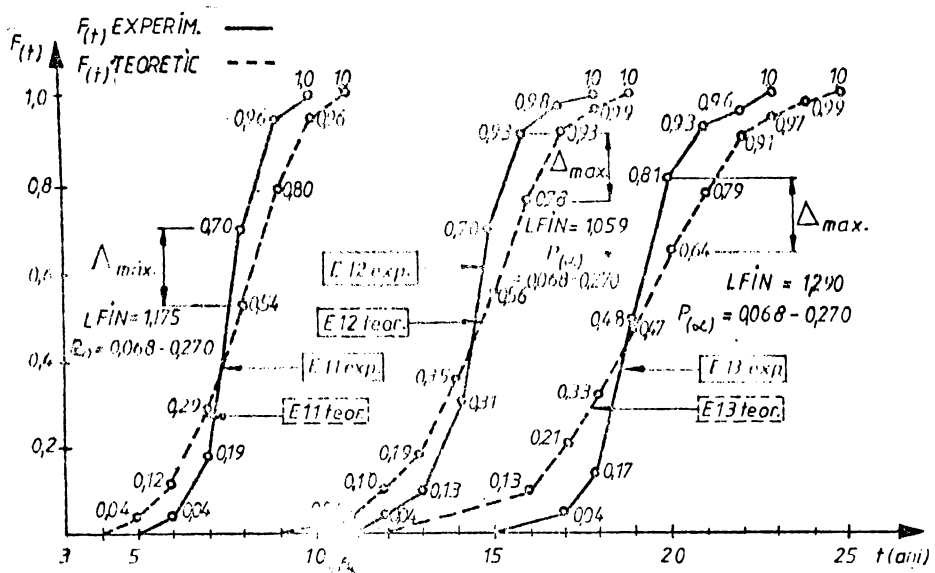


Fig. 1.11. Fiabilitatea teoretică. Testul Kolmogorov.

Se constată că pentru niveluri superioare de omogenitate a sectoarelor de drum din regiunea, respectiv din populație valoarea probabilității $P(\alpha)$ crește. Repartițiile teoretice definite prin studiile și experimentările organizate, demonstrează posibilitatea abordării interpretării fenomenelor de comportare în exploatare a drumurilor, prin adaptarea teoriei fiabilității sistemelor.

1.2.5.3. Indicatorii W3p cu limite de încredere.

Indicatorii teoretici privind fiabilitatea, furnizează valori concrete, punctiforme ale funcțiilor, pentru orice moment considerat. Studiile întreprinse au avut ca obiectiv și evaluarea indicatorilor teoretici pe intervale de timp: $f(t)$, $P(t)$, $R(t)$, $S(t)$ și globali: $W3p$. Var și CV cu limite de încredere.

În acest mod se pot defini domenii sau intervale de încredere în care se situează valorile indicatorilor, cu o probabilitate prestabilită.

În fig. 1.12. este prezentată, ca exemplu, funcția de fiabilitate teoretică pentru experimentele E02 și E12.

Calculările organizate au evaluat indicatorii cu limite de încredere singulare (defavorabile), cu acceptarea probabilității de 90 %.

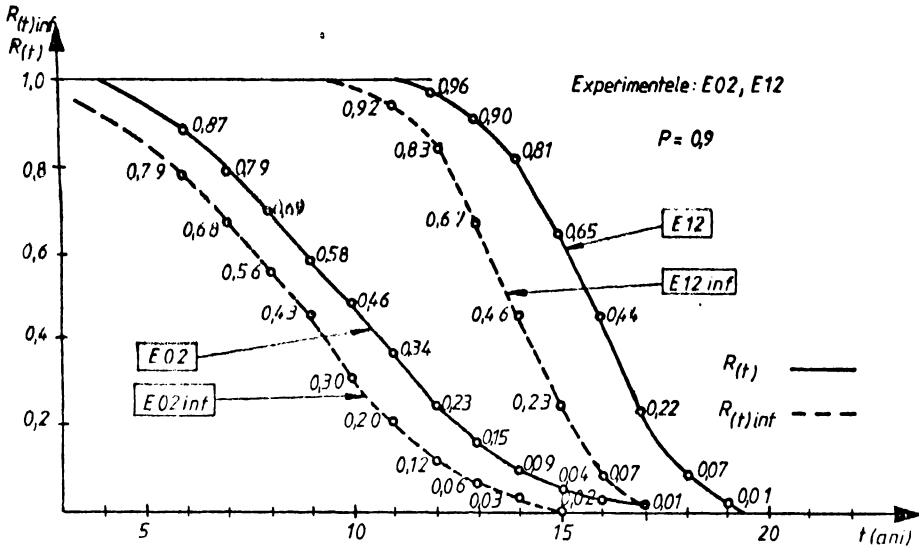


Fig. 1.12. Fiabilitate teoretică. Indicatori cu limite de încredere $R(t)$ inferioare.

Pentru orice interval (an), funcția $R(t)$ nu se va situa, cu o probabilitate $P = 90\%$, sub funcția $R(t)_{inf}$. De asemenea, pentru același experiment, funcția globală MTBF punctiformă (14,5 ani), nu poate avea o valoare mai mică decât MTBF inf. (13,1 ani), cu aceeași probabilitate.

Rezultatele tuturor experimentelor și indicatorilor pe intervale și globale, analizați sub aspectul limitei de încredere relativ vaste (cu $P = 90\%$) demonstrează de asemenea, valoarea informațională și de utilitate a metodologiei

1.2.6. Legea fiabilității dinamice a structurilor rutiere suple

Succesiunea în timp a valorilor funcției de fiabilitate, adică a probabilităților succesive în scădere ale bunei funcționări a ansamblului de sectoare de drum omogen, de referință, este un indiciu privind evoluția în timp, sub exploatare, a stării tehnice a subrețelei de drumuri în cauză.

Acest indicator furnizează informații doar în strictă concordanță cu modul de definire a atributului "defectării".

Dacă se urmărește evoluția stării subrețelei de drumuri printr-un indicator al evoluției degradării, se impune

evaluarea mai multor funcții de fiabilitate raportate respectiv la niveluri de gravitate diferite, în contextul cărora se definește atributul defectării.

Experimentele E01, E02 și E03 se deosebesc între ele, ca și E11, E12 și E13, sau ES1 cu ES2, tocmai prin aceste niveluri ale gravității defectiunilor prin care s-au definit convențional atributele defectării în sensul metodologic al teoriei fiabilității. Pentru a formula legea sau funcția fiabilității dinamice, se poate accepta calea evaluării regresiilor neliniare ale valorilor aferente funcțiilor de fiabilitate, presupunând indicatorului de defectare.

În fig. 1.13 se prezintă grafic spre exemplificare, legile E0 și E1, cu valoarea de 0,50 a funcțiilor de fiabilitate.

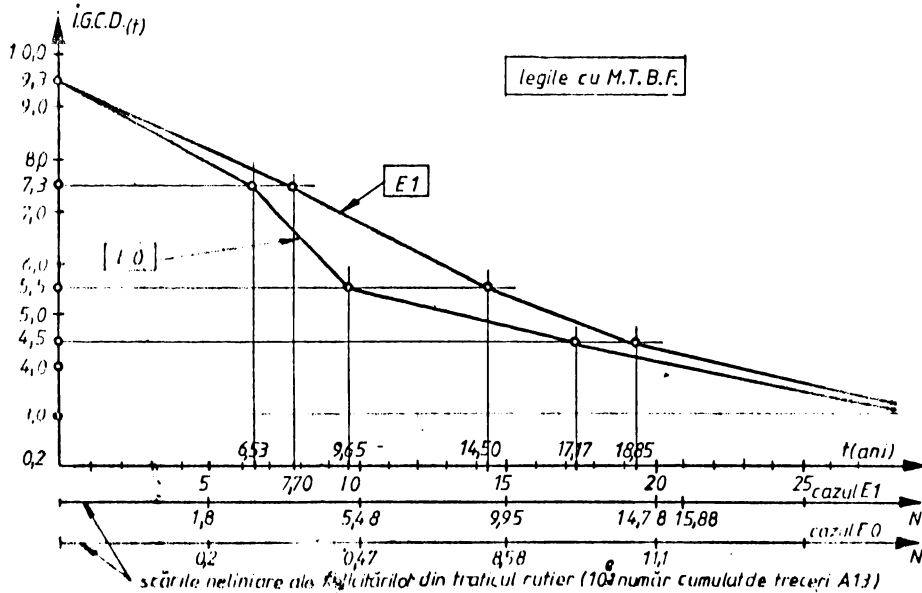


Fig. 1.13. Legea comportării în exploatare a drumurilor. Studii de caz E0, E1.

Legile de evoluție a stării unei subrețele de drumuri, implică particularizări de următoarele genuri:

- se referă la populații bine definite sub aspectul omogenității constructive, de mediu și solicitare;
- acceptă definițiile atributelor degradării evolutive;
- presupun, în aplicații practice, principii cu exigențe bine stabilite în ceea ce privește conținutul semantic în studiul statistic al fenomenelor privind analogiile și diferențele între "frecvențe statistice" și "probabilități".

De exemplu, pentru un eșantion din experimentul FI (D.N.6: km 416+000 - 429+000), legea fiabilității dinamice, teoretică, evaluată sub forma analitică printr-o funcție compusă din relații de regresie liniară pe domeniile principale de stare tehnico-funcțională, este următoarea:

- pentru domeniul de întreținere și reparații curente accidentale (I.G.C.D. = 9,3...7,3):

$$I.G.C.D(t) = 9,3 - 0,2579 \cdot t \quad /- / \quad (1.22)$$

- pentru domeniul necesității execuției ranforsării preventive a complexului rutier (I.G.C.D.= 7,5...5,5):

$$I.G.C.D(t) = 9,34 - 0,2646 \cdot t \quad /- / \quad (1.23)$$

- pentru domeniul necesității readucerii condițiilor de exploatare la un nivel impus (variantă cu o ineficiență globală evidentă la nivelul economiei naționale, I.G.C.D = 5,5...4,5):

$$I.G.C.D(t) = 8,83 - 0,2288 \cdot t \quad /- / \quad (1.24)$$

Funcțiile de tip 1.22...1.24, constituie surse de informații accesibile și deosebit de utile în activitatea de prognoză a stării tehnice a drumurilor. Condiția de bază rămâne existența unei bazei de date rutiere și a unei bibliotecii informatice de tipul FIADEN.

1.3. MENTENANTA SI DISPONIBILITATEA DRUMURILOR.

Relația de definiție: $D=F+(1-F) \cdot M(1.4)$, scoate în evidență importanța pe care o prezintă mentenabilitatea drumurilor, în scopul asigurării utilizatorilor, condiții optime de circulație și confort pe toată durata de exploatare.

În condițiile de adaptare teoretică propusă prin studiile întreprinse, mentenabilitatea s-a definit ca aptitudinea drumului de a fi menținut și de a fi readus în starea corespunzătoare îndeplinirii funcțiilor pentru care a fost creat, iar suma activităților necesare în acest sens, reprezintă mentenanța drumului.

Prin definiție /24/, funcția ratei (intensității) mentenanței este:

$$Z_{ment}(t) = \frac{1}{1-F_{ment}(t)} \cdot \frac{dF_{ment}(t)}{dt} \quad | - | \quad (1.25)$$

care, după integrare devine:

$$F_{ment}(t) = 1 - \exp \left[- \int_0^t Z_{ment}(t) dt \right] \quad | - | \quad (1.26)$$

relație din care rezultă că dacă se acceptă o strategie rutieră cu organizarea unor intervenții de intensități constante, valoarea probabilității $F_{\text{ment}}(t)$, pentru T dat, este 1.

Raportate la situația necesităților de execuție a lucrărilor de renforșare preventivă, aceste relații devin semnificative pentru întreaga strategie rutieră, rezultând utilitatea organizării renforșărilor în mod etapizat, în funcție de apariția necesităților funcționale și nu legat de alți factori ca: reducerea resurse materiale sau financiare, menținându-se în acest fel o fiabilitate corespunzătoare a drumurilor.

1.3.1. Disponibilitatea ca indicator sintetic al calităților funcționale ale drumurilor.

Disponibilitatea în domeniul drumurilor, este aptitudinea unui sector de drum, omogen sub aspectele combinate de fiabilitate, mentenabilitate și de organizare a activităților de mentenanță, de a-și îndeplini funcțiile specificate, la un moment dat sau într-un interval de timp dat.

Disponibilitatea este rezultatul fiabilității și al mentenabilității drumurilor, prin ea descriindu-se în modul cel mai reprezentativ conformitatea multifuncțională a unei subrețele sau rețele rutiere omogene, ca atare în studiile prezentate am considerat-o ca unul dintre cei mai semnificativi indicatori sintetici ai calităților funcționale complexe ale drumurilor.

Totodată, se consideră utilă definirea indicatorului "sintetic", coeficientul de disponibilitate a drumurilor", C.D.D., prin relația:

$$C.D.D. = \frac{M.T.B.F.}{M.T.B.F. + m_{\text{ment}}} \quad /-/ \quad (1.27)$$

adică, prin raportul dintre media timpului de bună funcționare și durata medie a unui ciclu de funcționare, caracterizând activitatea a unei administrații rutiere.

Analizele de fiabilitate - mentenabilitate - disponibilitate a drumurilor naționale din județul Caraș-Severin, au condus la justificarea renforșării structurilor rutiere suple cu șabreșăminti din beton de ciment, pentru a se putea asigura o disponibilitate corespunzătoare evoluției traficului rutier pe anumite sectoare și în special pe cele cu trafic greu.

Studiile econometrice au adus în evidență faptul că în cazul ranforsării structurilor rutiere existente cu straturi din mixturi asfaltice, se impune aplicarea teoriei ranforsării preventive, dar în stadiul actual (31.dec.1988), numai pe o lungime de 190,0 km poate fi aplicat acest principiu, restul rețelei prezentînd o fiabilitate necorespunzătoare (I.G.C.D. $< 5,5$), atât pentru traficul actual cît și pentru cel de perspectivă.

Experiența autorului în domeniul ranforsării structurilor rutiere cu îmbucămînta din beton de ciment, a adus în evidență posibilitatea asigurării unei fiabilități superioare a acestora, dar consider că trebuie implementată în practica curentă, concepția modernă de tratare a fiabilității încă din faza de proiectare tehnică a drumului.

În final, funcția de fiabilitate a drumurilor, descrie conformitatea dinamică a acestora față de funcțiile tehnice, economice de exploatare și sociale pe care trebuie să le îndeplinească drumurile moderne.

1.4. CONCLUZII ȘI PROPUNERI METODOLOGICE

Urmare analizei fiabilității drumurilor naționale din județul Caraș-Severin în funcție de evoluția traficului rutier, se formulează următoarele concluzii:

1) adaptarea și dezvoltarea conceptelor și obiectivelor teoriei generale a fiabilității, asigură dezvoltarea aplicabilității practice a acestei teorii în activitățile curente ale sectorului de drumuri;

2) din informațiile obținute ca urmare a prelucrării automate a datelor, a rezultat că subrețeaua principală a drumurilor naționale (populația EO, tabelul 1:4) a depășit durata de exploatare în proporție de 58 %, privind momentul eficient al ranforsării preventive;

3) după cercetarea fiabilității experimentale, media timpului de bună funcționare a fost de 10,3 ani, iar în baza modelului teoretic W3p, timpul mediu este de 17,2 ani, confirmat practic prin valoarea I.G.C.D sub 5,5 în cazul drumurilor naționale cu această vechime (circa 30 % - 150 km - din populație);

4) valorile coeficienților de variație ale repartițiilor timpilor de bună funcționare, în cazul tuturor experimentelor, au fost sub 0,20, fapt ce demonstrează că prin aplica-

rea criteriilor de omogenitate pentru sectoarele de drum luate în studiu, se pot asigura condiții de aplicare a metodologiilor statistico-matematice în teoria generală a comportării în exploatare a drumurilor;

5) cercetarea fiabilității experimentale a drumurilor, a scos în evidență, sub o formă cuantificată, influența caracteristicilor de construcție, de mediu și de solicitări, asupra funcției de fiabilitate; apariția traficului greu pe unele sectoare de drum (D.N.6; D.N.58; D.N.68) a condus la reducerea duratei de exploatare (M.T.B.F.) cu pînă la 15...22 %;

6) în cazul sectoarelor de drum cu deflexiuni elastice, $d_0 > 1/100$ mm, M.T.B.F (I.G.C.D = 5,5) scade cu 30...35 %, chiar sub un trafic rutier cu M.Z.A (A13) de 1 300...1 500;

7) analiza fiabilității experimentale, a demonstrat faptul că valoarea modului de deformare al terenului de fundație, E_0 , influențează comportarea în exploatare a drumurilor, asigurînd un spor de 15...20 % timp de bună funcționare pentru ranforsarea preventivă, printr-un spor al valorii lui E_0 , de la 85 la 95 daN/cm² rezultînd în acest fel influența îmbunătățirii caracteristicilor stratului suport;

8) modul de comportare în exploatare a structurilor rutiere simple, precum și aspectele economice privind mentenanțele, justifică ranforsarea cu îmbrăcăminte din beton de ciment pe sectoarele: D.N.6: km 416+000-470+000; D.N.68: km 0+000-22+500; D.N.58: km 0+000-25+000, sectoare pe care traficul greu reprezintă 25...30,1 % din volumul total de trafic rutier;

a) studiile întreprinse oferă un plus de conținut tehnic și econometric principiului conform căruia, unicitatea deciziei în construcția și întreținerea drumurilor o asigură evaluarea, proiectarea și optimizarea duratei de exploatare a lor;

10) indicatorul de disponibilitate operațională a drumurilor, poate fi înglobat în sistemul indicatorilor de eficiență, la nivelul indicatorilor sintetici ai economiei naționale, asigurîndu-se astfel la acest nivel, prezența drumurilor publice cu toate funcțiile lor tehnico-economice în asigurarea infrastructurii economiei;

11) evaluarea indicatorilor fiabilității teoretice, globali și pe intervale, permite cunoașterea aprofundată a modului probabil de evoluție a calităților funcționale ale drumului, furnizînd informații importante și obiective atât de ne-

cesare în procesul de luare a deciziilor privind strategia rutieră optimă, în funcție de schimbările ce pot interveni în evoluția traficului rutier și a condițiilor de exploatare;

12) testele de verificare a ipotezelor statistice formulate asupra tipului funcției teoretice de repartiție, confirmă justetea alegerii funcțiilor de repartiție tip W3p, ca atare se propune acceptarea generalizată a acestei ipoteze, în analiza fiabilității drumurilor;

13) produsele informatice realizate în cadrul studiilor întreprinse (FIADEN, etc.) s-au propus spre a fi cuprinse în sistemul informațional al D.D.P. Timișoara, respectiv spre generalizare, în exploatare curentă, la unitățile de drumuri naționale;

14) se impune în continuare dezvoltarea metodologiei în domeniul experimentelor trunchiate, această cale fiind de o importanță deosebită în studiul și proiectarea fiabilității drumurilor utilizând ca instrument de lucru banca de date rutiere informatizate;

Prin studiile întreprinse, au fost elaborate funcțiile de fiabilitate parametrizate din punct de vedere al tehnicii rutiere, pentru "structurile tip" ale sistemelor rutiere suple, oferind operaționalizarea rezultatelor obținute în cadrul Băncii centrale de date tehnice rutiere.

CAP. II. STUDIUL MATERIALELOR NECONVENȚIONALE ÎN
SCOPUL UTILIZĂRII LOR LA RĂNFORSAREA
STRUCTURILOR RUTIERE

Din punct de vedere al reliefului, județul Caraș-Severin se caracterizează printr-o mare diversitate de forme, relieful montos constituind 65,4 % din suprafață, restul fiind dealuri 10,8 %, deresiuni 16,5 % și numai 7,3 % câmpii.

În subsolul județului se află numeroase și variate resurse minerale utile, clasificate după natura lor astfel /34/:

- zăcăminte de cărbuni;
- zăcăminte metalifere;
- zăcăminte nemetalifere.

Pe baza existenței zăcămintelor de cărbuni și a celor metalifere, exploatate încă din secolul al XVIII-lea, au luat ființă centrele metalurgice de la Bocșa, Sasca, Reșița și Anina, fapt ce a condus la apariția unor subproduse industriale, în cantități și cu caracteristici deosebite de raținat pentru utilizarea lor în sectorul rutier.

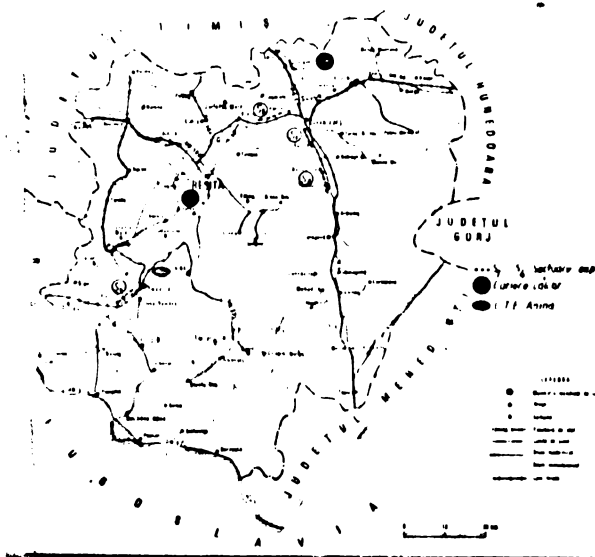


Fig. 2.1. Principalele depozite de calcar și subproduse industriale în județul Caraș-Severin.

Dintre zăcămintele nemetalifere se rețin cele de calcar, utilizat în prezent cu precădere în siderurgie s-au la fabricarea varului.

Depozitele mai importante se găsesc în zona localităților: Reșița, Constantin Daicoviciu și Pecinișca.

În continuare sînt prezentate studiile și cercetările întreprinse asupra calcarului de la cariera Constantin Daicoviciu și a cenușei rezultată din arderea gîsturilor bituminoase la Centrala Termo-Electrică (C.T.E.) Anina, în scopul utilizării lor la ranforsarea structurilor rutiere.

2.1. STUDIUL POSIBILITĂȚILOR DE UTILIZARE A CALCARULUI DE LA CARIERA DAICOVICIU, LA FABRICAREA BETOANELOR DE CIMENT RUTIERE.

Extinderea în ultimii ani a ranforsării structurilor rutiere cu îmbrăcămînți din beton de ciment, concomitent cu o creștere a volumului lucrărilor de construcții din beton, atrage după sine un mare consum de agregate naturale, ținînd cont că peste 75 % din volumul betonului este constituit din aceste materiale.

Avînd în vedere diminuarea într-un ritm susținut a resurselor de agregate naturale de balastieră, accentuată și de măsurile ce se iau în vederea combaterii eruziunii solurilor, a regularizării rîurilor în scopul prevenirii inundațiilor, etc, apare necesitatea căutării de noi surse de agregate destinate preparării betoanelor de ciment.

Pe de altă parte, condițiile specifice de execuție și exploatare a îmbrăcămînților rutiere din beton de ciment, impun utilizarea unor agregate cu caracteristici care să confere betoanelor noi avantaje tehnico-economice.

În acest sens a fost orientat prezentul studiu, avînd ca obiectiv testarea caracteristicilor tehnice ale pietrei de calcar de la cariera Constantin Daicoviciu, în vederea utilizării ei pentru execuția îmbrăcămînților rutiere din beton de ciment.

Studiul este impus și de faptul că în general, rocile calcareoase prezintă unele caracteristici specifice, cum sînt: duritatea mai puțin ridicată, adezivitatea mare în contact cu mortarul de ciment și un coeficient de polisaj mai ridicat /110%.

În colaborare cu Institutul de Cercetări în Transporturi București, s-a procedat la studierea caracteristicilor petrografice, mineralogice, chimice și fizico-mecanice, pe epruvete și agregate concasate, ținînd cont și de limitele de variație

aferente caracteristicilor fizico-mecanice impuse de normati-
 vele în vigoare agregatelor destinate preparării betoanelor de
 ciment rutiere, la fabricarea cărora se utilizează ca liant,
 cimentul.

2.1.1. Scurt istoric privind îmbrăcămintile rutiere
 din beton de ciment cu agregate calcaroase

Pentru prima dată, agregatele de natură calcaroasă au
 fost utilizate la execuția îmbrăcămintilor rutiere din beton
 de ciment în urmă cu circa 25 de ani, în Franța și Belgia,
 țări care dispuneau de rezerve importante de calcar.

Pe parcursul anilor, domeniul de utilizare al betoanelor
 de ciment rutiere cu agregate calcaroase, s-a extins de la dru-
 muri cu un trafic mediu, la autostrăzi și piste pentru aeropor-
 turi.

Pentru început reține atenția autostrada A 6, Paris-Lyon,
 la care pe un sector de 18,0 km s-a executat în anul 1966 o îm-
 brăcămintă din beton de ciment, în care unul din cele două sor-
 turi de agregate era de natură calcaroasă /142/.

Pentru calcarul concasat, sort 5-25, deși s-a impus condi-
 ția valoarea coeficientului Los Angeles (L.A) să fie maximum
 35 % corespunzător unui calcar dur, în final s-a acceptat o va-
 loare de 38 %.

În tabelul 2.1 sînt prezentate valorile medii privind re-
 zultatele verificărilor asupra betonului în stare proaspătă și
 întărită.

Tabelul 2.1. Caracteristicile betonului

Specificație	U.M.	Valori efective	Valori impuse
Betonul în stare proaspătă			
Pasarea	cm	4,2	2,5...5,0
Percolul	%	4,9	3,0...6,0
Rezistența la încovoiere			
la 7 zile	N/mm ²	4,5	3,5
la 28 zile	N/mm ²	5,4	4,5
Rezistența la compresiune			
la 7 zile	N/mm ²	22,8	-
la 28 zile	N/mm ²	29,4	-

Interesant de reținut faptul că nu au fost impuse valori pentru rezistența la compresiune, fiind o corelație directă între rezistența la întindere din încovoiere și rezistența la compresiune.

Tot în anul 1966, cu ocazia reconstruirii pistei nr. 3 (60 x 1 700 m) a aeroportului Orly din Paris, s-au făcut observații asupra betoanelor de ciment rutiere preparate cu agregate din roci calcaroase, prin comparație cu pista nr. 4, executată în anul 1964, dar cu agregate aluvionare, /143/.

Observațiile comparative asupra celor două tipuri de betoane de ciment, s-au făcut sub următoarele aspecte:

- gradul de fisurare al îmbrăcămintei;
- rezistențele mecanice ale betoanelor;
- calitatea suprafeței de rulare.

Procesul de fisurare al dalelor din beton de ciment, apare atunci când eforturile datorită contracției betonului sînt mai mari decît rezistența la întindere a betonului, ca atare existența celor două caracteristici specifice betoanelor de ciment cu agregate calcaroase (coeficientul de dilatație termică mai redus și rezistența la întindere mai mare), conduce la o reducere a riscului de fisurare necontrolată, aspect deosebit de important mai ales în primele 36 de ore de la așternerea betonului, deci anterior tăierii resturilor de contracție, care au menirea totmai pentru a dirija fisurarea.

În tabelul 2.2. sînt prezentate valorile rezistențelor la întindere din încovoiere obținute pe cele două tipuri de betoane, preparate cu următoarele dozaaje de ciment:

- 300 kg/m³ pentru betoanele cu calcar;
- 330 kg/m³ pentru betoanele cu agregate clasice.

Tabelul 2.2. Rezistențele la întindere din încovoiere

Specificație	U.M.	Valori efective	Valori
Betoane cu agregate calcaroase			
La 7 zile	N/mm ²	5,2	4,2
La 28 zile	N/mm ²	7,2	5,4
Betoane cu agregate aluvionare			
La 7 zile	N/mm ²	3,7	4,2
La 28 zile	N/mm ²	5,5	5,4

Analizând comparativ, se observă că rezistențele la învîndere din încovetare la 28 de zile, pentru betonul preparat cu agregate calcareoase și cu un conținut de ciment mai redus, sînt cu 33,4 % mai mari decît cele impuse și cu 31 % mai mari decît cele obținute, pentru betoanele cu agregate aluvionare, creșteri explicate prin aderența mai bună a rocii calcareoase față de mortarul de ciment, aderența fiind direct proporțională cu duritatea calcarului /141/, /142/.

Referitor la calitatea suprafeței de rulare, verificată cu Viagraful, a rezultat un coeficient mediu general Viagraf $C_v = 0,04$, mai mic decît valoarea impusă prin normativele franceze.

După anul 1980, în Belgia s-a procedat la un studiu atent al rocilor calcareoase, specialiștii orientîndu-și atenția în sensul utilizării lor la executarea îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment /29/, /145/.

Cu ocazia simpozionului organizat în Franța la Monte Carlo, în anul 1985 și intitulat "Ziua tehnică a calcarelor", au fost prezentate o serie de comunicări științifice avînd ca obiectiv, printre altele și problemele legate de utilizarea agregatelor calcareoase în stratul de uzură al îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment.

2.2. STUDII DE LABORATOR EFECTUATE PE PROBE REPREZENTATIVE.

În general, sub denumirea de calcare sînt recunoscute acele roci alcătuite în exclusivitate sau predominant din carbonat de calciu (CaCO_3), indiferent de modul în care au luat naștere.

Rocile calcareoase s-au format în trecutul geologic al pămîntului, prin trei mari procese de geneză:

- a.- chimic, prin precipitarea directă a CaCO_3 conținut în apele marine sau continentale;
- b.- organogen, prin acumularea resturilor organogene de natură calcareasă;
- c.- detritic, prin sfărîmarea și acumularea calcarelor preexistente.

După formarea lor, rocile calcareoase au suferit o serie de transformări în funcție de condițiile apărute în interiorul scoarței pămîntului (presiune, temperatură ș.a.), transformări care au influențat sub o formă sau alta caracteristicile lor fizice-mecanice.

Cariera de calcar amplasată în vecinătatea localității Constantin Daicoviciu, județul Caraș-Severin, este exploatată la suprafață și are o rezervă de rocă, evaluată la circa 2,8 milioane metri cubi.

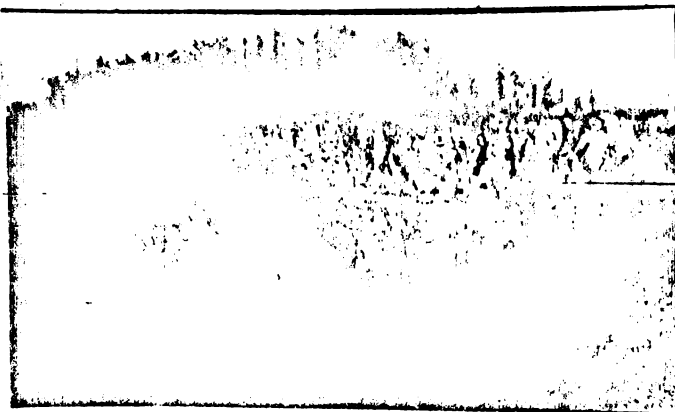


Fig. 2.2. Cariera Constantin Daicoviciu - vedere.

Dintre depozitele care conțin importante rezerve de roci calcaroase amplasate la suprafață, prezintă interes în vederea producerii de agregate calcaroase destinate preparării betoanelor de ciment rutiere, cele cantonate în zona cristalină, de vârstă jurasică și eocenă, zăcămintul de la C. Daicoviciu înscrindu-se în categoria jurasic superior-cretacic inferior /34/.

2.2.1. Studiul calcarului provenit de la cariera Constantin Daicoviciu.

Din fronturile de lucru existente, s-au prelevat probe reprezentative de calcar sub formă de monoliți sau piatră spartă, care prin prelucrare au fost aduse la dimensiunile impuse de standardele respective atât pentru efectuarea analizelor petrografice, mineralogice, chimice, a determinărilor fizico-mecanice, cât și pentru realizarea diferitelor dozaaje pentru betoane.

a) Caracteristicile petrografice și mineralogice ale calcarului, au fost determinate prin examinarea macroscopică și microscopică a unor eșantioane reprezentative din probele prelevate, rezultatele fiind prezentate în tabelul 2.3., comparativ cu alte roci calcaroase din țara noastră.

În general, principalele minerale care alcătuiesc rocile calcaroase sînt: calcitul (70...90 %), aragonitul (3...5 %) și

Tabelul 2.3. Compoziția mineralogică și caracteristicile petrografice

Specificație	Proveniența calcarului			
	Daicoviciu (C. Severin)	Bănița (Hunedoara)	Sîndomic (Harghita)	
a. Compoziția mineralogică				
1. Calcit	%	83	94,0	85,0
2. Cuarț	%	13	5,0	9,0
3. Mică	%	3	-	5,0
4. Microorganisme	%	-	-	-
5. Alte elemente	%	1	1,0	1,0
b. Structura de precipitație chimică				
		meccanică	Granoblastică	
c. Textura				
		microcristalină	inedi-granulară	masivă
d. Caracteristici petrografice				
Culoare		negru-cenușiu	cenușiu	albă
Granulație		fină	fină	fină
Spărtura		nerregulată	așchioasă	nerregulată

delomitul (5 %), rareori mai apar minerale argiloase, cuarțul și altele, în proporții foarte mici /1o7/, /1o8/.

Componentul chimic principal și predominant al calcarului în studiu este $CaCO_3$, care reprezintă 88,52 %, ceilalți componenți fiind prezenți în proporții mult mai mici, datele fiind prezentate în tabelul 2.4.

Tabelul 2.4. Compoziția chimică a calcarului de la Daicoviciu.

Elemente componente	%
$CaCO_3$	88,52
SiO_2	2,67
Al_2O_3	1,44
MgO	2,54
Fe_2O_3	0,37
Pierdere la calcinare	41,86

b) Rezultatele încercărilor fizico-mecanice efectuate pe epruvete din calcar, sînt prezentate în anexa 2.1., iar în tabelul 2.5. se prezintă clasificarea pietrei de calcar în funcție de aceste caracteristici, ținînd cont de normativul privind piatra naturală pentru construcții.

Tabelul 2.5. Clasificarea pietrei de calcar

Nr. crt.	Caracteristici fizico-mecanice	Clasificare	
		1	2
1.	Densitatea aparentă		Rocă grea
2.	Absorbția de apă		Foarte puțin absorbantă
3.	Porozitatea aparentă		Foarte puțin poroasă
4.	Rezistența la compresune		Cu rezistență mijlocie

Tabel 2.5. Continuare.

0	1	2
5.	Rezistența la uzură	Cu uzură mare
6.	Coefficient de gelivitate	Rezistență la îngheț-dezghet.



Fig. 2.3. Piatră din calcar de la cariera Constantin Daicoviciu.

Din punct de vedere al rezistenței la compresiune, în general calcarele se încadrează în două categorii /30/:

- cu rezistențe mari ($R_c \in 130...143 \text{ N/mm}^2$), intrând în clasa de rezistență: $120...200 \text{ N/mm}^2$;

- cu rezistențe mijlocii ($R_c \in 65...113 \text{ N/mm}^2$), cuprinse în clasa de rezistență: $60,1...120 \text{ N/mm}^2$.

Calcarul în studiu, avînd o rezistență medie la compresiune de 87 N/mm^2 , se încadrează în clasa de rezistență mijlocie, fiind o rocă grea, foarte puțin absorbantă și poroasă, rezistentă la îngheț-dezghet dar cu o uzură mare ($0,248...0,253 \text{ g/cm}^2$).

2.2.2. Studiul agregatelor provenite din calcarul de la Constantin Daicoviciu

Pentru obținerea agregatelor în vederea studierii lor și realizării de sectoare experimentale, calcarul procurat sub formă de piatră spartă și piatră brută cu dimensiuni pînă la 200 mm, a fost trecut printr-o stație de sortare -spălare, prevăzută și cu un concasor cu fălci, rezultînd următoarele serturi de agregat:

- nisip de concasaj, sort 0-7, circa 10 %;
- criblura de calcar, sert 7-15, circa 40 %;
- criblură de calcar, sort 15-30, circa 50 %.

Datele obținute privind încercările fizico-mecanice efectuate pe agregate sînt prezentate în anexa 2.2., iar în tabelul 2.6. sînt prezentate caracteristicile mecanice obținute pe piatra de calcar sub formă de epruvete sau piatră spartă, comparativ cu valorile impuse prin normativele în vigoare, atât pentru betonul din stratul de uzură cît și pentru betonul din stratul de rezistență.

Taboul 2.6. Caracteristicile mecanice

Nr. crt.	Caracteristici mecanice	U.M.	Pentru beton de:		Calcar C. Daicoviciu
			uzură	rezistență	
1.	Rezistența la compresiune	N/mm ²	min.150	min.80	87,0
2.	Rezistența la sfărîmare	%	min.70	min.60	67,0
3.	Uzura Los Angeles	%	max.25	max.35	24,0
4.	Uzura Deval	%	min.12	min.6	6,2
5.	Rezistența la șoc	%	min.80	-	81,0
6.	Coefficient de gelivitate	%	max.0,3	max.0,3	
7.	Coefficient de înmuiere	%	max.25	max.25	

Din examinarea datelor prezentate rezultă următoarele:

- densitatea variază între 2,770...2,780 g/cm³, înscriinduse în limitele valorilor medii admisibile;
- densitatea aparentă este cuprinsă între 2,710 ... 2,721 g/cm³, tinzînd către limita superioară a valorii medii admisibile (2,784 g/cm³);
- aborbția de apă variază între 0,69...0,76, tinzînd către limita inferioară impusă (0,21 %);
- volumul de goluri în stare afîmată se încadrează în limitele admisibile (45,5...53,0 %), iar în stare îndesată, este sub limita inferioară pentru ambele sorturi (49,19 și 42,27 %);
- agregatele corespund din punct de vedere al conținutului de impurități și de fracțiuni fine (0...0,09 mm), iar sub aspectul formei granulelor, se încadrează în limitele impuse atât pentru granulele sub 16 mm, cît și pentru cele cu dimensiuni mai mari de 16 mm;
- rezistența la compresiune în stare uscată este în medie de 87,0 N/mm², fiind cuprinsă între limita impusă pentru betonul din stratul de rezistență (80 N/mm²) și cel al betonului din stratul de uzură (150 N/mm²);
- uzura determinată cu mașina Los Angeles este de 24,50%, fiind sub limita impusă de max 25,0 %, aferentă agregatelor

destinate preparării betoanelor pentru stratul de uzură a unei fabricăminți rutiere din beton de ciment;

- din punct de vedere al rezistenței la îngheț-dezghet, determinările efectuate pe piatră de calcar sub formă de agregate concasate și epruvete cubice, au scos în evidență o comportare bună, coeficientul de înmuiere după îngheț-dezghet fiind de 24,14 %, mai mic de 25 %, cât este impus.

În concluzie, se poate afirma că agregatele calcareose obținute prin concasarea calcarului de la cariera Constantin Daicoviciu, județul Caraș-Severin, prezintă în general caracteristici calitative apropiate celor impuse agregatelor de carieră destinate realizării betoanelor de ciment rutiere.

Din studiul documentar efectuat /144/, /105/, a rezultat că în general nu există prescripții tehnice speciale pentru agregatele de calcar utilizate la fabricarea betoanelor de ciment rutiere, ci numai prescripții tehnice în care sînt incluse condiții generale de calitate pentru toate agregatele ce se utilizează la acest tip de betoane.

Deși rezistența la compresiune a calcarului este mai redusă, nu afectează calitatea betoanelor /107/, ea fiind compensată de alte calități ale calcarului: aderență mai mare la mortarul de ciment și porozitatea mai redusă.

În general, raportul dintre rezistența la întindere a cimentului întărit în pastă și a betonului este supraunitar /110/, ceea ce subliniază că adeziunea dintre ciment și agregate se constituie ca factor determinant al rezistențelor mecanice ale betonului, atît la compresiune cît mai ales la întindere prin încovoiere.

Natura și proprietățile diferite ale componentilor unui beton de ciment, determină ca la suprafața de contact dintre matrice și agregate să se formeze pe o anumită grosime o zonă de tranziție cu proprietăți fizico-mecanice mai slabe care contribuie, alături de valoarea adesiunii la determinarea proprietăților betonului /119/.

În tabelul 2.7. sînt prezentate valori ale aderenței matrice-agregate, valori determinate prin metoda la tracțiune și la forfecare /119/, pentru diferite tipuri de roci în contact cu mortarul de ciment la 28 de zile.

Tabelul 2.7. Aderența matrice-agregat

Agregate din:	Aderența la:	
	Tracțiune daN/cm ²	Perfecare daN/cm ²
Marmură	8,8	9,5
Granit	7,3	11,0
Calcar	9,5	17,5

Agregatele introduse în masa betonului, se comportă altfel decât roca mamă ca atare, de aceea trebuie acordată o atenție mai mare rezultatelor obținute pe betonul preparat cu agregatele respective, sau altor determinări mai apropiate de comportarea acestora pe durata de exploatare a îmbrăcăminte rutiere, betonul în final lucrând ca un tot unitar, o influență mare avînd fenomenele fizico-chimice ce au loc la nivelul de contact rocă-liant.

În domeniul îmbrăcămintelor rutiere din beton de ciment, un aspect deosebit de important este durabilitatea betoanelor, direcție în care prezența agregatelor calcareoase poate avea o influență pozitivă, în sensul conservării durabilității betonului, deci a ridicării gradului de fiabilitate a îmbrăcămintei rutiere.

Variațiile de volum ale betonului, determinate de variația condițiilor de umiditate sau temperatură, condiții specifice de exploatare a îmbrăcămintelor rutiere din beton de ciment, induc un efort unitar (σ sau Z) mai redus în piatra de ciment decât agregatul este comprasibil, ca atare va diminua simțitor gradul de fisurare al betonului, în raport cu prezența în masa betonului a unui agregat cu duritate mai mare.

Ca o concluzie generală asupra testelor prevăzute pentru agregate, inclusiv cele aplicate agregatelor calcareoase în studiu, se desprinde ideea că ele oferă indicații numai asupra calității agregatelor respective, fără însă a se putea prevedea rezistența potențială pe care o va avea betonul preparat, proprietățile fizice ale agregatelor nu pot fi transpuse în proprietățile betonului fabricat cu acele agregate, ca atare s-a procedat la extinderea cercetărilor în laborator cît și pe secțiune experimentale, pentru a stabili cu exactitate influența agregatelor de natură calcareasă asupra betoanelor de ciment rutiere.

2.3. CERCETĂRI PRIVIND STABILIREA INFLUENȚEI AGREGATILOR DE CALCAR ASUPRA CARACTERISTICILOR BETOANELOR DE CIMENT RUTIERE. SECTOARE EXPERIMENTALE.

Activitățile de cercetare și experimentare a betoanelor de ciment rutiere preparate cu agregate din calcar concasat, de la cariera C. Daicoviciu, s-au desfășurat în colaborare cu I.C.P.F.T. București, în baza contractului Nr. 6 008/1986 și s-au efectuat în paralel cu betoane având ca agregat pietrișul concasat obținut prin prelucrarea agregatelor naturale extrase din albia râului Timiș.

Pentru început s-au elaborat și au fost aprobate de către Direcția Drumurilor București următoarele Caiete de sarcini:

a) Caiet de sarcini pentru cribluri de natură calcaroasă în vederea utilizării lor la betoanele de ciment rutiere, (vezi anexa 2.3.);

b) Caiet de sarcini pentru experimentarea îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment, cu agregate din calcar concasat, (Anexa 2.4.).

Lucrările de experimentare s-au efectuat în perioada iulie-august 1986, constând din execuția pe Drumul Național Nr. 6, în zona localității Slatina Timiș, județul Caraș-Severin, a unor sectoare experimentale de ranforsare cu betoane de ciment rutiere de marcă B 400, a structurilor rutiere existente, în lungime totală de 394 m (km: 435+906-436+300), alcătuite astfel:

- un sector marcat de 152 m, km: 436+148-436+300, din beton de ciment rutier preparat cu pietriș concasat;

- un sector de 242 m, km: 435+906-436+148, din beton de ciment rutier preparat cu cribluri de calcar;

Lucrările s-au executat în cadrul programului de ranforsare pe anul 1986 al Secției Caransebeș, Formația de betoane Slatina Timiș.

Din punct de vedere al condițiilor atmosferice, pe toată perioada execuției sectoarelor experimentale, situația s-a prezentat astfel:

- temperatura la suprafața îmbrăcămintei bituminoase existente: 31...44 °C;

- temperatura aerului: 25...33 °C;

- cer senin, vânt uscat cu viteze variabile.

2.3.1. Materialle utilizate

Pentru prepararea betoanelor de ciment rutiere, atît cele destinate sectorului martor cît și pentru sectoarele experimentale, s-a utilizat cimentul P45, existent în silozul stației de betoane.

În urma determinărilor fizico-mecanice efectuate asupra cimentului și care sînt prezentate în anexa 2.5., s-au confirmat calitățile cimentului impuse prin Caietul de sarcini.

Pentru sectorul martor, agregatul total a fost compus din nisip natural sort 0-7 și pietriș concasat în sorturile: 7-16 și 16-40, caracteristicile fiind prezentate în tabelul 2.8.

Tabelul 2.8. Caracteristicile agregatelor pentru betonul martor.

Caracteristici	U.M	Nisip natural	Sort 7-16	Sort 16-40
Părți levigabile	%	1,8	-	-
Conținut mică	%	0	-	-
Echivalent nisip	%	91	-	-
Impurități	%	-	0	0
Forma granulelor b/a;c/a.	-	-	0,71;0,45	0,69;0,44
Fracțiuni fine (0...0,09 mm)%	-	-	0,5	0,7

La betoanele de ciment rutiere experimentate, s-au utilizat agregatele din calcar în sorturile 7-15 și 15-30, ale căror caracteristici sînt prezentate în anexa 2.2.

Ca aditiv la prepararea betoanelor s-a utilizat DISAN-A, iar apa de amestecare a fost luată din râul Timiș, corespunzînd calitativ condițiilor impuse.

2.3.2. Compoziția betoanelor

Urmare analizelor de granulozitate efectuate în laboratorul de gantier asupra agregatelor utilizate, s-au obținut datele prezentate în tabelul 2.9., pentru fiecare sort în parte.

Tabelul 2.9. Granulozitatea agregatelor obținute

Tipul agregatului	Treceri prin ciururile sau sitele de ...mm (%)						
	0,2	1	3,15	7,9	15	30	40
Nisip, sort 0-7	11,5	58,7	85,5	99,5	100,0	100,0	100,0
Pietriș, sort 7-16	-	7,7	17,4	58,5	99,3	100,0	100,0
Pietriș, sort 16-40	-	-	0,4	1,0	11,4	79;6	92,8
Calcar, sort 7-15	-	-	-	3,9	98,7	100,0	100,0
Calcar, sort 15-30	-	-	-	-	2,0	94,0	100,0

În conformitate cu datele stabilite prin Caietul de sarcini s-au adoptat următoarele proporții dintre sorturile de agregate:

a. pentru betoanele cu calcar concasat:

- 35 % nisip de râu, sort 0-7;
- 25 % calcar concasat, sort 7-15;
- 40 % calcar concasat, sort 15-30.

b. pentru betoanele (mort) cu pietriș:

- 30 % nisip de râu, sort 0-7;
- 25 % pietriș concasat, sort 7-16;
- 45 % pietriș concasat, sort 16-40.

Pe baza compozițiilor granulometrice ale agregatelor, s-au întocmit în cadrul limitelor de granulozitate prevăzute de STAS 132-86 pentru agregatele...25 mm și 0...40 mm, diferite scheme de granulozitate ale agregatului total, cele adoptate fiind prezentate în tabelul 2.10. și grafic în fig. 2.4.

Tabelul 2.10. Granulozitatea agregatului total

Agregatul total conținut dintre:	Trecură prin ciururile sau sitele... mm						
	0,2	1	2,5	7,5	16	31,5	40
0-7 calcar	4,0	26,5	29,3	35,8	60,5	97,6	100,0
0-7 mortar	3,5	19,5	20,2	41,9	59,9	90,8	95,5

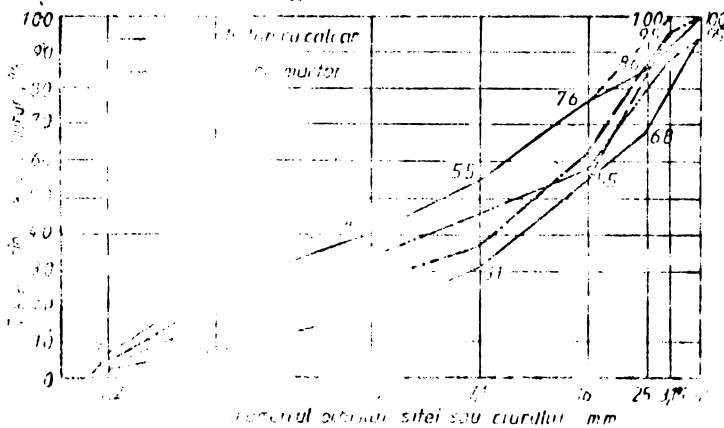
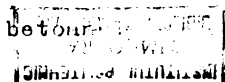


Fig. 2.4.

... sitele pentru beton...



După încercările de laborator, s-au adoptat următoarele dozaaje pentru betoanele experimentate ($E_1...E_3$), și pentru betonul martor (B.M.), datele fiind prezentate în tabelul următor.

Tabelul 2.11. Dozaajele betoanelor experimentate (1 m³).

Specificație	U.M.	B.M.	E_1	E_2	E_3
Ciment P 45	kg	360	340	320	360
Apă (a/c=0,45)	L	162	153	144	162
Nisip, sort 0-7	kg	563	667	678	657
Pluteig, sort 7-16	kg	470	-	-	-
Pluteig, sort 16-40	kg	845	-	-	-
Grilbură, sort 7-15	kg	-	477	484	470
Grilbură, sort 15-30	kg	-	763	774	751
Aditivi (2 marci ciment)	g	0,3	0,3	0,3	0,3

Pe teren, secțiunile experimentale au următoarele poziții kilometrice:

- beton martor (B.M.) : km: 436+148-436+300;
- beton cu calcar (E_1): km: 436+113-436+148;
- beton cu calcar (E_2): km: 436+083-436+113;
- beton cu calcar (E_3): km: 435+906-436+083.

2.3.3. Prepararea și transportul betonului

Cu o stație tip CEDOMAL-51 s-a procedat la fabricarea betoanelor în carje de 1920 kg (0,8 m³), cu o durată optimă de amestecare de 75 secunde. Pe parcursul preparării betoanelor, s-au efectuat corecții ale dozaajelor în funcție de rezultatele determinărilor privind umiditatea agregatelor și volumul de aer occlus al betonului proaspăt.

S-au efectuat de asemenea, verificări privind dozarea materialelor componente, respectându-se întru totul prevederile Caietului de sarcini.

Privind transportul, este necesar ca timpul care se scurge de la prepararea betonului și pînă la completa finisare a suprafeței îmbrăcămîntei, nu trebuie să depășească timpul determinat pentru începerea prizei cimentului.

În cazul de față, transportul s-a efectuat cu autobascule, distanța medie de transport fiind de 2,5 km, iar durata transportului a fost de circa 20 minute, cu mult sub timpul de începere a prizei cimentului. La plecarea din stație betonul a avut o temperatură cuprinsă între 24...27 °C.

2.3.4. Asternerea betoanelor

Structura betonului poate fi influențată într-o măsură

importantă de factori extrinseci, din rîndul cărora condițiile de mediu la punerea în operă, precum și la conservarea și întărirea liantului, au o importanță particulară; ele presupun corelații complexe cu formarea și dezvoltarea structurii betonului, cu caracteristicile sale compoziționale și structurale.

Dintre condițiile de mediu, cu o influență hotărîtoare sînt umiditatea și temperatura, iar la data așternerii betoanelor, temperatura aerului a fost cuprinsă între 25...33 °C, deci cu valori care uneori au depășit temperatura limită recomandată, de 29 °C, aceluia datorită condițiilor locale.

Betonul a fost așternut într-un singur strat cu $h_{med} = 20,0$ cm, înaintea cu cofraje fixe, compactarea realizîndu-se prin vibrare cu frecvențe cuprinse între 4 500...6 000 vibrații pe minut. Pe un sector de 30,0 m (km: 436+20 - 436+50), grosimea dalei a fost redusă cu 2,0 cm, ceea ce reprezintă $l_{0,5}$ din grosimea rezultată din calcul, conform proiectului de rîndire.



Fig. 2.5. Aspect din timpul execuției.

Suprafața îmbrăcămîntei s-a finisat prin striere manuală, iar protecția betonului s-a făcut cu o peliculă de emulsie bituminosă cationică, așternută prin stropire mecanică în cantitate de circa $0,500 \text{ kg/m}^2$.

2.3.5. Executarea rosturilor

Rosturile de contracție au fost realizate cu mașina de tăiat rosturi, iar colmatarea s-a făcut cu furtun de cauciuc de $\phi = 9,0$ mm, peste care s-a așternut mastic bituminos.

Tăierea rosturilor s-a făcut pe o lățime de 7,0 mm și o adîncime de 6,0...7,0 cm, adică pe o treime din grosimea dalei.



Fig. 2.6. Tăierea și colmatarea rosturilor de contracție.

În general dilatația termică a betoanelor variază în raport cu dozajul de ciment și conținutul de apă, dar este influențat în mod direct și de natura agregatelor.

Având în vedere coeficientul de dilatație termică mai redus al betonului cu calcar (vezi tabelul 2.12.), în comparație cu al betoanelor preparate cu alte tipuri de roci, sectorul experimental s-a executat fără rosturi de dilatație.

Tabelul 2.12. Coeficienți de dilatație termică pentru betoane cu diferite agregate.

nr. ord.	Natura agregatelor utilizate	Coeficientul de dilatație termică
1.	Silicioase	$12,5 \dots 13,5 \cdot 10^{-6}$
2.	Cuarțite	$13,0 \cdot 10^{-6}$
3.	Granit porfir	$9,5 \dots 10,5 \cdot 10^{-6}$
4.	Gresii	$10,5 \dots 11,5 \cdot 10^{-6}$
5.	Calcar	$7,5 \dots 8,0 \cdot 10^{-6}$

Pentru a stabili oportunitatea măririi distanței dintre rosturile de contracție în cazul îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment preparat cu agregate calcareoase, pe o lungime de 17,0 m din sectorul de beton martor (km: 436+148-436+248) și de 9,0 m (km: 436+053-436+148) din sectorul de beton cu criblul în calcar, nu s-au practicat rosturi de contracție, în rest rosturile au fost executate la distanțe de 5,0 m, iar pe unele porțiuni la distanțe variabile de 5...12,0 m (vezi anexa 2.6.).

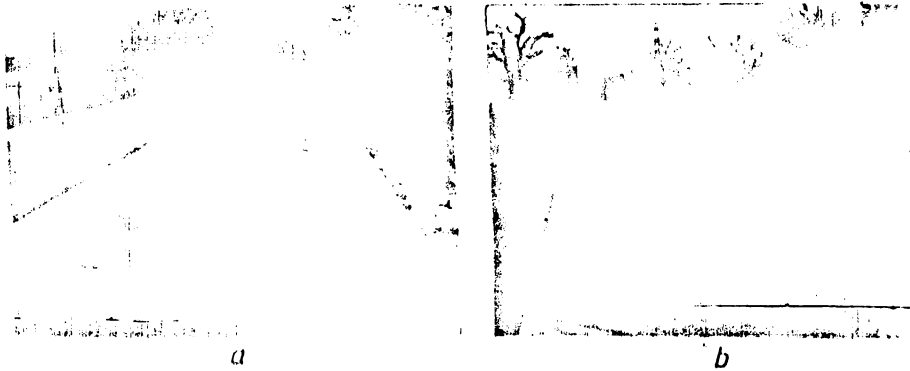


Fig. 2.7. Vedere sectoare experimentale.

a) sector mator; b) sector experimental.

Analiza comportării în exploatare a dalelor cu lungimi variabile, a relațiilor de dependență între caracteristicile betonelor cu agregate calcaroase și distanța între rosturile de contracție, precum și modelarea matematică a acestora, sînt prezentate în capitolul III.

2.3.6. Controlul privind calitatea lucrărilor executate

Pe tot parcursul experimentărilor, acțiunea privind calitatea lucrărilor s-a desfășurat în următoarele direcții:

- încercări asupra betonului proaspăt;
- încercări pe betonul întărit;
- verificarea calității îmbrăcăminților executate.

Starea betonului, din momentul amestecării cimentului cu apa și agregatele, pînă la începerea prizei cimentului, este definită ca beton proaspăt /80/.

De betonul proaspăt s-au făcut determinări privind: densitatea aparentă, lucrabilitatea, gradul de compactare și volumul de aer oclus, rezultatele fiind prezentate în tabelul 2.13., pentru toate tipurile de betoane.

Tabelul 2.13. Caracteristicile betonelor în stare proaspătă

Caracteristicile betonului proaspăt	U.M.	Betoane cu agregate calcaroase			
		Beton mator	B ₁	B ₂	B ₃
Densitatea aparentă	kg/m ³	2442	2486	2488	2464
Pasarea	cm	0,5	0,7	0,6	0,3
Grad de compactare	-	1,33	1,39	1,25	1,30
Volum aer oclus	%	3,3	3,9	3,4	3,2

Din analiza rezultatelor obținute ca urmare a încercărilor efectuate asupra betoanelor în stare proaspătă, se pot trage următoarele concluzii:

- densitatea aparentă a betoanelor realizate cu agregate calcaroase este superioară valorii aferente betonului martor, încadrându-se în prevederile Caietului de sarcini, aspect ce influențează pozitiv calitatea betoanelor;

- lucrabilitatea betoanelor cu calcar, determinată prin metoda tasării, este cuprinsă între 0,3...0,7 cm, fiind în general similari cu cea a betonului martor și se înscrie în prevederile Caietului de sarcini;

- valoarea medie a volumului de aer oclus este de 3,5 %, superioară valorii aferente betonului martor, dar se respectă condițiile impuse.

În general, în această stare a betoanelor, nu se observă diferențieri pregnante pentru caracteristicile aferente, valorile fiind foarte apropiate.

Pentru efectuarea încercărilor pe betonul întărit, s-au prelevat câte trei cuburi și trei prisme pentru fiecare tip de dozaj. Epruvetele au fost păstrate în regim de umiditate ridicată până la vârsta de 7 zile și apoi în regim cu umiditate normală până la 28 zile, în cadrul laboratorului stației de betoane.

Încercările la vârsta de 28 zile au fost efectuate în cadrul laboratorului central al Direcției de Drumuri și Poduri Timișoara și Facultatea de Construcții Timișoara.

În vederea stabilirii caracteristicilor betoanelor în stare întărită s-au efectuat determinări privind:

- rezistența la compresiune și la întindere prin încovășire;

- gradul de impermeabilitate;

- rezistența la îngheț-dezgheț și rezistența la uzură prin frecare pe cale uscată;

- contracția axială.

2.3.6.1. Rezistențele mecanice

Din punct de vedere al rezistențelor mecanice ale betoanelor de ciment, există mai multe opinii privind factorii care concurează la determinarea lor.

Pe de o parte este susținută teoria privind includerea betonului în categoria rocilor, de care s-ar deosebi printr-o

porozitate mai mare, dar se susține și concepția conform căreia rezistențele mecanice ale betonului sînt determinate de forța intermoleculare care crează zone mai slabe în care se amorsează ruperea /119/.

Betonul fiind un conglomerat coerent și rezistent, alcătuit din matrice și agregat, suportă influența tuturor factorilor componenți, proprietățile lui fiind determinate de proprietățile matricei, a agregatului total cît și de modul de conlucrare între matrice și agregat, conlucrare determinată de adeziunea existentă la nivelul de contact al matricei cu granaula de agregat.



Fig. 2.8. Structura betonului:
M - matricea; A - agregat.

Studiul aferent influenței fiecărui component în parte, specific betoanelor de ciment rutiere cu agregate de natură calcaroasă, este prezentat în capitolul III.

În tabelul 2.14 sînt prezentate rezultatele încercărilor efectuate la vîrsta de 28 zile asupra probelor prelevate.

Tabelul 2.14. Rezistențele mecanice ale betoanelor

Nr. crt.	Cod Beton	Doza, ciment kg/m ³	Rezistențele mecanice			
			Impuse (N/mm ²)		Obținute (N/mm ²)	
			R _c	R _t	R _c	R _t
1.	B.M	360	40	5,4	42,5	5,4
2.	E ₁	340	40	6,4	49,8	6,7
3.	E ₂	320	40	6,4	47,5	6,5
4.	E ₃	360	40	6,4	46,3	6,3

Din analiza rezultatelor obținute se pot concluziona următoarele:

- rezistențele mecanice ale betoanelor de ciment rutiere preparate cu cribluri din calcar provenit de la cariera Constantin Balcovișiu, prevăzute în Caietul de sarcini și stabilite

baza cercetărilor de laborator efectuate, au fost confirmate cu ocazia experimentărilor pe teren, în condiții de execuție curentă;

- betoanele preparate cu criblură de calcar și cu un dozaj de ciment de 340 kg/m^3 , au condus la obținerea celor mai mari valori ale rezistențelor mecanice: $49,8 \text{ N/mm}^2$ la compresiune și $6,7 \text{ N/mm}^2$ la întindere prin încovoiere;

- cele mai mici sporuri ale rezistențelor mecanice, s-au înregistrat în varianta utilizării unui dozaj de ciment de 360 kg/m^3 , deci cu 20 kg/m^3 mai mult decât cel care a condus la obținerea rezistențelor maxime;

- comparativ cu betonul martor, betoanele cu criblură de calcar, în funcție de dozajul de ciment utilizat, au prezentat sporuri de $6,4 \dots 14,5 \%$ pentru rezistența la compresiune și respectiv $18,5 \dots 24,0 \%$ pentru rezistența la întindere din încovoiere.

Dacă se analizează comparativ cu valorile impuse prin normativul pentru executarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, pentru betoanele de marcă B 400, sporurile de rezistență sînt de max. $24,5 \%$ la compresiune și max. $24,0 \%$ la întindere din încovoiere.

2.3.6.2. Gradul de impermeabilitate.

La baza metodelor de determinare a permeabilității betonului stă legea lui Darcy /119/, a proporționalității directe între debite $q (\text{cm}^3/\text{s})$ și diferențele de presiune care le cauzează p și care, pentru o distanță l perpendiculară pe suprafața de curgere A , se exprimă sub forma:

$$q = \frac{k_I}{\gamma} \cdot A \cdot \frac{\Delta P}{l} \quad (2.1)$$

în care k_I reprezintă coeficientul de permeabilitate al betonului.

O altă modalitate de stabilire a permeabilității betonului față de apă este aceea a determinării gradului de impermeabilitate al acestuia, metodă utilizată și în țara noastră, gradul de impermeabilitate fiind dat de presiunea maximă a apei la care betonul nu este pătruns.

Rezultatele obținute în urma determinărilor efectuate pentru stabilirea gradului de impermeabilitate a betoanelor de ciment rutiere experimentate, sînt prezentate în tabelul de mai jos.

Tabelul 2.15. Rezistența betonului la pătrunderea apei sub presiunea de 12 bari.

Caracteristica	Dozaj ciment kg/m ³	Raportul A/O	Beton cu calcar	Beton martor	Grad de impermeabi- litate
Înălțimea de pătrundere a apei, cm.	320	0,45	5,6	-	P 12
	340	0,45	5,8	6,8	P 12
	360	0,45	8,9	11,0	P 12

Agregatele pot influența permeabilitatea betonului prin propria lor permeabilitate, prin granulozitate și prin adeziunea lor cu liantul.

Permeabilitatea agregatelor, exprimată prin coeficientul de permeabilitate k , este funcție de mărimea porozității și de natura acestora /144/, câteva valori fiind prezentate în tabelul 2.16.

Tabelul 2.16. Permeabilitatea agregatelor (k)

Roca	Masa volumică g/cm ³	Porozitatea totală %	Coef. de perm. k , cm/s
Granit	2,60-2,80	0,5-1,5	$2 \cdot 10^{-9}$ - $8 \cdot 10^{-10}$
Calcar	2,05-2,40	0,1-0,4	$(2 \dots 9) \cdot 10^{-1}$
Calcar cristalin	2,65-2,75	0,2-4,0	$2 \cdot 10^{-10}$ - $1,7 \cdot 10^{-1}$
Calcar compact	2,58-2,66	0,5-5,0	-

Din examinarea rezultatelor obținute, rezultă următoarele:

- comparativ cu betonul martor, betoanele preparate cu calcar au prezentat valori aferente înălțimii de pătrundere a apei la presiunea de 12 bari, mult mai mici;
- betoanele cu calcar, indiferent de tipul cimentului, s-au dovedit mai rezistente la pătrunderea apei sub presiune, aceasta datorându-se influenței favorabile a pietrei de calcar asupra compactității betoanelor.

2.3.6.3. Rezistența la îngheț-dezghet.

Deteriorarea prin îngheț-dezghet constituie unul dintre modurile de degradare a betonului și a sistemelor poroase în general, sub acțiunea agenților fizici.

Pentru îmbrăcămintele rutiere rigide, determinarea rezistenței betonului la îngheț-dezghet este de cea mai mare importanță întrucât acestea sînt supuse la condiții climatice de-

nebite, la alternanțe de umiditate și îngheț.

Influența și efectele înghețului repetat se manifestă cu intensitate diferită în raport cu condițiile de expunere, caracteristicile mediului și cu proprietățile materialului, în mod deosebit la elementele de beton cu o suprafață în contact permanent cu aerul. Gelivitatea betonului este o consecință a proceselor legate de înghețarea apei în pori, care conduc treptat sau rapid la deteriorarea structurii /119/.

Procesele care au loc la îngheț-dezghet conduc la apariția unor presiuni în structura betonului, sub acțiunea cărora se dezvoltă o stare de deformare și o stare de tensiune, deteriorarea producându-se în momentul în care eforturile interioare depășesc rezistența la întindere a betonului în unele puncte izolate, astfel că proprietățile fizico-mecanice înregistrează o evoluție negativă.

În decursul înghețului, starea de microfisurare a structurii betonului se accentuează, scăzând coeziunea dintre componentele betonului și aderența dintre matrice și agregate.

Gradul de gelivitate, așa cum este definit în țara noastră, se referă la numărul ciclurilor de îngheț-dezghet în decursul cărora epruvetele din betonul testat, nu suferă o diminuare a rezistenței la compresie mai mare de 25 %, sau scăderea modului de elasticitate cu peste 15 %, deci este dependent în exclusivitate de proprietățile betonului, condițiile de îngheț-dezghet fiind neschimbate.

Noțiunea de rezistență la îngheț-dezghet este mai largă, referindu-se deopotrivă atât la proprietățile materialului, cât și la cele ale mediului, deci este o proprietate dependentă de mediu.

Pornind de la teoria lui Fagerlund /45/ privind influența înghețului asupra materialelor poroase în raport cu condițiile climatice și proprietățile acestora, se poate adapta relația și pentru betonul de ciment matiere, sub forma:

$$F = f(S, T_{\min}, dW_f / dt, t, \epsilon_r, R_t) K \quad (2.2)$$

unde F reprezintă influența înghețului asupra betonului, S - gradul de saturare cu apă, T_{\min} - temperatura minimă în beton, dW_f / dt - viteza de formare a gheții, t - durata expunerii betonului la îngheț, ϵ_r - deformația specifică la rupere, R_t - rezistența de rupere la întindere, K - cantitatea de apă din pori care nu îngheată la temperatura minimă.

Deci influența nefavorabilă a înghețului se accentuează odată cu intensificarea primilor patru termeni și cu diminuarea ultimelor trei variabile.

În tabelul 2.17 sînt prezentate rezultatele încercărilor efectuate pentru stabilirea rezistenței la îngheț-dezghet a betoanelor experimentate.

Tabelul 2.17. Rezistența la îngheț-dezghet a betoanelor experimentate

Nr. crt.	Cod beton	Dozaj ciment kg/m ³	Raport A/C	Pierderi de rezistență, %		
				Efective	Admise	Observații
1.	B.M.	360	0,45	6,6	25	Beton marlor
2.	B ₁	340	0,45	8,0	25	Beton cu calcar
3.	B ₂	320	0,45	6,5	25	Beton cu calcar

Din examinarea acestor rezultate se desprinde concluzia că betoanele preparate cu agregate calcaroase au prezentat pierderi de rezistență cu mult sub cele impuse de normative, avînd deci o comportare bună la îngheț-dezghet, comportare imprimată de însăși caracteristicile calcarului în studiu.

2.3.6.4. Con tracția la uscare.

La al III-lea Congres internațional asupra betonului (Stockholm, 1960) s-a definit con tracția ca fiind diminuarea de volum cauzată de pierderea de apă, atribuindu-se "pierderi de apă" un sens mai larg, fizic și chimic /31/.

În sens fizic, prin "pierderea de apă" se înțelege transferul de umiditate de la beton la mediu, care are loc în timpul uscării betonului în atmosferă. Pierderea de apă în sens chimic se datorește hidratării cimentului, precum și reacțiilor între ciment și unele materiale de adaos, urmare cărora se modifică raportul între apa evaporabilă și apa nevaporabilă în beton. Fiind a se înregistra pierderi de masă.

În general betonul manifestă con tracție atât în stare proaspătă cît și în stare întărită.

Con tracția betonului proaspăt poartă denumirea de con tracție plastică; în literatură se mai întîlnesc și denumirile de prima con tracție și con tracție în decursul prizei cimentului /12/.

Con tracția plastică se manifestă după 0,5...2 ore de la fabricarea betonului pînă la încheierea prizei cimentului, înregistrînd valori reduse, pînă la $4 \cdot 10^{-3}$ (1 mm/m), fiind in-

fluențată atât de viteza de evaporare a apei, cât și de propri-
etățile reologice ale betonului - putând genera fisuri și de-
fășurări /65/, /79/.

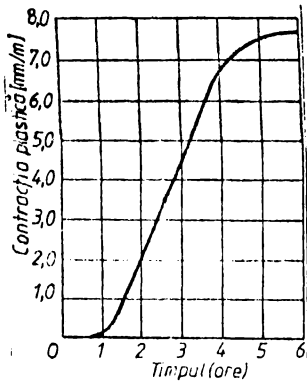


Fig. 2.9. Evoluția contracției
ei plastice.

În capitolul trei sînt tra-
tate posibilitățile privind di-
minuarea efectelor contracției
plastice, ținînd cont de carac-
teristicile specifice ale excu-
ției unei îmbrăcămîți ru-
tiere din beton de ciment.

Betonul întărit manifes-
tă următoarele moduri de contracție:

- contracție la întărire;
- contracție la uscare;
- contracție de carbonatare.

Contracția la întărire are loc în condițiile în care este
evitat mișcarea de umiditate între beton și mediu, datorită
faptului că există apă în zona chimică (contracție intrinsecă)
/12/, /31/.

Contracția la uscare denumită și contracție higrometri-
că sau hidraulică - însoțește transferul de umiditate din be-
ton în atmosferă; contactul cu atmosfera avînd loc numai
printr-una din suprafețele betonului, dezvoltîndu-se un gradi-
ent de umiditate între suprafețele îmbrăcămîtei, iar mărimea
contracției este neuniformă pe direcția gradientului, avînd
caracterul unei contracții diferențiale.

Contracția de carbonatare, contracție ireversibilă, are
loc sub acțiunea bioxidului de carbon din atmosferă, cînd beto-
nul - în particular piatra de ciment - se carbonatează în
timp /129/.

Viteza cu care se produce reacția - între bioxidul
de carbon din atmosferă și hidroxidul de calciu, provenit din hi-
dratarea și hidroliza cimentului, în particular a silicaturii
tricalcic (2.3.), variază în funcție de umiditatea și permea-
bilitatea betonului și de conținutul de CO₂ din aer, modifi-

cîndu-se microstructura, porozitatea și distribuția porilor matricii /79/.

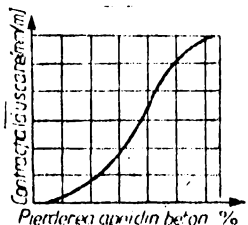
Privind contractia la uscare, inițial are o creștere relativ rapidă, după care viteza de creștere scade treptat, avînd tendința de stabilizare.

Aramunian, citat în literatură /119/, a propus pentru exprimarea variației contractiei la uscare în timp, o funcție exponențială de formă:

$$\epsilon_t = \epsilon_f (1 - e^{-st}) \quad (2.3)$$

în care ϵ_t reprezintă contractia la timpul t , ϵ_f - contractia maximă (finală) și s - un exponent ce caracterizează dezvoltarea în timp a contractiei.

În fig. 2.10. s-a reprezentat variația contractiei la uscare în funcție de cantitatea de apă eliminată, observîndu-se



cum în prima parte a intervalului contractia crește mai rapid în raport cu cantitatea de apă eliminată, în final panta curbei scăzînd treptat.

Compoziția betonului influențează contractia la uscare în mod diferit. În timp ce piatra de ciment determină manifestarea contractiei la uscare, datorită interacției cu apa din pori, agregatul exercită o acțiune de frînare și de reducere a contractiei.

Fig. 2.10. Variația contractiei la uscare /119/.

Valoarea contractiei la uscare a betonului trebuie cunoscută, pentru a permite specialiștilor să ia măsurile necesare în vederea eliminării efectelor ei, respectiv realizarea rosturilor de contractie la anumite distanțe și în anumite moduri, capabile să limiteze eforturile interioare de contractie la valoarea pe care o poate prelua betonul din îmbrăcămîntea rutii.

În tabelul 2.13. sînt prezentate rezultatele măsurărilor efectuate asupra deforșărilor din contractie ale betoanelor experimentate, valorile fiind înregistrate la vîrsta de 14, 21 și 28 zile.

Tabelul 2.13. Contractia la uscare a betoanelor.

Nr. ord.	Cod beton	Dozaj ciment	Raport ϵ/c	Valori la...zile (mm/m)			Observații
				14	21	28	
1.	B.1.	360	0,44	0,185	0,294	0,334	Martor
2.	B.1 ^a	340	0,45	0,040	0,171	0,181	Calcar
3.	B.2	320	0,5	0,105	0,131	0,144	Calcar

din analiza datelor rezultă următoarele:

- natura petrografică a agregatelor utilizate la prepararea betoanelor, are influență asupra deformațiilor provenite din contracția la uscare;

- contracția betoanelor preparate cu agregate din calcar, este mai mică decât cea a betoanelor martor, prezentând la dozajul de ciment P 40, de 340 kg/m^3 , următoarele valori medii generale:

- o,187 mm/m pentru betonul cu calcar;
- o,334 mm/m pentru betonul martor.

2.3.6.5. Rezistența la uzură prin frecare.

Rezultatele obținute în urma determinărilor cu aparatul tip Böhme, privind rezistența la uzură prin frecare a betoanelor în studiu, sînt prezentate în tabelul 2.19., cifrele reprezentînd valori medii generale.

Tabelul 2.19 Uzura betoanelor

Specificație	Dozaj ciment kg/m^3	Beton martor	Beton cu calcar
Pierderi de masă datorată uzurii g/cm^2	320	0,121	0,199
	340	0,125	0,192

Comparativ cu betoanele martor, care au prezentat pierderi datorate uzurii prin frecare, în medie de $0,111 \text{ g/cm}^2$, betoanele preparate cu agregate calcaroase și nisip de rîu, au prezentat pentru aceeași

caracteristică valori medii mai mari cu aproximativ 70 %. Uzura betoanelor preparate cu agregate integral calcaroase, a fost mult mai mare decât cea a betoanelor cu calcar și nisip de rîu, valoarea fiind aproape dublă ($0,385 \text{ g/cm}^2$).

2.4. VERIFICAREA CALITĂȚII ÎMBRĂCĂMINȚILOR RUTIERE EXECUTATE EXPERIMENTAL

Calitatea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment realizat cu agregate din calcar concasat provenit de la cariera C. Dalcovieiu s-a verificat prin:

- determinarea principalelor caracteristici fizico-mecanice pe carote extrase din lucrare;
- măsurători de rugozitate a suprafeței de rulare;
- verificarea planității cu aparatul Viagraf;
- observații vizuale.

Toate aceste verificări s-au făcut pe parcursul a trei ani de exploatare, sub un trafic cu o intensitate medie zilnică anuală de 4675 vehicule etalon, din care traficul greu reprezintă

tă 28 %.

2.4.1. Determinări efectuate pe carote

Au fost extrase un număr de 12 carote din sectoarele executate cu betoane de ciment rutiere preparate cu agregate calcareose și 4 carote din sectorul martor, rezultatele încercărilor efectuate la vârsta de 28 zile sînt prezentate în tabelul 2.20., cifrele reprezentînd valorile medii.

Tabelul 2.20. Rezultatele determinărilor efectuate pe carote.

Nr. crt.	Cod beton	Dozaj ciment kg/m ³	Caracteristici			Sector
			Densit. aparentă kg/m ³	R _t N/mm ²	R _c N/mm ²	
1.	B.M	360	2252	39,7	5,6	martor
2.	E ₁	340	2326	40,1	6,3	calcar
3.	E ₂	320	2261	39,1	5,9	calcar
4.	E ₃	360	2282	39,8	6,1	calcar

La același dozaj de ciment (360 kg/m³) se constată că betoanele preparate cu criblură din calcar, în comparație cu betoanele martor, au înregistrat sporuri de:

- 1,3 % pentru densitatea aparentă;
- 6,5 % pentru rezistența la compresiune;
- 6,1 % pentru rezistența la încovoiere.

Comparativ cu betoanele martor, utilizarea unui dozaj de ciment mai redus cu 20 kg/m³ la prepararea betoanelor de ciment rutiere preparate cu cribluri din calcar, a condus la obținerea celor mai bune valori, ale caracteristicilor aferente betonului pus în operă, înregistrîndu-se următoarele sporuri:

- 3,2 % pentru densitatea aparentă;
- 15,6 % pentru rezistența la compresiune;
- 12,5 % pentru rezistența la încovoiere.

Rezultă deci atât avantaje tehnice, în cazul utilizării agregatelor calcareose, cît și economice, în sensul reducerii substanțiale a consumului de ciment, aspect ce va fi tratat în capitolul III din teză.

2.4.2. Măsurători de rugozitate

Pentru verificarea rugozității suprafeței de rulare, s-au efectuat măsurători prin metoda înălțimii de nisip (HS), pe parcursul celor trei ani de exploatare, în tabelul 2.21. fiind pre-

zentate rezultatele măsurătorilor.

Tabelul 2.21. Rezultatele măsurătorilor de rugozitate.

Nr. crt.	Cod beton	Doza ciment	UM.	Valori HS (mm)				Sector
				1986	1987	1988	1989	
1.	E ₁	360	kg/m ³	0,8	0,8	0,6	0,4	marior
2.	E ₁	340	kg/m ³	0,8	0,7	0,5	0,4	calcar
3.	E ₂	320	kg/m ³	0,7	0,6	0,4	0,3	calcar
4.	E ₃	360	kg/m ³	0,7	0,7	0,5	0,4	calcar

Se constată că nu există diferențe semnificative între valorile rugozității, dar scăderea lor după numai 3...4 ani de exploatare impune rezolvarea din punct de vedere tehnic a acestei probleme, câteva soluții în acest sens fiind prezentate în capitolul trei, soluții ce permit mărirea considerabilă a rugozității suprafeței îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment, cât și durabilitatea ei.

2.4.3. Verificarea planeității suprafeței de rulare cu aparatul Viagraf

Pentru aprecierea planeității suprafeței de rulare se utilizează drept criteriu, indicatorii obținuți din prelucrarea datelor înregistrate grafic sau electronic, cu unul din cele două sisteme de exprimare a denivelărilor, cu care este dotat aparatul Viagraf:

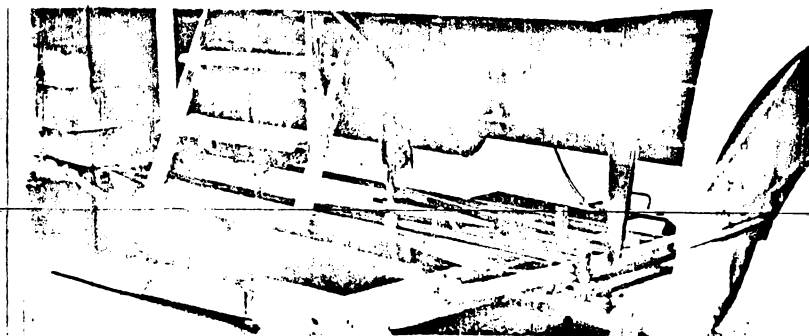


Fig. 2.11. Măsurători cu Viagraful.

În cazul de față s-a lucrat cu sistemul grafic de înregistrare și după prelucrarea viagramelor s-a obținut indi-

cătorul hectometric Viagraf $I_{hv} = \sum \Delta h_i (mm/100m)$ pentru fiecare sector în parte. În tabelul 2.22, fiind prezentate valorile și calificativul acordat.

Tabelul 2.22. Aprecierea planității cu I_{hv}

Nr. crt.	Cod beton	I_{hv} mm/100 m	IP I/60	Calificativ acordat	Sector
1.	B.M.	27	0,45	Foarte bun	martor
2.	E ₁	22	0,36	Foarte bun	calcar
3.	E ₂	13	0,22	Foarte bun	calcar
4.	E ₃	23	0,37	Foarte bun	calcar

Măsurătorile au fost efectuate în anul 1987 și reținute în anul 1989, diferențele fiind ne semnificative, toate sectoarele prezentând o planitate corespunzătoare.

2.4.4. Observații vizuale

Urmare observațiilor efectuate în timpul execuției și pe parcursul celor aproape patru ani de exploatare s-au constatat următoarele:

- betoanele de ciment rutiere, preparate cu cribluri din calcar și cu nisip de râu, au în stare proaspătă, un aspect omogen, fără tendință de segregare și prezintă o lucrabilitate bună;

- carotele extrase din îmbrăcăminte, au prezentat un grad de compactare omogen pe toată înălțimea lor;

- pentru toate tipurile de betoane experimentate, s-a obținut o suprafață bună, omogenă și închisă.

Aspectele privind apariția fisurilor ca urmare a experimentării unor dale cu lungimi diferite, sînt tratate în capitolul trei, atât pentru sectorul martor cît și pentru sectoarele executate din betoane de ciment rutiere preparate cu agregate calcaroase.

2.5. CONCLUZII ȘI PROFUNERI

Utilizarea agregatelor de natură calcaroasă la fabricarea betoanelor de ciment rutiere a devenit o practică curentă în alte țări (Franța, R.F.G., Belgia, Italia ș.a.), aplicîndu-se cu rezultate bune din punct de vedere tehnic și economic.

Cercetările efectuate în laborator cît și pe sectoare

experimentale, privind ranforțarea structurilor rutiere existente cu betoane de ciment preparate cu agregate din calcar provenit de la cariera C. Daicoviciu, permit formularea unor concluzii și propuneri.

În legătură cu studiul calcarului se menționează următoarele:

- din punct de vedere al caracteristicilor petrografice-mineralogice, roca calcaroasă corespunde condițiilor impuse prin Caietul de sarcini, aprobat de către Direcția Drumurilor București;

- valorile caracteristicilor fizico-mecanice determinate pe epruvete se încadrează în limitele impuse, excepție făcând rezistența la uzură pe cale uscată, care încadrează calcarul studiat în categoria rocilor cu uzură mare;

- roca calcaroasă din care se obține criblura pentru realizarea betoanelor de ciment rutiere, trebuie să fie omogenă, fără urme vizibile de alterare și dezagregare fizică, chimică sau mecanică, să prezinte o rezistență la compresiune în stare uscată de min. 40 N/mm^2 și o uzură sub $0,3 \text{ g/cm}^2$.

Asupra agregatelor obținute prin concasarea calcarului se fac următoarele observații:

- caracteristicile fizico-mecanice determinate pe cribluri, corespund condițiilor impuse prin Caietul de sarcini pentru cribluri de natură calcaroasă în vederea utilizării lor la betoanele de ciment rutiere;

- prezentând o adhezivitate mai mare la suprafața de contact cu mortarul de ciment, imprimă sistemului matrice-agregat aferent structurii betonului, o aderență mai bună, aspect ce influențează pozitiv rezistențele mecanice ale betoanelor;

- datorită porozității reduse, prezintă un coeficient de permeabilitate (k) mic, fapt ce imprimă îmbrăcămintei din beton de ciment rutier un grad mare de impermeabilitate ($P 10$). Aspect deosebit de important privind comportarea în exploatare.

Betoanele de ciment rutiere cu agregate calcaroase se realizează după principiul betoanelor clasice, asupra lor concludându-se următoarele:

- folosirea cimentului tip P 45 și a agregatelor calcaroase sub formă de cribluri, asigură obținerea unor betoane de ciment rutiere de marcă superioară;

- betoanele de ciment rutiere cu criblură de calcar, se prepară și se pun în operă după aceeași tehnologie ca și cele-

alte tipuri de betoane de ciment rutiere;

- agregatele calcaroase sub formă de criblură, au contribuit la îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice ale betoanelor de ciment rutiere, atât în stare proaspătă cât și în stare întărită;

- utilizarea calcarului sub formă de criblură la prepararea betoanelor de ciment rutiere, permite reducerea dozajului de ciment cu cca. 20 kg/m^3 , comparativ cu betoanele preparate cu pietriș concasat;

- betoanele de ciment rutiere realizate cu agregate calcaroase și nisip natural de râu, prezintă caracteristici tehnice superioare calitativ betoanelor preparate cu agregate integrale calcaroase;

- datorită proprietăților specifice ale agregatelor calcaroase, betoanele de ciment rutiere preparate cu aceste agregate prezintă rezistențe mai mari la pătrunderea apei sub presiune, aceasta datorită influenței favorabile a pietrei de calcar asupra compactității betoanelor;

- pierderile de rezistență la îngheț-dezghet pentru aceste tipuri de betoane, sînt cu mult sub cele impuse (8,0 % față de 25 % impus), aspect imprimat de însăși caracteristicile calcarului;

- contracția la uscare a betoanelor de ciment rutiere preparate cu agregate calcaroase este cu circa 50 % mai mică decît a betoanelor preparate cu pietriș concasat, aspect deosebit de important pentru o îmbrăcăminte rutieră, impunându-se o premeditare a distanței între rosturile de contracție (vezi cap. III);

- pierderile datorate uzurii prin frecare sînt cu 60 % mai mari la betoanele cu agregate calcaroase decît la cele preparate cu pietriș concasat ca atare se impune tratarea suprafeței de rulare, prin clitaș. În capitolul trei din teză este prezentată și o metodă nouă, de tratare a suprafeței îmbrăcămîntilor rutiere din beton de ciment;

- betoanele preparate cu agregate calcaroase satisfac condițiile impuse prin Caietul de sarcini pentru experimentarea îmbrăcămîntilor rutiere din beton de ciment cu agregate din calcar concasat;

- pentru asigurarea suprafeței de rulare a unei rugozități corespunzătoare, se propune executarea striurilor cu marga de striat (vezi cap. III);

- indicele de planeitate (I.P.) aferent suprafețelor

de rulare pentru toate sectoarele experimentale, a prezentat valori corespunzătoare calificativului „Foarte Bun”;

- utilizarea acestor tipuri de betoane la ranforsarea structurilor rutiere, permite reducerea grosimii dalei cu circa 10 %, datorită unor caracteristici particulare ale agregatelor calcaroase;

- calculul grosimii dalei de beton de ciment cu criblură de natură calcaroasă pentru ranforsarea structurilor rutiere, se face conform prevederilor STAS 1339-79.

Condițiile impuse prin Caietul de sarcini și unele din propunerile făcute au stat la baza elaborării „Instrucțiunilor tehnice departamentale pentru realizarea îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment cu criblură de natură calcaroasă”. Indicativ C D 170-88.

Se impune totuși a avea mai multă încredere în betoanele de ciment rutiere preparate cu agregate calcaroase, ele oferind posibilități de utilizare mult mai mari decât cele cunoscute pînă în prezent.

2.6. STUDIUL CENUȘEI DE ȘIST BITUMINOS DE LA C.T.E. ANINA ÎN SCOPUL UTILIZĂRII EI LA PREPARAREA BETOANELOR DE CIMENT RUTIERE.

Cenușile de la centralele termoelectrice (C.T.E.) reprezintă unul din principalele deșeuri industriale care, datorită compoziției chimice și proprietăților hidraulice, pot constitui sursa de materii prime valorificabile în diverse domenii, inclusiv în sectorul rutier.

În conjunctura economică actuală și viitoare tinînd seama de o dirijare a gazelor și petrolului în domenii mai eficiente, politica energetică a țărilor dezvoltate și în curs de dezvoltare se orientează spre utilizarea cu precădere a cărbunilor, inclusiv a celor inferiori și a șisturilor bituminoase, ca surse combustibile în termocentrale.

În concordanță cu dezvoltarea termoenergeticii între anii 1975...1985 și ca prevederile planului cincinal actual, în fig.2.12. este redată dinamica cantităților de cenușă din țara noastră /129/.

Se observă o creștere semnificativă a rezervelor de cenușă, în special după anul 1980, cînd au fost puse în funcție noi termocentrale.

La C.T.E. Anina din județul Caraș-Severin, după punerea în funcție (1985) rezultă peste 3 milioane *la*

Iar în 1995 se va ajunge la circa 10 milioane tone pe an /34/, aspect cu implicații economice și ecologice, ca atare se impune o preocupare majoră pentru valorificarea acestui important deșeu industrial, preocupare impusă și de o serie de factori ca:

- limita resurselor naturale de minerale utile;
- protecția mediului ambiant;
- penuria de energie;
- găsirea de noi surse de materii prime secundare locale, susceptibile de a fi utilizate după tehnologiile clasice sau după noi procedee.

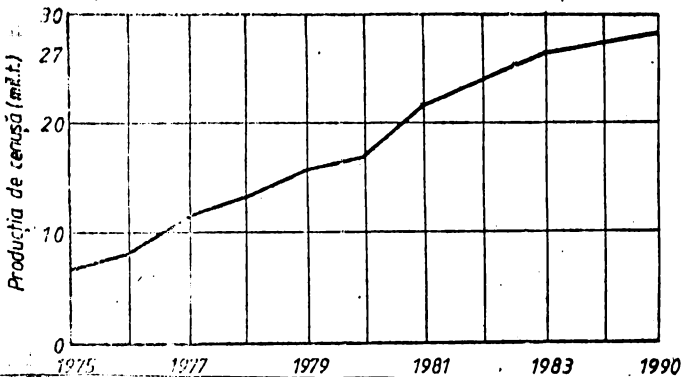


Fig. 2.12. Dinamica producției de cenușă.

Importanța și complexitatea problemei utilizării cenușilor a constituit obiectul mai multor simpozioane internaționale /146/, /147/ și naționale /148/ care au adus o contribuție esențială sub aspect fundamental în stabilirea domeniilor de valorificare. În acest context România se situează printre primele țări din lume care a adoptat la nivel de stat un Program prioritar de valorificare complexă a cenușilor.

În tabelul 2.23. se prezintă după datele Comisiei Economice Europene (C.E.E.) din 1984, cantitățile de cenușă utilizate în diverse țări în funcție de principalele domenii.

România deține circa 2 % din rezervele mondiale de cenușă /129/, iar practica utilizării ei în sectorul de drumuri și în mod deosebit la fabricarea betoanelor de ciment rutiere, nu este la nivelul cerințelor și posibilităților actuale.

Conținutul și natura oxidică a cenușilor variază în limite largi în funcție de geneza cărbunilor, substanțele mine-

rale asociate cărbunilor fiind constituite din circa 95 % minerale de natură marnoasă /lol/.

La C.T.F. Anina, șistul bituminos se arde sub formă de pulbere fin măcinată într-un curent de gaze insuflat prin injectare, iar partea fină din cenușă este antrenată cu gazele, depunându-se într-un sistem de cicloane.

Tabelul 2.23. Domenii de utilizare a cenușilor.

ȚARA	Producția mii tone	Fabricarea cimentului		Drumuri	Betoane compacte			Agregate ușoare	Diverse	Totalul utilizării	(% utilizări)
		Adăos la măcinare	Materie primă		Blocuri	Beton prefabricat	Baraje diguri				
ANGLIA	10370	126	29	3183	736	11	3	244	-	5325	51
FRANTA	4185	681	246	1497	96	-	-	-	58	2725	65
RF GERMANIA	6500	250	50	310	-	-	-	-	650	1260	47
POLONIA	4971	165	12	22	458	315	-	-	19	1702	34
ROMÂNIA	2340	5	-	-	-	-	-	-	1	6	1
SUA.	42731	17	248	350	304	185	71	193	2896	8606	20
Total	71147	1244	585	5362	1594	511	74	437	3624	21509	30

Fracțiunea cea mai fină este reținută prin electrofiltre constituind cenușa activă ce se poate utiliza ca adaosuri în cimenturi și betoane, precum și în alte activități rutiere.

În țara noastră au fost întreprinse cercetări asupra cenușilor de la C.T.F. existente, dar rezultatele lor privind modul de utilizare, în special în domeniul betoanelor de ciment nu se pot extrapola și pentru cenușa de șist bituminos de la C.T.F. Anina, cunoscând faptul că se înregistrează variații importante în compoziția chimică a cenușilor de la un zăcămint la altul și chiar pentru același zăcămint, în funcție de natura combustibilului, de proveniență și de regimul de funcționare al C.T.F.

Cunoașterea caracteristicilor cenușilor este deosebit de importantă pentru stabilirea domeniilor de utilizare complexă și eficientă, cunoscând faptul că există o interdependență între compoziția chimico-mineralogică, proprietățile fizice și activitatea hidraulică a lor.

În figura 2 se prezintă o schemă de abordare /129/ a principalelor caracteristici ale cenușilor care dau imagine clară asupra alternativelor de utilizare.

Cenușa rezultată prin arderea șistului bituminos în C.T.F.

rale asociate cărbunilor, fiind constituite din circa 95 % minerale de natură marnoasă /lol/.

La C.T.F. Anina, gîstul bituminos se arde sub formă de pulbere fin măcinată într-un curent de gaze insuflat prin injectare, iar partea fină din cenușă este antrenată cu gazele, depunîndu-se într-un sistem de cicloane.

Tabelul 2.23. Domenii de utilizare a cenușilor.

ȚARA	Producția mii tone	Fabricarea cimentului		Drumuri	Betoane compacte			Agregate ușoare	Diverse	Totalul utilizării	% utilizării
		Activitate în țară	Marșe primă		Beturi	Beton preabricat	Scări dizuri				
ANGLIA	10370	126	29	3183	736	11	3	244	-	5325	51
FRANTA	4185	-	246	1497	96	-	-	-	58	2725	65
R.F. GERMANIA	6500	-	50	310	-	-	-	-	650	1260	47
POLONIA	4271	-	12	22	458	315	-	-	19	1702	34
ROMÂNIA	2140	5	-	-	-	-	-	-	1	6	1
SUA.	42761	17	248	350	304	105	71	193	2896	8606	20
Total	71147	1244	505	5362	1594	511	74	437	3624	21509	30

Fracțiunea cea mai fină este reținută prin electrofiltre constituind cenușa activă ce se poate utiliza ca adaosuri în cimenturi și betoane, precum și în alte activități rutiere.

În țara noastră au fost întreprinse cercetări asupra cenușilor de la C.T.F. existente, dar rezultatele lor privind modul de utilizare, în special în domeniul betoanelor de ciment nu se pot extrapola și pentru cenușa de gîst bituminos de la C.T.F. Anina, cunoscînd faptul că se înregistrează variații importante în compoziția chimică a cenușilor de la un zăcămint la altul și chiar pentru același zăcămint, în funcție de natura combustibilului, de proveniență și de regimul de funcționare al C.T.F.

Cunoscînd caracteristicile cenușilor este deosebit de importantă pentru stabilirea domeniilor de utilizare complexă și eficientă, cunoscînd faptul că există o interdependență între compoziția chimico-mineralogică, proprietățile fizice și activitatea hidraulică a lor.

În figura 2.13. se prezintă o schemă de abordare /129/ a principalelor caracteristici ale cenușilor care dau imagine clară asupra alternativelor de utilizare.

Cenușa rezultată prin arderea gîstului bituminos în C.T.F.

Anina, a fost studiată mai întâi în laborator, după care s-a procedat la realizarea unor sectoare experimentale de ranforsare a structurilor rutiere existente utilizând betoane de ciment fabricate cu adaos de cenușă.

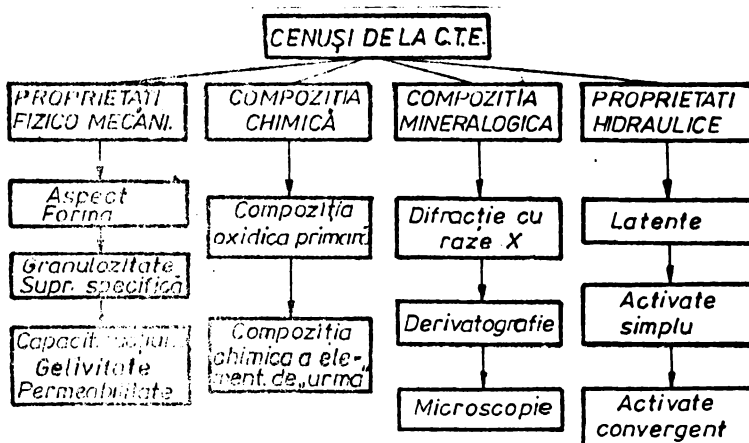


Fig. 2.13. Schemă de abordare a principalelor caracteristici ale cenușilor.

După acest model s-au derulat și cercetările privind cenușa de la C.T.E. Anina.

2.6.1. Cercetări de laborator. Proprietățile fizice și mecanice.

În colaborare cu Institutul de Cercetare și Proiectare pentru Industria Materialelor de Construcții București și Institutul Politehnic Traian Vuia Timișoara, Catedra de drumuri, fundații și instalații în construcții, în perioada 1985...1987, după intrarea în funcțiune a C.T.E. Anina, s-a procedat la studiul cenușii rezultată din arderea gisurilor bituminoase.

Aspect exterior, formă. Cenușile de la C.T.E. în funcție de natura combustibilului și condițiile de ardere, pot avea o nuanță variabilă între gri deschis până la brun, cenușa de la C.T.E. Anina, captată prin electrofiltru are o nuanță de gri închis.

În funcție de locul de captare rezultă zguri ca formă neregulate și cenușă grosieră și fină (fig.2.14), ultimele două tipuri prezentându-se sub

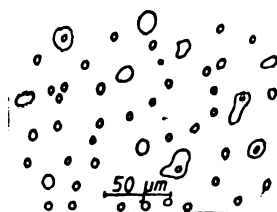


Fig.2.14. Cenușă grosieră și fină.

formă de pulberi compacte, avind forme aproximativ sferice, aspect ce permite o ameliorare a lucrabilității mortarelor și betoanelor din ciment cu adaosuri.

Granulozitatea și suprafața specifică.

Din punct de vedere al granulozității, cenușile de la C.T.F. se înscriu în limite largi, zonele mai restrinse fiind pentru cenușile captate la electrofiltre și care satisfac în general condițiile pentru utilizarea ca adaosuri la betoane.

Determinarea granulozității a-a efectuat prin metoda cernerii pînă la diametrul de $50 \mu\text{m}$ și prin metoda sedimentării pentru $\phi < 50 \mu\text{m}$, curba de granulozitate fiind reprezentată în fig. 2.15., comparativ cu curbele pentru cenуși din țară.

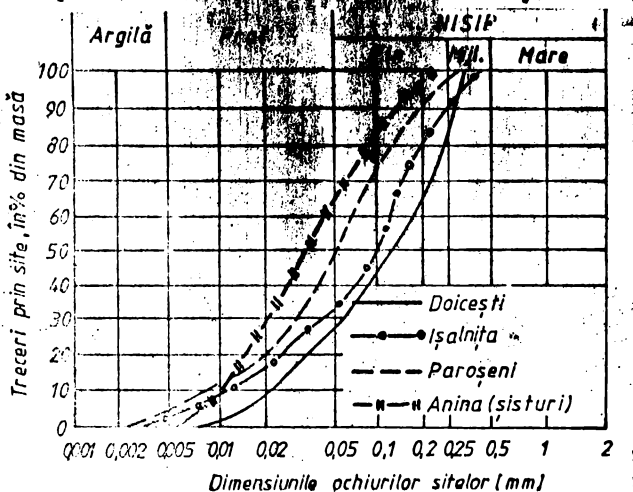


Fig. 2.15. Curbele de granulozitate pentru diferite cenуși, inclusiv pentru cenуșa de la C.T.F. Anina.

La cenуși dimensiunea medie a particulelor este cuprinsă între 20 și $100 \mu\text{m}$ avind o distribuție gaussiană /130/, fracțiunea mai mică de $50 \mu\text{m}$ prezentind un interes major datorită activității hidraulice pe care o manifestă /129/. In cazul cenуșei de la C.T.F. Anina, această fracțiune se situează între 25 și 60 %, conferind un potențial hidraulic mediu.

După Voinea /110/, pentru evaluarea activității hidraulice a cenуșilor este mai indicat să se utilizeze criteriul suprafeței specifice în locul granulozității.

Pentru a avea un criteriu unitar de comparație între finetea cenуșii și a cimentului, se consideră rațională determinarea suprafeței specifice a cenуșilor, după metoda Blaine, avind valori cuprinse între 1 500 și $5\ 000 \text{ cm}^2/\text{g}$.

În cazul de față, suprafața specifică a fost determinată prin metoda Blaine, în laboratorul Catedrei de tehnologie a silicaciilor din cadrul Facultății de Chimie din Timișoara, valoarea obținută fiind de $1\ 050\text{ cm}^2/\text{g}$, valoare relativ mică în raport cu valorile obținute pentru alte tipuri de cenuși din țară.

Există mai multe metode pentru determinarea suprafeței specifice la cenuși, dar rezultatele obținute au un grad mare de împrăștiere.

Watt și Thorne /139/ pentru explicarea neconcordanțelor dintre rezultatele diferitelor metode de determinare a suprafeței specifice a cenușilor au propus diferite modele (fig.2.16) pentru structura granulelor de cenușă, din care unele sînt compatibile cu rezultatele obținute.

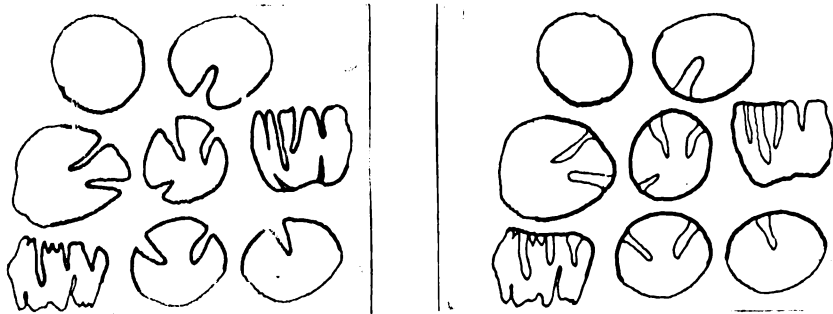


Fig.2.16. Modele de structură a granulelor de cenușă /139/.

Metoda adsorbției cu azot, care furnizează valori mult mai ridicate ale suprafețelor specifice ale particulelor de cenușă, datorită posibilităților azotului de a pătrunde mai ușor în cavernele și porii cenușii decât aerul, nu s-a putut aplica neavînd condiții în cadrul laboratorului. Dar, urmare determinării umidității optime de compactare, prin calculul volumului de pori închizi în granule, în ipoteza unei forme sferice a acestora, suprafața specifică a cenușei de gîst bituminos este de minim $1\ 500\text{ cm}^2/\text{g}$, deoarece la presiunea aferentă determinării umidității optime de compactare, realizabilă în cilindrul Proctor, microporii cenușii nu se umezesc (fig.2.16.b).

Deși în standardele existente în țara noastră suprafața specifică nu reprezintă un factor limitativ în aprecierea calității cenușii pentru diferite utilizări, se consideră necesar, de pentru fiecare tip de cenușă să se facă încercări preliminare asupra finetii, determinată ca reziduu la cernere pe

ta de 45 μ m.

În țări ca S.U.A., Japonia, U.R.S.S., se impun valori limită pentru suprafața specifică a cenușilor, în special celor care se folosesc la prepararea betoanelor (2 500...6 500 cm^2/g) /90/, /91/.

S-a determinat coeficientul de uniformitate $U=60/d_{10}$ și s-a obținut valoarea 4, deci cenușa studiată are o granulozitate uniformă.

Capacitatea de compactare determinată cu metoda Proctor este reprezentată în fig. 2.17, alături de curbele de compactare pentru alte cenuși din țară /129/.

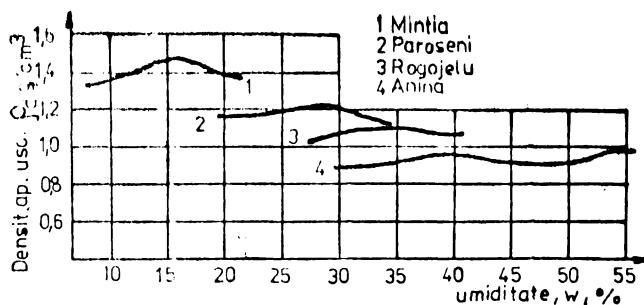


Fig. 2.17. Curbe de compactare Proctor.

Din fig. 2.17. se desprind următoarele concluzii:

- cenușa de la C.T.F. Anina avînd un caracter hidrofil reține ușor apa și are un grad de compactare cu o energie minimă mai ridicată;

- compactitatea maximă se atinge la umiditatea optimă:
 $W_{opt} = 40\%$; $\rho = 1,08 \text{ g/cm}^3$;

- se observă că alura curbelor de compactare este atenuată, ceea ce reflectă pentru cenuși o interdependență redusă între umiditatea și densitatea maximă, deci o înfoiere minimă.

Permeabilitatea la apă și lichide nu a fost studiată special pentru cenușa de la C.T.F. Anina, dar pornind de la faptul că există o dependență între permeabilitate, suprafața specifică și mărimea particulelor (vezi fig. 2.15), cenușile groiere prezintă un coeficient de permeabilitate ridicat (3 ...7.10 cm/s) în timp ce particulele fine, de mărimea prafului sau a nisipurilor profunde prezintă o permeabilitate scăzută, caracterizată printr-un coeficient cuprins între 0,04...1.10 cm/s .

Această caracteristică este importantă în cazul folosirii cenușilor fine ca adaosuri în betoane, avînd dublu efect:

hidraulic și ca microagregat.

P.6.1.1. Compoziția chimică

Prin arderea cărbunilor și a combustibililor în general, în cenușă se concentrează o serie de elemente chimice care intră în diverse combinații complexe sau în amestecuri de oxizi.

Analizele în vederea determinării compoziției oxidice a cenușii de la C.T.F. Anina, au fost efectuate în laboratorul de analize mineralogice al Catedrei de drumuri, fundații și instalații a Facultății de Construcții din Timișoara, utilizându-se o metodă fizico-chimică bazată pe transformarea pe cale chimică a cenușii în săruri simple, analizabile calitativ și cantitativ prin metode fizice ca difracția de raze X și analiza termică diferențială (D T A).

Cenușa a fost tratată prin fierbere succesivă în acid sulfuric, urmărindu-se creșterea progresivă a concentrației sulfatului de aluminiu din produsul rezultat precum și a altor sulfati.

Din analiza prin difracție R X (fig.2.18) a rezultat prezența în cantități foarte mici a sărurilor de Mg, Na, K, C, suma

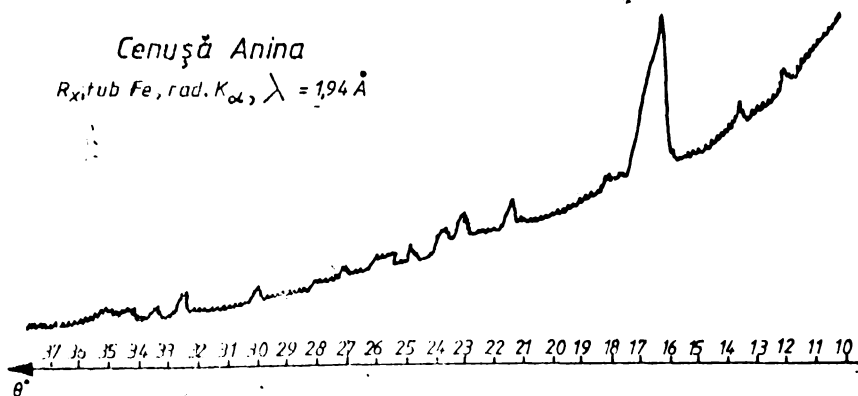


Fig. 2.18. Diagrama de Difracție pentru cenușa de la C.T.F. Anina.

lor fiind sub 2 %, așa cum rezultă și din tabelul 2.24, unde se prezintă rezultatele analizei chimice a cenușei în comparație cu rezultatele altor cenuși din țară.

Pentru cenușa de la C.T.F. Anina, ca de altfel toate cenușile din țară, componenții preponderenți sînt: SiO₂, Al₂O₃ și Fe₂O₃, numai lor depășind 70 %, fapt ce atestă posibilitatea de

formare a fazelor vitroase, precum și a silicaților, aluminaților de Ca etc., cu implicații favorabile asupra capacității hidraulice

Tabelul 2.24. Compoziția chimică

Proveniența cenușii C.T.F.	Compoziția chimică (valori medii) %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	PC
Anina (sist bit.)	57,80	27,60	10,80	1,30	0,10	0,23	0,44	0,9	12
Mintia (haidă)	50,90	34,50	10,70	5,90	0,91	0,90	1,95	2,9	-
Roșjelu (hănit)	41,60	23,26	8,83	8,06	5,03	-	-	2,1	25
Oradea (hănit)	47,21	19,51	13,18	6,70	7,15	0,45	2,05	2,1	-

Deși conținutul de părți neare prezintă limite mari de variabilitate, analizele chimice indică compoziții apropiate pentru cenușile din România, compoziții care satisfac normele stipulate în Instrucțiunile din Anglia și S.U.A. (tab.2.25), instrucțiuni care au stat la baza elaborării STAS 8819-80.

Tabelul 2.25. Condiții impuse prin Academic Press, S.U.A.

Component %	ASTM C 350-54 T	Birou de reclamații	U.S. Corpul inginerilor	C.F.G.B.
SiO ₂	min.40,0	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	min.40,0	min.35,0
Al ₂ O ₃	-	min 75 %	min.15,0	-
MgO	max. 3,0	max. 3,0	max. 3,0	max. 4,0
SO ₃	max. 3,0	max. 4,0	max. 3,0	max. 4,0

Conform acestor condiții, cenușile se clasifică în patru clase:

- cenuși alumino-silicoase caracterizate prin: % SiO₂/ % Al₂O₃ < 2 și % CaO < 15;
- cenuși silico-aluminoase, la care raportul % SiO₂/ % Al₂O₃ > 2 și CaO < 15;
- cenuși sulfocalcice, pentru care % CaO > 15 și % SO₃ > 3.
- cenuși calcice, la care % CaO > 15 și % SO₃ < 3.

Cenușa de la C.T.F. Anina, se încadrează în tipul sili-

co-aluminos avînd raportul $\% \text{SiO}_2 / \% \text{Al}_2\text{O}_3 > 2$ iar $\% \text{CaO} < 15$.

La această cenușă, conținutul de CaO este redus, dar este bogată în silice și alumină, datorită cărui fapt prezintă proprietăți puzzolanice, fixînd varul cu formarea de silicați și aluminați de calciu hidratați.

2.6.1.2. Compoziția mineralogică.

Prin conținutul lor în diverse substanțe, în condițiile termodinamice de ardere și răcire, cenușile se prezintă structural ca fiind constituite din faze cristaline (12...24%) și faza vitroasă (66...88 %) /130/, raportul dintre cele două faze definind cristalinitatea unei structuri.

Determinarea compoziției mineralogice s-a efectuat concomitent cu celelalte analize, utilizînd în principal datele obținute prin analiza de difracție cu raze X, rezultatele fiind prezentate în tabelul 2.26.

Tabelul 2.26. Compoziția mineralogică a cenușilor.

C.T.F.	Componenta mineralogică %				Faza amorfă %
	cuartț	mulit	hemait	magnetit	
Anina	18...22	2...3	5... 8	10...12	60...63
Lucișnița	10...16	2...4	2...12	2...13	50...70
Rovinari	12...18	1...3	3...10	3...12	48...67
Mintia	14...18	2...5	2...10	3...14	45...62

Cercetările din Anglia /147/ și din țara noastră /148/ au scos în evidență dependența dintre activitatea hidraulică a cenușilor și preponderența fazei vitroase, evidențiindu-se caracterul bazic mult mai redus al cenușilor, de unde și aptitudinea hidraulică mai scăzută.

2.6.2. Activarea cenușilor de la C.T.F.

Clasificarea tuturor proceselor fizico-chimice complexe care determină capacitatea hidraulică de întărire a cenușilor de la C.T.F. în funcție de multitudinea factorilor de care depind, constituie problema fundamentală pentru stabilirea metodelor optime de activare și utilizare eficientă a lor.

Potențialul de întărire a cenușilor, ca de altfel a tuturor adaosurilor hidraulice (zguri, tufuri vulcanice, etc),

a fost exprimat prin încadrarea acestora în categoria de lianți cu întărire de tipul acid - apă - bază /123/. În concordanță cu acest mod de întărire, proprietățile hidraulice ale cenușilor sînt rezultatul reacțiilor care au loc între oxizii cu caracter acid prezenți în compoziția cenoșilor, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 și oxizii bazici CaO , BaO , respectiv Na_2CO_3 , Na_2SiO_3 etc. Prezența acestor săruri generează reacții cu formare de compuși mineralogici hidratați similari cu a neoformațiunilor rezultate la hidratarea lianților hidraulici. Acești compuși hidratați asigură apariția și dezvoltarea structurii de rezistență și durabilitate similară cu a pietrei de ciment sau a betoanelor /123/, /129/.

Majoritatea cercetărilor tratează și explică proprietățile de întărire hidraulică a cenușilor făcînd uz de anumiți indici generali ai activității hidraulice, determinați prin diferite metode (mecanice, fizice sau combinate).

Ipotezele principale se referă la evaluarea activității hidraulice a cenușilor în dependență de compoziția chimică, structura cristalină și structura fazei vitroase /129/.

Conform cu ipoteza corelației dintre compoziția oxidică și activitatea hidraulică, se acceptă o interdependență între compoziția oxidică și activitatea hidraulică a cenușilor, propunîndu-se următorii indici:

Indicele de calitate I_c , definit prin raportul dintre oxizii activi din punct de vedere hidraulic și oxizii inerti:

$$I_c = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{CaS} + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{MgO}}{\% \text{SiO}_2 + \% \text{MgO}} < 1 \quad (2.5)$$

Indicele de bazicitate I_b , exprimat prin raportul dintre oxizii bazici și cei acizi conform relației:

$$I_b = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{MgO} + \% \text{K}_2\text{O} + \% \text{Na}_2\text{O}}{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3} < 1 \quad (2.6)$$

Cenușa de la C.T.F. Anina avînd un indice de bazicitate $I_b < 1$, rezultă că are un caracter acid.

Tinînd seama de compușii activi și inactivi din cenușă, Voinea /129/ a propus o nouă relație pentru definirea indicelui de activitate I_a sub forma:

$$I_a = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{MgO} + \% \text{SiO}_2 \text{ sol} + \% \text{R}_2\text{O}_3 \text{ sol}}{(\% \text{SiO}_2 \text{ t} - \% \text{SiO}_2 \text{ sol}) + (\text{R}_2\text{O}_3 \text{ t} - \text{R}_2\text{O}_3 \text{ sol})} \quad (2.7)$$

unde: $\text{SiO}_2 \text{ t}$, $\text{SiO}_2 \text{ sol}$, reprezintă silicea totală și silicea

solubilă din cenușă într-o soluție saturată de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ și K_2O , Li , R_2O_3 noi - numai Al_2O_3 + Fe_2O_3 totali, respectiv solubilități din cenușă.

Tabel 2.27.

Tip cenușă	I_a
Aulina	0,128
Ișalnița	0,195
Mintia	1,150

În tabelul 2.27 se prezintă indicele de activitate I_a , calculat cu formula 2.7, comparativ cu indicele aferent altor tipuri de cenuși din țară.

Valorificând formula 2.7 pentru mai multe tipuri de cenușă din țară,

Voinea ajunge la concluzia că este greșit să se pornească de la principiul că un conținut ridicat de CaO în cenușă determină implicit o creștere corespunzătoare a activității hidraulice, datorită faptului că în condițiile termice de la C.T.F., o parte din oxidul de calciu devine inactiv, ca urmare a supraarderii sau a unei arderi ineficiente în focarele termocentralelor.

În cazul cenușei de la Aulina, cu un conținut mic de CaO , lipsa unor substanțe dăunătoare ca MgO , Na_2O , K_2O și radicali acizi, constituie argumente mai puternice decât lipsa oxidului de calciu, dacă există tendința de legare a ionilor de calciu.

În această situație, deficitul de ioni de Ca^{2+} este de natură diagenetică, caracteristică a șistului bituminos /150/.

În abordarea activității hidraulice a cenușilor, trebuie să se țină cont și de faptul că cenușile de la C.T.F. au fost mult mai puțin studiate decât zgurile de furnal, rezultatele obținute pînă în prezent cu privire la factorii care o generează sînt susceptibile de îmbunătățiri.

Prin procesele de activare, se urmărește declanșarea unor reacții chimice și procese fizice care să determine în final obținerea unor structuri de rezistență și durabilitate similare cu a lianților hidraulici, deoarece numai sistemul cenușă-apă nu are proprietăți liante susceptibile de a fi luate în considerare atît sub raportul rezistențelor mecanice, cît și al vitezei de întărire. Pentru a imprima cenușilor o ză de întărire acceptabilă cu atingerea unor performanțe tehnice prescrise pentru diferite domenii, ca betoanele de ciment obișnuite, hidrotehnice sau rutiere, se recurge la introducerea în amestecul de cenușă-apă a unor substanțe denumite activatori.

Dintre substanțele utilizate pentru activarea cenușii,

cel mai eficient s-a dovedit adaosul de CaO /129/, fiind superior atât ca efect cât și sub aspect economic, în raport cu adaosul de ciment, întrucât crează un mediu bazic în sistemul cenușă-apă-activator, mediu capabil să declanșeze reacțiile chimice ce stau la baza structurii de rezistență.

Activarea cenușilor ca de altfel și a altor adaosuri care se caracterizează prin proprietăți hidraulice acide, se efectuează plecând de la premiza aducerii sistemului adaos-apă în contact cu o substanță bazică, cum ar fi CaO, Ca(OH)₂ sau cu o hidroliză bazică, cum este cimentul.

Procesul de activare cu CaO depinde atât de tipul cenușii, cât și de calitatea și cantitatea de Ca(OH)₂ utilizată, cenușa de la C.T.E. Anina avînd % SiO₂ + % Al₂O₃ + % Fe₂O₃ > 70% oferă posibilitatea unei activări eficiente.

Cercetările din Anglia /147/ au stabilit influența negativă a conținutului de carbon asupra rezistențelor mecanice (fig. 2.19), ajungînd la concluzia că la un procent de carbon de 1,5 % rezistențele ating 50 daN/cm² la 90 zile iar la un conținut de 4 %, scad la 17 daN/cm².

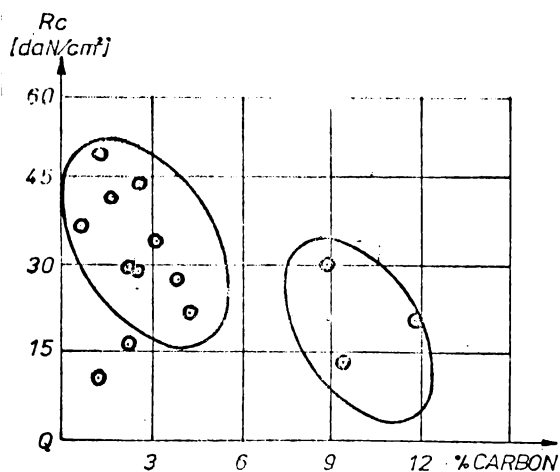


FIG.2.19. Influența % C asupra rezistențelor mecanice ale cenușilor.

Cenușa de la C.T.E. Anina, avînd un conținut de carbon < 1 % se încadrează în prevederile normativelor în vigoare din țara noastră care limitează conținutul în cărbune sau în substanțe nearse la minimum 3 %.

2.6.3. Determinarea activității hidraulice

Cunoașterea capacității hidraulice respectiv puzzolanice a cenușilor, prezintă un interes deosebit pentru stabilirea proceselor optime de activare, procese care să conducă la formarea unei structurii de rezistență și durabilitate a betoanelor, structuri compatibile cu domeniile de utilizare și cu ex-

uzențele generate de solicitările complexe pe toată durata exploatării.

În funcție de principiul care stă la baza determinării activității hidraulice, metodele se clasifică în unitare și combinate /136/.

Prin metodele unitare se exprimă activitatea hidraulică luând drept criteriu un singur test care poate fi mecanic, fizic sau chimic, dar se consideră că pentru a obține o evaluare justă și reală activității hidraulice /129/, trebuie aplicate și alte metode care să confirme rezultatele obținute.

Metodele mecanice se bazează în principiu pe testarea rezistenței la compresiune a unor mortare preparate din lianți cu cenușă, prezentând avantajul că scot în relief o caracteristică de bază a materialelor de construcții, respectiv a betoanelor de ciment utilizate la ranforsarea structurilor rutiere existente.

Dintre metodele mecanice s-a aplicat metoda ASTM, care constă în determinarea rezistențelor la compresiune pe mortare confecționate dintr-un amestec compus din 1 parte Ca(OH)_2 , 2 părți cenușă și 3 părți nisip monogranular.

Mortarul s-a compactat în cilindrii cu $\phi = 5 \text{ cm}$ și $h = 10 \text{ cm}$ după care s-au păstrat 24 ore la temperatura normală a camerei și 6 zile la o temperatură de 55°C .

După această metodă, pentru ca cenușa să fie considerată activă, trebuie ca rezistența la compresiune la 7 zile să fie mai mare de 55 daN/cm^2 .

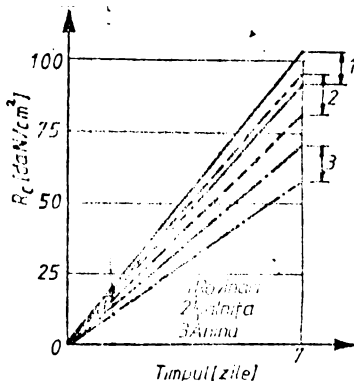


Fig. 2.20. Rezistența la compresiune la 7 zile.

După 7 zile rezistența la compresiune a mortarului a fost de 44 daN/cm^2 , în tabelul 2.20 fiind reprezentată diagrama alături de rezistențele altor cenuși din țară cu un conținut de CaO mai ridicat.

Așa cum se preciza anterior, nu este suficient un singur test pentru stabilirea gradului de activitate hidraulică a unei cenuși, ca atare

s-a apelat și la metode fizice, dintre acestea folosindu-se metoda analizei termice diferențiale utilizându-se un derivator graf cu ajutorul căruia s-au trasat simultan 3 curbe în

funcție de temperatură:

- curba analizei termice diferențiale (ADT) din care rezultă diferența de temperatură dintre probă și o substanță inertă,

$$[\Delta T = f(t)] \quad (2.8)$$

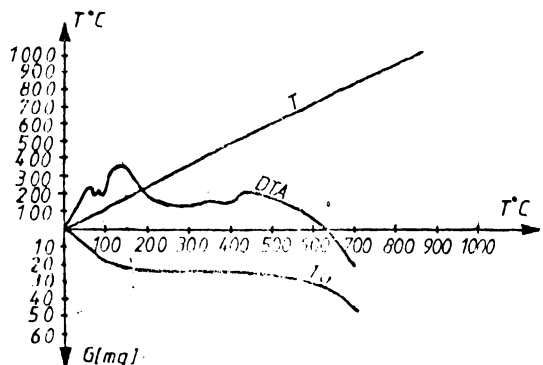
- curba gravimetriei termice (TG) care măsoară variațiile de masă în timpul încălzirii,

$$[m = f(t)] \quad (2.9)$$

- curba gravimetriei termice derivate (TGD) care exprimă derivata variațiilor de masă, respectiv viteza modificărilor de masă,

$$\left[\frac{dm}{dt} = f(t)\right] \quad (2.10)$$

Analiza a fost efectuată pe cuburi cu latura de 2 cm, confecționate din 40 g cenușă de șist de la C.T.F. Anina, 6 g Ca(OH)_2 și apă pentru pasta de consistență normală, după o păstrare la temperatura camerei timp de o săptămână, rezultatele fiind prezentate în fig. 2.21.



Rezultatul analizei atestă fixarea a 90 % din cantitatea inițială de var, prin formarea unor săruri de calciu hidratate, confirmându-se astfel o activitate hidraulică ridicată.

Pentru confirmarea activității hidraulice a cenușei de

Fig. 2.21. Analiza termică-diferențială

șist de la C.T.F. Anina s-a procedat la verificarea ei și prin metoda indicelui de activitate puzzolanică (I.A.P.), conform căreia $I.A.P. = (A-B)/B$, unde A este rezistența la compresiune la 14 zile determinată pe o epruvetă cubică cu latura de 7 cm, realizată dintr-un mortar constituit din 90 % cenușă și 10 % var, iar B este rezistența la compresiune determinată în aceleași condiții, dar epruvetele au fost realizate dintr-un mortar conținând 90 % nisip și 10 % var. A rezultat un $I.A.P. = 3,1$ fapt ce confirmă o activitate puzzolanică ridicată și rezultat și prin metoda analizei termodife-

rențiale.

Faptul se poate explica prin prezenta în stare amorfă a silicaților de aluminiu și prin suprafața specifică reală mai mare decât cea rezultată prin metoda Blaine, confirmându-se faptul că lipsa oxidului de calciu nu constituie un indiciu al inactivității cenușei de șist bituminos.

2.6.4. Betoane de ciment cu adaos de cenușă de la C.T.F. Anina. Sectoare experimentale.

Ca și betoanele clasice, betoanele de ciment cu adaos de cenușă de la C.T.F., sînt concepute ca un conglomerat artificial obținut în urma proceselor fizico-chimice de întărire a unui amestec de ciment, cenușă, aditivi, agregate și apă, aditivii fiind introduși în scopul obținerii unor proprietăți speciale, în funcție de condițiile de exploatare.

În țara noastră, betoanele de ciment cu adaos de cenușă au fost studiate începînd cu anul 1954, cînd s-au făcut încercări de utilizare a cenușilor de la C.T.F. Doicești și Iașoveni /129/.

Avînd în vedere unele caracteristici superioare ale betoanelor de ciment cu adaos de cenușă, în raport cu betoanele obișnuite, în ultimul deceniu domeniile de folosire s-au extins considerabil existînd multiple preocupări în țară și în străinătate, atît în cercetare, cît mai ales în diversificarea domeniilor de utilizare /146/, /147/, /148/, /149/, /150/.

Efectele multiple ale adaosului de cenușă se reflectă prin modificările proprietăților fizico-mecanice ale betoanelor în diferite sensuri ca /129/:

- micșorarea căldurii de hidratare;
- diminuarea contracției și deformațiile, sub sarcină de durată scurtă și medie;
- ameliorarea impermeabilității și lucrabilității;
- preț de cost mai redus prin substituirea parțială a cimentului și a agregatelor fine cu cenușă.

Toate aceste avantaje, impun extinderea studiilor pentru utilizarea cenușii de la C.T.F. Anina la prepararea betoanelor de ciment rutiere.

Au fost efectuate atît studii în laborator cît și pe sectoare experimentale, cenușa fiind utilizată ca înlocuitor al cimentului, dar ca aditiv s-a utilizat produsul ADEX, rea-

lizat de ICECHIM București în anul 1985 și experimentat pentru prima dată în cadrul Direcției de Drumuri și Poduri Timișoara la prepararea betoanelor de ciment rutiere (vezi paragraful 3.3.1), în tabelul 2.28 fiind prezentate dozajele de lucru pentru B 400 cu diferite procente de cenușă și aditiv, iar ca agregate s-au utilizat cele studiate și prezentate anterior, respectiv nisip de râu, sort 0-7 și pietriș sort 7-16 și 16-40 precum și agregate de natură calcaroasă, respectiv criblu sort 7-15 și 15-30.

Tabelul 2.28. Dozajele betoanelor cu adaos de cenușă.

Specificație	M.M.	B.M.	% Cenușă C.T.F. Anina			
			10(E1)	20(E2)	30(E3)	40(E4)
Ciment P 45	kg	360	324	288	252	216
Cenușă	kg	-	36	72	108	144
Apă	L	162	162	168	172	176
Nisip, sort 0-7	kg	563	563	563	563	563
Pietriș, sort 7-16	kg	470	470	470	470	470
Pietriș, sort 16-40	kg	845	845	845	845	845
ADEX (% masă C+CT)	%	-	1,2	1,3	1,4	1,5
Cu agregate calcaroase (C. Daicovițiu)						
Ciment P 45	kg	340	306	272	238	204
Cenușă	kg	-	34	68	102	136
Nisip, sort 0-7	kg	667	667	667	667	667
Criblură, sort 7-15	kg	477	477	477	477	477
Criblură, sort 15-30	kg	763	763	763	763	763
ADEX (% masă C+CT)	%	-	1,2	1,3	1,4	1,5
Apă	L	153	153	153	161	167

Sectoarele experimentale au fost executate pe DN 6 în zona localității Buchin, județul Caraș-Severin, la următoarele poziții kilometrice:

- (E₁): km 446 + 985 - 447 + 000 dr;
- (E₂): km 446 + 890 - 446 + 920 dr., aferente betoanelor preparate cu agregate de balastieră și:

- (E₁): km 446 + 675 - 446 + 690 dr;

- (E₂): km 446 + 500 - 446 + 515 dr, aferente betoanelor preparate cu agregate calcaroase.

Prepararea, transportul, așternerea și tratarea betoa-

nelor s-au făcut în condiții similare celor prezentate în para-
grafurile 2.3.3...2.3.5.

2.6.5. Controlul privind calitatea lucrărilor experimentale.

Pe tot parcursul experimentărilor, atât în laborator
cât și pe sectoare experimentale, acțiunea privind calitatea
betoanelor și a îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment
executate, s-a desfășurat în trei direcții:

- încercări asupra betonului proaspăt;
- încercări pe betonul întărit;
- verificarea calității îmbrăcăminților executate.

Asupra betonului proaspăt s-au făcut determinări pri-
vind: densitatea aparentă, lucrabilitatea, gradul de compac-
tare și volumul de aer oclus, rezultatele fiind prezentate în
tabelul 2.29, pentru toate tipurile de betoane.

Tabelul 2.29. Caracteristicile betoanelor în stare proaspătă.

Caracteristicile betonului proaspăt	U.M.	B.M.	E 4	E 2	E 3	E 4
Densitatea aparentă	kg/m ³	2442	2440	2430	2420	2405
Tasarea	cm	0,5	0,7	1,0	1,5	2,5
Grad de compactare	-	1,33	1,37	1,39	1,39	1,38
Volum de aer oclus	%	3,3	3,8	3,5	3,7	3,2

Pentru betoane cu agregate calcaroase

Densitatea aparentă	kg/m ³	2486	2480	2471	2460	2449
Tasarea	cm	0,7	1,0	1,2	2,8	2,5
Grad de compactare	-	1,39	1,39	1,37	1,30	1,20
Volum de aer oclus	%	3,9	3,8	3,6	3,6	3,4

* B.M - beton maritor; E1... E4 - betoane experimentale.

Privind densitatea aparentă, la un grad de umiditate
echivalent, se constată că variază în funcție de cantitatea
de cenuși introdusă la prepararea betonului, conform diagra-
mei din fig. 2.28, rezultând următoarele concluzii:

- densitatea aparentă este mai redusă la betoanele de
ciment cu adăos de cenuși în raport cu betonul obișnuit:

- densitatea scade pe măsura creșterii adaosului de cenușă în beton.

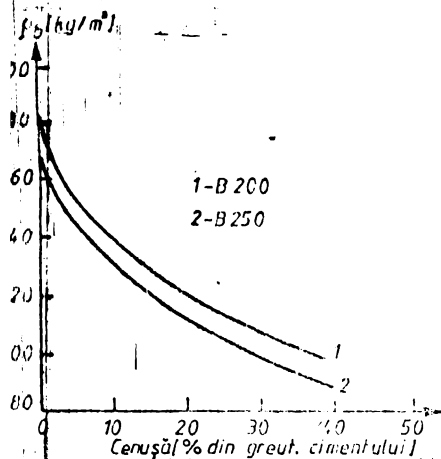


Fig. 2.22. Variația densității aparente.

Aceste rezultate sînt în concordanță cu diferențele dintre densitatea cimentului și densitatea cenușii.

În cazul betoanelor preparate cu agregate calcaroase, densitatea aparentă este mult mai mare în raport cu betoanele clasice, dar și în acest caz scade pe măsură ce cantitatea de cenușă adăugată în beton crește.

Betoanele de ciment cu cenușă introdusă ca adaos la preparare, la raporturi A/C constante,

au un efect favorabil asupra frecărilor interioare, deci implicit asupra micșorării vîscozității, cenușa prezentînd prin „efectul de rulment”, o reducere a frecărilor interioare, ameliorînd implicit lucrabilitatea.

Un aspect deosebit de important în cazul betoanelor de ciment rutiere, este segregarea sistemului ciment-cenușă-apă-agregat, atât în repaus, cât și sub influența vibrației pe durata compactării, ca urmare a faptului că în sistemul pastă de ciment-cenușă, aderența este diminuată datorită suprafețelor sticloase ale particulelor de cenușă [129]. Utilizarea aditivului ADEX în proporție de 1,2 ... 1,5 % din masa totală a liantului (ciment + cenușă) elimină fenomenul de segregare, datorită faptului că prin însăși caracteristicile sale, îmbunătățește aderența la suprafața de contact liant-rocă (vezi paragraful 3.3.3.1).

- volumul de aer oclus, pentru toate tipurile de betoane, variază în limitele admisibile ($3 \pm 0,5$ %) prevăzute de normativele în vigoare privind betoanele de ciment rutiere.

Pentru efectuarea încercărilor pe betonul întărit, s-au prelevat cîte trei cuburi și trei prisme pentru fiecare tip de dozaj. Epruvetele au fost păstrate în regim de umiditate ridicată pînă la vîrsta de 7 zile și apoi în regim de umiditate normală pînă la 90 zile, în cadrul stației de betoane.

Încercările au fost efectuate în cadrul laboratorului

rare neesențială a mărcii (în medie cu 7 %), atât la 28 zile cât și la 90 și 180 zile.

Substituirea a 30 ... 40 % din ciment, determină scăderi proporționale ale rezistențelor la compresiune, aspect ce nu mai prezintă interes în cazul de față.

Pentru betoanele preparate cu agregate calcaroase, la care din start se pornește cu o economie de ciment de 20 kg/m^3 (vezi paragraful 2.3.2), înlocuirea cimentului cu 10...20 % permite obținerea unei evoluții corespunzătoare a mărcii betoanelor.

Creșterea procentului de cenușă (cu 30...40 %) conduce și în acest caz la o scădere corespunzătoare a rezistențelor la compresiune (fig. 2.23).

O importanță deosebită în evoluția corespunzătoare a rezistenței betoanelor de ciment cu adaos de cenușă o are prezența aditivului ADEX, care îmbunătățește aderența la suprafața de contact liant-rocă și asigură o lucrabilitate corespunzătoare în condițiile diminuării cu 10 % a cantității de apă în raport cu cea necesară în varianta fără adaos de cenușă.

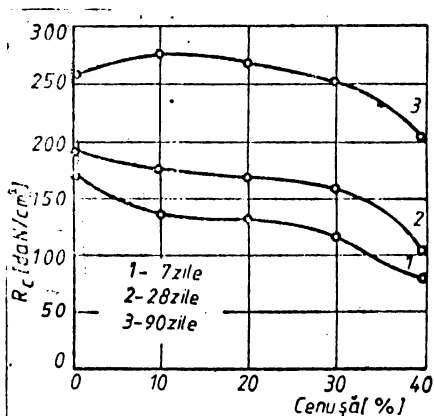


Fig. 2.23. Evoluția rezistenței la compresiune

În tabelul 2.31. sînt prezentate rezultatele privind rezistența la întindere prin încovoiere la vîrsta de 28 și 90 zile.

Fină la 20 % adaos de cenușă s-au obținut valori aferente rezistențelor la întindere prin încovoiere, echivalente cu ale betoanelor martor, iar în cazul betoanelor preparate cu agregate calcaroase valorile cresc cu 5...10 %.

Tabelul 2.31. Rezistențele la întindere.

Nr. crt.	Cod beton	Ciment kg/m ³	Cenușă kg/m ³	Rezistența la întindere prin încovoiere, daN/cm ²	
				28 zile	90 zile
1.	B.M.	360	-	54	58
2.	E ₁ (10 %)	324	36	55	64
3.	E ₂ (20 %)	288	72	54	67
4.	E ₃ (30 %)	252	108	49	54
5.	E ₄ (40 %)	216	144	38	46
Pentru betoanele cu agregate calcaroase					
6.	B.M.	340	-	64	71
7.	E ₁ (10 %)	306	34	67	76
8.	E ₂ (20 %)	272	68	59	73
9.	E ₃ (30 %)	238	102	48	53
10.	E ₄ (40 %)	204	136	41	52

Cercetările făcute în S.U.A. /79/ asupra betoanelor preparate cu cenuși de la C.T.E., avînd compoziții chimice diferite, au permis să se tragă concluzia că rezistențele la întindere prin încovoiere la 28 zile cresc atît cu procentul de cenușă cît și cu $\sum SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$.

Cantitatea optimă de cenușă care asigură rezistențe mai mari decît ale probelor martor este de 20 %.

2.6.5.2. Gradul de impermeabilitate.

Studiile efectuate în URSS, SUA, Anglia ș.a., precizează faptul că evaluarea permeabilității betonului cu adaos de cenușă pe baza coeficientului lui Darcy, k , este relativă, deoarece structura betonului pînă la 1...2 ani este în continuă evoluție, astfel că se diminuează raportul între porii capilari și porii gel, interconexiunea dintre pori etc. /90/, /91/, /98/, /83/.

Această interconexiune este funcție de tipul cimentului utilizat, raportul A/C, vîrsta betonului, caracteristicile cenușei ș.a.

Din fig. 2.24, se deduce că pentru betoanele cu adaos de cenușă, la raporturi A/C diminuate față de cele cu 40 % adaos, capilarele își conservă continuitatea și la rapor-

turi $A/C < 0,6$, pe cînd la betoanele fără adaos de cenușă, acest

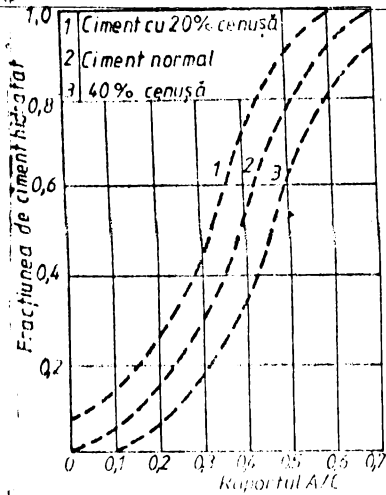


Fig. 2.24. Evoluția gradului de impermeabilitate /129/.

fenomen este sesizabil începînd de la raporturi $A/C > 0,7$ /129/, /98/.

Aceste constatări reflectă atât avantajul utilizării betoanelor cu adaosuri de cenușă, cît și stabilirea cantităților optime de cenușă, pentru realizarea unor betoane cu impermeabilitate mărită prin dirijarea porozității /83/.

S-a demonstrat /129/ că adaosurile mari de cenușă înrăutățesc impermeabilitatea betonului, datorită faptului că o parte

din cenușă, neputînd fi legată cu Ca(OH)_2 sub formă de compoziți gelici, rămîne ca agregat fin cu porozități capilare ridicate, interpusă între pasta de ciment și agregatele mari, ca atare pentru realizarea unor betoane cu un grad înalt de impermeabilitate, trebuie ținut cont de tipul de agregate, precum și de vîrsta betonului, care influențează coeficientul k (vezi tabelele 2.33, 2.34).

Tabelul 2.33.

Țimp, zile	Proaspăt	5	6	8	13	24	Final
k , cm/s	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$6 \cdot 10^{-11}$

Tabelul 2.34.

Tipul agregatului	Marmură	Calcar	Granit	Gresie
Coef. perm. k cm/s	$8,0 \cdot 10^{-11}$	$2,2 \cdot 10^{-9}$	$7,5 \cdot 10^{-10}$	$1,7 \cdot 10^{-9}$

Rezultatele obținute în urma determinărilor efectuate pentru stabilirea gradului de impermeabilitate al betoanelor de ciment rutiere preparate cu adaos de cenușă, sînt prezentate în tabelul 2.35, comparativ cu rezultatele obținute pentru betoanele martor și care au fost expuse în paragraful 2.3.6.2.

Se observă că un grad ridicat de impermeabilitate se obține pentru betoanele cu agregate calcaroase și cu adaos de cenușă de la C.T.E. Anina, datorită faptului că agregatele calcaroase îmbunătățesc adeziunea liant-rocă, avînd un coeficient

de permeabilitate, k , redus.

Tabelul 2.35. Gradul de impermeabilitate

Nr. crt.	Cod beton	Cenușă %	Dozajul de liant			A/C	Gradul de impermeabilitate (k)
			Ciment kg/m^3	Cenușă kg/m^3	Total kg/m^3		
1.	B.M.	0	360	-	360	0,45	P 12
2.	E ₁	10	324	36	360	0,45	P 12
3.	E ₂	20	288	72	360	0,46	P 10
4.	E ₃	30	252	108	360	0,46	P 8
5.	E ₄	40	216	144	360	0,49	P 6
Pentru betoanele cu agregate calcaroase							
6.	E ₂	20	272	68	340	0,46	P 16
7.	E ₃	30	238	102	340	0,47	P 10
8.	B.M.	-	340	-	340	0,45	P 12

La substituirea cimentului cu cenușă, în procesul de preparare a betoanelor de ciment, permeabilitatea crește aproximativ liniar cu adaosul de cenușă reținându-se ca adaos optim, 20% din masa cimentului.

2.6.5.3. Gelivitatea betoanelor cu adaos de cenușă.

Din studiul documentar efectuat /129/, /113/, /90/, ș.a. privind comportarea la gelivitate a betoanelor, fie cu adaos la cimenturile mixte, fie ca adaos direct la preparare, rezultă că este un aspect deosebit de complex și încă neelucidat în totalitate, unele opinii fiind convergente, iar altele contradictorii. În fond, gelivitatea depinde de mai mulți parametri corelați cu tipul și dozajul de ciment, caracteristicile fizico-mecanice și chimice ale cenușii, natura agregatelor, raportul A/C, vârsta betonului și gradul de saturare cu apă în momentul înghețului, viteza de transformare lichid-solid-lichid a apei ș.a. și numai cunoscând toți factorii de care depinde gelivitatea betoanelor cu cenușă, se poate interveni încă din momentul preparării și al întăririi în direcția ameliorării ei, ajungând ca în anumite circumstanțe valorile să depășească chiar rezistențele la îngheț-dezgeț ale betonului cu ciment fără adaos /83/, /62/, /129/.

După Peters /97/, un efect important asupra comportării la gelivitate al betoanelor cu cenușă, îl au pierderile

cinare (P.C.) și granulozitatea cenușii, alături de cantitatea de cenușă introdusă în beton, combătând astfel teoria conform căreia betoanele cu adaos de cenușă pînă la 15 % devin sensibile la gelivitate.

Pierderile de calcinare, (~ 1 % la cenușa de la C.T.F. Anina) provenind din granule de cărbune insuficient arse, posedă o capacitate de absorbție mare de apă, cu un coeficient de înmuiere ridicat și o mărire de volum care converg spre diminuarea pregnantă a rezistenței la gelivitate.

Pentru a avea o imagine clară asupra comportării betoanelor de ciment rutiere cu adaos de cenușă, s-au făcut verificări pentru betoanele preparate cu agregate de rîu și cu agregate calcaroase, la care s-a adăugat cenușă în proporție de 10, 20 și 30 %.

Pentru betoanele cu 10 % cenușă, s-a obținut un grad de gelivitate G_{100} , la cele preparate cu agregate de rîu, G_{150} pentru betoanele preparate cu agregate calcaroase.

Pentru 20 % cenușă, gradul de gelivitate a scăzut la G_{50} respectiv G_{100} pentru betoanele cu agregate calcaroase.

La un adaos de 30 % cenușă, betoanele preparate cu agregate de rîu au prezentat o distrugere aproape totală la un număr de 50 cicluri îngheț-dezghet, iar cele preparate cu agregate calcaroase au prezentat pierderi de rezistență de 18...23 %, față de 25 % admis. Se poate deci concluziona că pînă la 20 % adaos de cenușă, rezistența la gelivitate nu este afectată, betoanele cu agregate calcaroase prezentînd o comportare mai bună, comportare imprimată de însăși caracteristicile calcarului utilizat și a aditivului ADEX, precum și a conținutului redus de P.C. în cenușă:

2.6.5.4. Contractia la uscare.

În beton contractia și umflarea se caracterizează prin modificări ale dimensiunilor probelor pe parcursul întăririi sub influența variațiilor hidrometrice.

Contractia betonului este determinată de contractia pietrei de ciment, contractie care se prezintă sub două aspecte: contractie plastică sau intrinsecă și contractie la uscare.

Interdependența între contractia betonului și a pietrei de ciment se exprimă prin relația /129/:

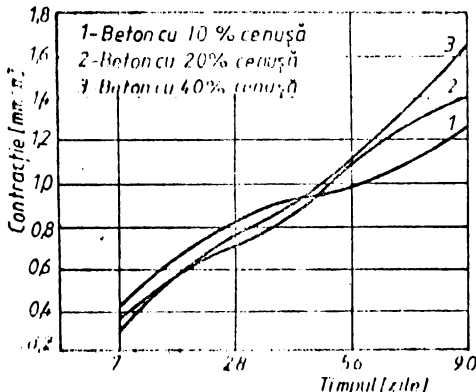
$$\varepsilon_b = \frac{\varepsilon_c}{1 + \alpha \frac{V_a}{V_c}} \quad (2.11)$$

în care: V_a și V_c reprezintă volumul agregatelor, respectiv volumul pietrei de ciment, iar α este un coeficient de proporționalitate ce depinde de tipul betonului.

Cum este normal, contracția poate fi diminuată prin acționarea asupra factorilor din relația 2.11.

În acest context, substituirea cimentului cu adaos de cenușă, determină o reducere a contracției pietrei de ciment, precum și volumul agregatelor, prin efectul fizic al cenușii /80/. /134/.

În fig. 2.25 se prezintă valorile contracției betoanelor de ciment cu dozașe diferite de cenușă.



Se observă o creștere mai accentuată a contracției la uscare pentru dozașe mai mari de 20% cenușă;

Fig. 2.25. Contraction la uscare

2.6.5.5. Verificarea calității suprafeței de rulare.

Observații vizuale.

Privind calitatea suprafeței de rulare a îmbrăcămintelor rutiere din beton de ciment executate experimental, s-au făcut măsurători de rugozitate și s-a verificat planitatea cu aparatul Viagraf. La rugozitate s-au obținut pentru înălțimea de nișip (NS) valori cuprinse între 0,6...0,8 mm, deci bune, permițând circulația în siguranță a autovehiculelor cu viteze mai mari de 30 km/h.

Indicele de planitate (IP) determinat cu ajutorul indicatorului hectometric Viagraf - I_{hv} , a prezentat valori cuprinse între 0,35...0,46, încadrând suprafețele de rulare la calificativul „Foarte bun”.

Pe tot parcursul execuției sectoarelor experimentale, betoanele în stare proaspătă au prezentat un aspect omogen, fără tendință de segregare și o lucrabilitate bună.

Din examinarea carotelor extrase s-a constatat o com-

pectare omogenă pe toată grosimea dalelor, imprimându-se suprafețele de rulare un aspect omogen și închis.

2.6.6. Concluzii și propuneri

Urmare cercetărilor efectuate în laborator și a verificărilor pe sectoare experimentale se conturează următoarele concluzii:

- cenușa rezultată din arderea gisurilor bituminoase la C.T.E. Anina și captată prin electrofiltre se încadrează în categoria cenușilor silico-aluminoase, cu un conținut de CaO redus ($< 5\%$), dar bogată în silice și alumina, prezentând proprietăți puzzolanice;

- din analiza granulozității, rezultă că fracțiunea mai mică de $60\ \mu\text{m}$ este în procent de 25...60 %, conferind cenușii un potențial hidraulic mediu, aspect confirmat și prin metoda analizei termice diferențiale;

- cenușa de la C.T.E. Anina se poate utiliza la prepararea betoanelor de ciment de marcă superioară, ca substituent al cimentului (P 40 sau P 45) în proporția de max 20 %, obținându-se astfel o economie de ciment de circa $60\ \text{kg}/\text{m}^3$;

- betoanele de ciment rutiere preparate cu agregate calcaroase provenite de la C. Daicoviciu și 20 % cenușă de la C.T.E. Anina, prezintă caracteristici fizico-mecanice superioare betoanelor clasice, paralel cu o reducere a consumului de ciment de circa $80\ \text{kg}/\text{m}^3$;

- timpul de priză al betoanelor de ciment cu adaos de cenușă crește proporțional cu raportul dintre cenușă (C) și ciment plus cenușă (C+CT);

- densitatea betoanelor de ciment cu cenușă este mai mică decât a betoanelor martor cu circa 2...3 %;

- utilizarea aditivului ADEX la prepararea betoanelor de ciment cu cenușă, permite menținerea constantă a raportului A/C în condițiile asigurării unei lucrabilități corespunzătoare;

- betoanele de ciment cu adaos de cenușă prezintă rezistențe bune la îngheț-dezghet dacă se folosesc aditivi eficienți. Utilizarea aditivului ADEX în proporție de 1,2...1,4 % din masa liantului (C+CT) imprimă betonului o comportare bună la gelivitate;

- rezistențele caracteristice ale betoanelor de ciment cu adaos de cenușă sînt cele determinate la 28 și 90 zile, da-

terită efectului de încetinire a procesului de întărire a betonului, efect imprimat de cenușă.

Pentru a se garanta calitatea betoanelor este necesar ca furnizorul (C.T.F.Anina) să respecte următoarele condiții:

- fiecare lot de cenușă livrată trebuie să fie însoțit de un certificat de calitate care să precizeze: finețea cenușii determinată ca reziduu la cernere pe sita de 45 μ m, analiza chimică, densitatea și suprafața specifică (1 500...2 000 cm²/g).

La stabilirea dozajului pentru betoane, este necesar a se determina constanța de volum a cenușii în prezența cimentului ce urmează a fi utilizat.

Metoda de utilizare a unor subproduse industriale din județul Caraș-Severin, la fabricarea befoanelor de ciment rutiere, a constituit subiectul unui dosar de inovație, aprobată cu ordinul M.E.I. nr. 1285 din 27 iulie 1989.

CAP. III. RANFORSAREA COMPLEXELOR RUTIERE EXISTENTE
POSIEDIND ÎMBRĂCĂMINȚI DIN BETON DE CIMENT

.. Ranforsarea structurilor rutiere existente presupune executarea tuturor lucrărilor necesare pentru ridicarea capacității portante a drumului la nivelul solicitărilor datorate creșterii traficului rutier.

Necesitatea ranforsării rezultă din considerațe tehnice și economice. Sub influența traficului și a condițiilor climatice, după o perioadă de timp care variază în funcție de un mare număr de factori ca: modul de alcătuire a sistemului rutier existent, îmbătrânirea liantului bituminos din mixtura asfaltică, creșterea traficului rutier greu, modul de întreținere, condiții climatice, evacuarea apelor, calitatea execuției, calitatea materialelor utilizate etc., structurile rutiere oboresc și cedează solicitărilor la care sînt supuse.

Fenomenele de oboseală și cedare sub solicitări a complexelor rutiere existente, se observă pe suprafața de rulare, în îmbrăcămintea rutieră, prin apariția defecțiunilor sub diverse forme, inevitabile chiar și în cazul unei execuții corespunzătoare a lucrărilor de întreținere și reparații curente, ca atare capacitatea portantă efectivă scade.

3.1. NECESITATEA ȘI POSIBILITĂȚILE DE EXECUȚIE
A LUCRĂRILOR DE RANFORSARE.

Pe baza studiilor efectuate asupra fiabilității drumurilor publice, în special asupra drumurilor naționale din județul Caraș-Severin și luînd seama de evoluția traficului (în mod deosebit a traficului greu care reprezintă 29,1 % din traficul total), de condițiile tehnice, economice și energetice existente în anul 1982 în România, am ajuns la concluzia că drumurile publice cu trafic internațional (D.N.6 Orșova-Caransebeș, D.N.68 Caransebeș-Hațeg ș.a) trebuie ranforsate, utilizîndu-se ca soluție îmbrăcămintea rutieră din beton de ciment.

Programul de ranformare l-am întocmit pe baza investițiilor care le-am realizat în cadrul Secției de Drumuri Naționale Caransebeș începând cu anul 1978, asupra rețelei de drumuri naționale din județul Carag-Severin și s-a definitivat ținându-se seama de resursele financiare și materiale existente.

În tabelul 3.1. se prezintă programul de ranforsare cu îmbrăcămintă din beton de ciment, pentru perioada 1984...1990, pentru fiecare drum în parte.

Tabelul 3.1. Programul de ranforsare 1984...1990.

Drumul Național (D.N.)	Lungimea (km) planificată pe ani:						
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
1. D.N. 6: C-sebeș-Domannea	5,0	5,0	5,0	5,5	5,0	3,0	3,0
2. D.N. 58: C-sebeș-Roșuța	5,0	5,0	3,0	-	-	-	-
3. D.N. 68: C-sebeș-O. Roșu	2,0	3,0	2,0	-	-	-	3,0
4. D.N. 57: Oravița-M. Nouă	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

De remarcat că ponderea în program o are ranforsarea D.N.6, care face parte din culoarul autostrăzii T.E.M. și secțiunile de drumuri cu trafic greu și foarte greu.

În toate cazurile de ranforsare, concomitent cu aplicarea unor noi straturi rutiere pentru ranforsare, s-au proiectat și executat și unele lucrări necesare sistematizării elementelor geometrice ale drumului, în funcție de cerințele ce au derivat din clasa tehnică a acestuia, ca de exemplu /85/:

- usănarea corpului drumului;
- colectarea și evacuarea apelor de suprafață;
- corectarea locală a unor elemente geometrice;
- amenajarea intersecțiilor de nivel, a locurilor de staționare și a altor lucrări anexe ale drumului.

O strategie rutieră justă, impune ranforsarea preventivă a structurilor rutiere existente, pe bază de studii sistematice ce se referă la măsurarea deflexiunilor, durata de exploatare a îmbrăcămintei, evoluția traficului rutier, starea generală a drumului etc., evitându-se prin aceasta deteriorarea gravă în special a îmbrăcămintei existente și în consecință cheltuieli mari pentru lucrările de întreținere și reparații curente.

Realizarea acestor studii sistematice este posibilă numai dacă fiecare administrație de drumuri își pune la punct

un sistem propriu de investigare a rețelei de drumuri, iar datele obținute sînt stocate într-o Bancă de Date Rutiere (B.D.R.) și prelucrate cu ajutorul calculatorului, realizînd în final un Sistem de Gestionare a Drumurilor (S.G.D.) propriu.

3.1.1. Metode moderne de investigații rutiere.

În scopul programării lucrărilor de întreținere, pentru prevenirea defecțiunilor și pentru luarea unor măsuri operative în vederea desfășurării circulației în deplină siguranță și confort, este necesar să se cunoască starea rețelei rutiere din toate punctele de vedere, în care scop investigarea drumurilor devine o necesitate obiectivă.

Investigarea oferă organului de administrare a drumurilor informații privind /SI/:

- desfășurarea traficului rutier;
- starea suprafeței de rulare;
- capacitatea portantă a complexului rutier.

Se prezintă în continuare cîteva dintre metodele moderne aplicate pe plan mondial în acțiunea de investigare a complexelor rutiere existente.

3.1.1.1. Investigarea traficului rutier.

Principala caracteristică a traficului rutier este intensitatea, care reprezintă numărul de participanți la circulație ce trec printr-o secțiune de drum în unitatea de timp (zi, zi, etc.) și se exprimă în vehicule fizice sau vehicule etalon în unitatea de timp.

Vehiculul etalon diferă în funcție de scopul în care urmează să se utilizeze valoarea intensității traficului rutier (dimensionarea complexelor rutiere sau stabilirea clasei tehnice a unui drum).

Astfel, pentru efectuarea calculului de dimensionare a structurilor rutiere sau de ranforsare a celor existente, se determină intensitatea traficului rutier de perspectivă exprimată în vehicule etalon de calcul A13, care reprezintă un vehicul cu greutatea totală de 130 kN, avînd încărcarea pe osia din spate de 91 kN.

Intensitatea traficului rutier, alături de celelalte caracteristici ale acestuia (componentă, viteză de circulație, greutatea vehiculelor, caracteristicile curenților de circula-

tid, accidente rutiere etc.) constituie obiectivele acțiunii de investigare a traficului rutier și se poate realiza prin:

- recensământul de circulație, care are drept scop determinarea cu mijloace manuale a intensității și componenței intensității traficului rutier;
- anchete de trafic rutier, care urmăresc determinarea caracteristicilor curenților de circulație;
- măsurători speciale pentru determinarea altor caracteristici ale traficului rutier (greutate, viteză de circulație etc.);
- înregistrări automate bazate pe utilizarea microcomputerului.

În țări dezvoltate ca Suedia, S.U.A., Japonia /18/, atunci când se urmărește o verificare suplimentară a traficului sau o verificare a aparatului cu funcționare permanentă, se utilizează un echipament dotat cu un microcomputer și o casetă de înregistrare (vezi fig. 3.1), denumit TA-84.

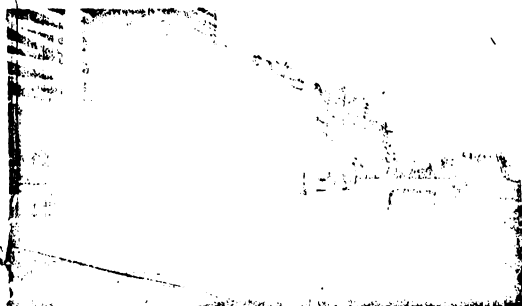


Fig.3:1. Echipamentul TA-84

Cu acest echipament, TA-84, se poate face o înregistrare selectivă a traficului, pentru fiecare vehicul putându-se obține următoarele informații: viteza; direcția de mers; ora trecerii și tipul autovehiculului.

Pentru a stabili tipul autovehiculului, se introduce în microcomputer poziționarea axelor la toate tipurile de vehicule și prin intermediul a două tuburi detectoare așezate transversal deasupra și la o anumită distanță, se înregistrează timpul aferent trecerii fiecărui perechi de roți.

Informațiile sînt depozitate într-o casetă care după înregistrare se prezintă la Banca de Date Rutiere, pentru prelucrare.

Cu acest echipament se pot efectua măsurători de căte o singură persoană și la temperaturi cuprinse între -25°C și $+40^{\circ}\text{C}$. Are o rezistență la umiditate foarte bună, o distanță de detectare de 4.5 m și masa de 20.0 kN la o dimensiune de

Cu o singură casetă se pot înregistra 1000 de vehicule, ea putând fi schimbată fără a se întrerupe înregistrarea.

3.1.1.2. Investigarea suprafeței de rulare.

Starea suprafeței de rulare influențează în mod direct siguranța și confortul circulației, precum și condițiile de exploatare a drumului respectiv.

Calitățile suprafeței de rulare pot fi abordate prin prisma parametrilor ceruți de utilizatori sau din punctul de vedere al factorilor de întreținere a drumurilor.

În ceea ce privește utilizatorii, problemele care trebuie urmărite vizează comportamentul autovehiculului (rezistența la rulare, uzura mecanică a pneurilor, viteza de circulație etc.) pe de o parte și timpul de deplasare, confortul și siguranța pasagerilor sau imobilizările și pierderile la mărfurile transportate, pe de altă parte. Din punct de vedere al întreținerii drumurilor, se urmărește starea suprafeței de rulare în scopul adoptării unei anumite strategii de întreținere.

În tabelul 3.2 se prezintă în mod schematic gradul de influență al caracteristicilor suprafeței de rulare asupra câtorva factori de exploatare și întreținere /67/.

Tabelul 3.2. Influența caracteristicilor suprafeței de rulare asupra factorilor de exploatare și întreținere.

Factori de exploatare și întreținere	Calități ale suprafeței de rulare									
	Costul exploatarei vehiculelor pe km	Viteza și timpul	Confortul dinamic	Aderența pneurilor	Vizibilitatea la conducere	Formarea poleiului	Înlăturarea poleiului și dezapezirea	Uzura suprafeței de rulare	Uzura corpului drumului	
Nivelări longitudinale	**	**	**	*	*	*	*	*	*	
Nivelări transversale		*		**	**	**	**	*	*	
Textura suprafeței		*		**	*	*		*		
Structura suprafeței		*		**	*	*		**	**	

* - influență semnificativă

** - influență importantă

Dintre caracteristicile suprafeței de rulare, uniformitatea și rugozitatea acestea se detașează clar, uniformitatea influențând confortul circulației iar rugozitatea vizează în mod deosebit siguranța circulației rutiere.

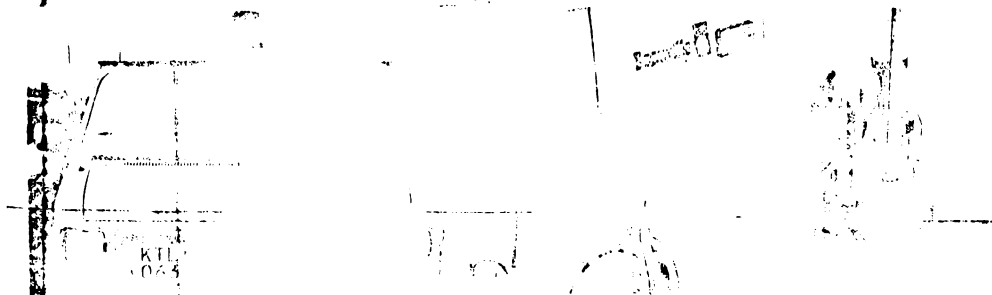
Metodele de măsurare a uniformității suprafeței de rulare se clasifică în /67/:

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

Cu excepția ultimei metode, celelalte sînt cunoscute și aplicate în majoritatea administrațiilor rutiere din lume, în funcție de dotarea existentă, ca atare se va prezenta în continuare metoda de investigare a suprafeței de rulare a drumului utilizînd razele laser.

În anul 1986, la Sydney în Australia, Institutul de Cercetări și Trafic (V.T.I.) din Suedia a prezentat, cu ocazia unei expoziții a tehnicii rutiere, un echipament dotat cu un bloc laser, complet computerizat și montat pe un vehicul ușor, destinat efectuării de măsurători la suprafața de rulare a drumului /18/.

Echipamentul este cunoscut sub denumirea de "The Laser Road Surface Tester" (R.S.T.) și este montat pe un autoturism, fiind capabil să efectueze măsurători la suprafața de rulare a drumului la o viteză de pînă la 90 km/h, paralel cu o prelucrare automată a datelor (fig. 3.2.).



Microcomputerul din dotare este de tip PRIMAL DATA - 2 000, iar programul este scris în limbaj Pascal, datele fiind depozitate pe disc. Programul are un grad mare de flexibilitate, putând fi adoptat pentru orice alte informații.

Principiul de funcționare este de "noncontact" al senzorilor cu suprafața de rulare a drumului, conform schemei din fig. 3.3., iar prin intermediul razei laser se măsoară unghiurile de incidență ale razei cu suprafața de rulare a drumului, unghiuri ce variază în funcție de existența diferențelor de nivel între profilul teoretic proiectat al drumului, introdus în microcomputer și profilul real al drumului.

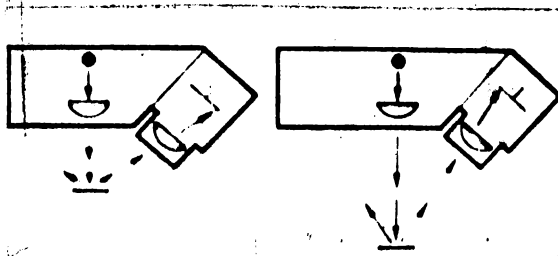


Fig.3.3. Principiul de funcționare al Laser R.S.T.

Blocul laser montat în fața autoturismului este dotat cu 11 camere - laser, pe o lățime de 3,6 m și cu două camere-laser montate lateral, astfel că se acoperă o lățime a suprafeței de rulare a drumului, de 4,2 m.

Urmare măsurătorilor efectuate și a prelucrării automate a datelor se obțin informații sub formă grafică (fig.3.4.), sau numerică, care cuprind date și ora efectuării măsurătorilor, denumirea codificată a drumului precum și lungimea măsurată în raport cu un reper fix (intersecție), viteza de lucru, indicele de rugozitate (1...9), adâncimea fâgașelor inclusiv procentul fâgașelor > 10 mm sau > 20 mm, gradul de fisurare (%) și uzura.

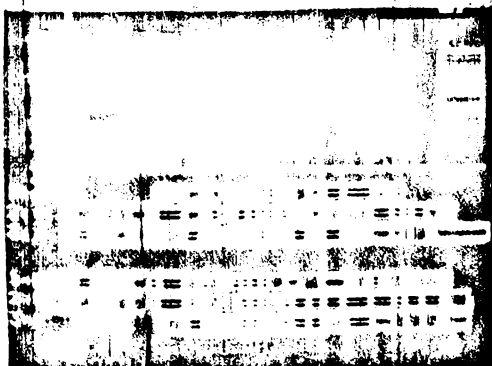
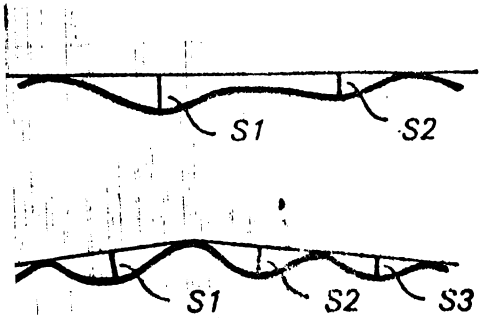


Fig. 3.4. Model de reprezentare grafică pentru adâncimea fâgașelor

În timpul efectuării măsurătorilor, profilul transversal al drumului este înregistrat la fiecare cinci metri.

Adâncimea fâgașelor se calculează în fiecare profil în raport cu linia de referință a profilului teoretic introdus în calculator (fig. 3.5).



S1...S3 - adâncimea fâgășe

Fig.3.5. Adâncimea fâgășelor măsurată în raport cu linia de referință.

Măsurătorile se pot efectua simultan pentru toți parametrii sau numai pentru cei programați, cu o performanță de 95 %. Blocul laser are garda la teren de 323 mm, iar acuratețea transductorului de $\pm 0,2$ mm. Adâncimea fâgășelor se măsoară cu o precizie de $\pm 1,0$ mm și cu o viteză de 30...90 km/h.

Pentru măsurarea frecării se folosește principiul skidometrului, aplicând pe roata de testare o sarcină de 1 000 N, iar acuratețea măsurătorilor fiind de ± 5 %.

Instalația este alimentată de un generator de 24 V, 45 A și o baterie de 12 V și 70 Ah, iar capacitatea de depozitare a informațiilor este de 2 M byte.

Cu The Laser Road Surface Tester se pot investiga circa 30 000 km de drum în perioada de vară, utilizarea lui prezentând următoarele avantaje: flexibilitate în manevrarea programului, siguranța măsurătorilor chiar în condiții de trafic normal, ușor de întreținut și manevrat, oferă un grad ridicat în privința preciziei măsurătorilor, rezultatele prelucrării măsurătorilor se obțin imediat pentru toți parametrii programați, fiind redată sugestiv sub formă de grafice sau fișe numerice (fig. 3.6).

Toate informațiile obținute sînt transferate imediat în Banca de Date Rutiere din cadrul Sistemului de Gestionare a Drumurilor.

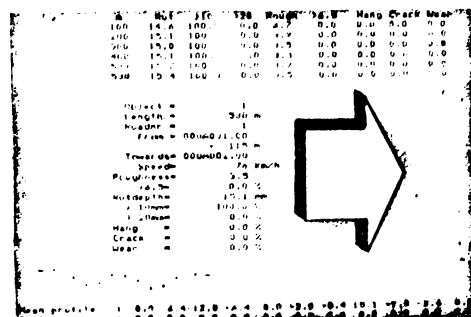


Fig.3.6. Model de fișă numerică.

3.1.1.3. Investigarea capacității portante a structurilor rutiere supl.

Capacitatea portantă a unei structuri rutiere se apreciază prin determinarea unor caracteristici cum ar fi deformația elastică sau plastică sub acțiunea unei încărcări, precum și modulul de deformație echivalent. Practic pentru determinarea lor se folosesc în mod curent Defectometrul cu pirghie (Benkelmann) și Deflectograful Lacroix. Primul măsoară deformația elastică a complexului rutier sub acțiunea unei anumite încărcări, iar pe baza valorilor obținute se determină deformația elastică caracteristică, după care se compară cu deformația elastică admisibilă /151/.

Un alt aparat mult mai perfecționat pentru măsurarea capacității portante a structurilor rutiere existente prin metode nedistructive, este The Falling Weight Deflectometer (F.W.D), realizat în Suedia în anul 1984 (fig.3.7.).

Deflectometrul F.W.D. este prevăzut cu o greutate care este lăsată să cadă de la anumite înălțimi, pe suprafața de rulare a drumului, având o forță de impuls cuprinsă între 10 și 150 kN, producând în structura rutieră atât deformații elastice cât și plastice (fig. 3.8).

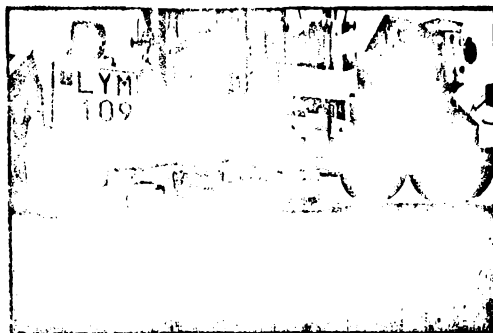


Fig. 3.7. Deflectometrul cu sarcină dinamică (F.W.D)

Deflexiunea suprafeței de rulare, datorată sarcinii dinamice, este măsurată în șase puncte pe o rază de 450 mm, cu ajutorul unor transductori, concomitent cu înregistrarea temperaturii la suprafața îmbrăcămintei și în aer.

Predizia de măsurare a deflexiunii este de $\pm 0,01$ mm, iar diametrul greutății căzătoare este de 450 mm pentru sarcini cuprinse între 30...150 kN și de 300 mm pentru sarcini cuprinse între 10...50 kN.

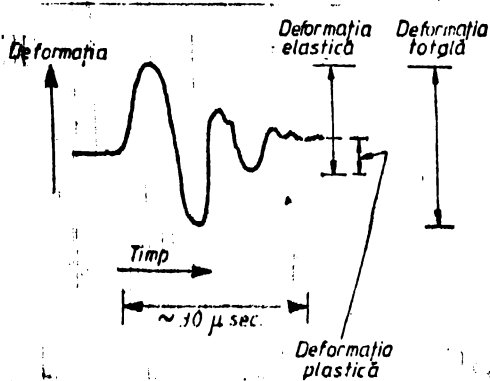


Fig. 3.8. Deformațiile produse în complexul rutier.

F.W.D. este dotat cu un microcomputer care prelucerează pe loc datele măsurătorilor, redând automat grosimea stratului de ranforsare a complexului rutier (fig.3.9), pentru fiecare sector omogen în parte.

În final, drumul este împărțit în clase (categorii) de ranforsare, în funcție de capacitatea portantă existentă și necesarul de ranforsări (fig. 3.9).

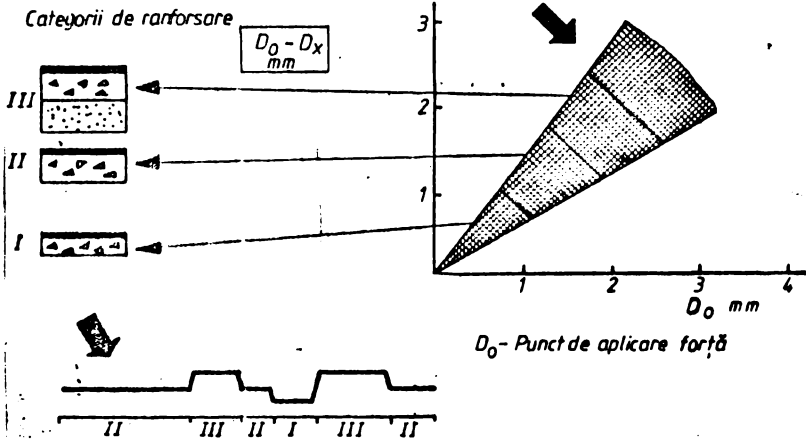


Fig. 3.9. Model de redare a prelucrării datelor.

Măsurătorile se fac pentru fiecare bandă de circulație în parte, la distanțe de 50 m.

Metoda prezintă totuși dezavantajul că impune pentru fiecare măsurătoare, oprirea autovehiculului timp de 15...40 s.

Pentru eliminarea acestui inconvenient, tot în Suedia, în anul 1987 s-a conceput o instalație pe bază de laser, montată pe un autovehicul de mare tonaj, care măsoară capacitatea portantă a complexelor rutiere existente pe baza liniilor de influență a deformațiilor produse în structura rutieră de către roțile autovehiculului (fig. 3.10).

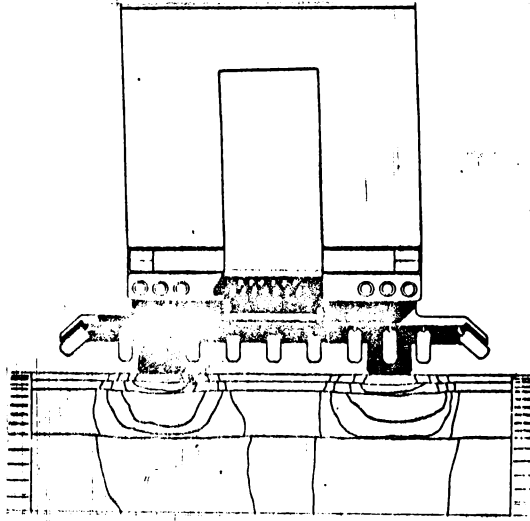


Fig. 3.10. Laser R. D. T.

Instalația de măsurare a capacității portante este complet computerizată, măsurătorile făcându-se la viteza traficului existent, rezultatele fiind redată grafic sau numeric direct în grosimea stratului necesar pentru reforțare. Instalația completă va fi operațională în 1990...1991 /18/.

3.2. ÎMBRĂCĂMINȚI RUTIERE DIN BETON DE CIMENT

Prima îmbrăcăminte rutieră rigidă, denumită inițial "macadam din beton", a fost executată în anul 1888 la Wroclaw /188/, după ce acest tip de îmbrăcăminte a fost abordat în anul 1865 în Anglia și 1876 în Franța.

Utilizarea acestor îmbrăcăminți a fost sporadică până în anul 1925, când se utilizează pe o scară mai largă, în special în S.U.A., la modernizarea drumurilor principale, astfel că în anul 1929 dispunea de 23.000 km de drumuri cu îmbrăcăminte din beton de ciment.

În anul 1933 în Germania, utilizarea îmbrăcăminților rigide pentru autostrăzi a devenit obligatorie, inițindu-se și un minucios program de cercetare în vederea elucidării unor probleme ca: grosimea dalei, distanța între rosturi și modul de colmatare a lor, durata de exploatare, influența factorilor climaterici etc., procedându-se la realizarea de secțiuni experimentale și înființarea de laboratoare speciale.

Toate acestea au condus în perioada anilor 1933-1949 la o regândire a dimensionării dalelor din beton, astfel că

s-a redus grosimea lor de la 25,0 cm cît a fost inițial la 22,0 cm și armarea de la 2,5 la 2,0 kg/m³/138/.

După o întrerupere de 10 ani (1941-1951), determinată de război, execuția îmbrăcămintilor rigide a fost reluată pe scară largă, concomitent cu studiile și cercetările în domeniu.

Actualmente, rețeaua de drumuri cu sisteme rutiere rigide depășește cu mult 200 000 km drumuri și autostrăzi în S.U.A., reprezentînd peste 80 % din rețeaua rutieră interstatală, respectiv circa 25 % din rețeaua de autostrăzi din Franța și Anglia, 90 % în Austria etc.

În Europa, R.F. Germania are cea mai mare rețea de drumuri cu îmbrăcăminți din beton de ciment, aproape 3 000 km /88/.

În țara noastră, construcția drumurilor cu îmbrăcăminți rigide a început o dată cu realizarea, în anul 1932 a unui sector de drum pe D.N. 1 lîngă Predeal, iar în anul 1985 peste 1 600 km drumuri publice (circa 5 %), erau cu îmbrăcăminți din beton de ciment.

3.2.1. Avantajele și dezavantajele îmbrăcămintilor rigide

Alegerea tipului de îmbrăcămintă pentru construcția, modernizarea sau ranforsarea drumurilor se bazează pe calcule tehnice și economice complexe, care scot în evidență avantajele pe care le prezintă îmbrăcămintile rutiere din beton de ciment față de îmbrăcămintile rutiere bituminoase.

În anul 1987 în Franța, Comitetul Tehnic al drumurilor din beton, a difuzat un raport intitulat "Drumuri cu îmbrăcăminți din beton de ciment", raport redactat de către F.Fuchs, de la Centrul de Cercetări Rutiere din Belgia și care pune în evidență elemente tehnice și economice care stau la baza alegerii tehnologiei drumurilor cu îmbrăcăminți din beton de ciment și încearcă să scoată în relief avantajele specifice și condițiile favorabile construcției unor asemenea drumuri, atât pentru trafic greu sau intens cît și pentru cele cu trafic redus.

Această acțiune a fost inițiată la Congresul Mondial de Drumuri de la Sydney - octombrie 1983 - ca urmare a faptului că în ultimii ani se manifestă o reînnoire a interesului pentru construcția și ranforsarea drumurilor cu îmbrăcăminți rigide, atât în țările industrializate cît și în regiunile în

cupa de dezvoltare, în special după declanșarea crizei mondiale a petrolului și influența factorului energetic /14c/.

Sub aspect tehnic și economic, raportul scoate în evidență următoarele avantaje ale îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment față de îmbrăcămințile bituminose, avantaje confirmate și în activitatea productivă a autorului:

- atestă o rigiditate mare, care permite asigurarea unei bune repartizări a eforturilor provenite din sarcini, pe suprafața straturilor inferioare și o comportare foarte bună la oboseală. Aceste proprietăți fac ca prețul construcției unei structuri rigide să fie competitiv în cazul terenurilor de fundare cu portantă redusă și a drumurilor cu trafic greu sau intens (autostrăzi, drumuri principale ș.a), precum și în cazul drumurilor cu trafic redus (drumuri secundare, agricole) pe care dala de beton se poate așeza direct pe pământ, fără strat de fundație;

- sînt rezistente la uzură și la acțiunea agenților atmosferici, fiind indicate în regiuni cu climat umed;

- la temperaturi ridicate ale mediului înconjurător și sub acțiunea traficului greu chiar în zonele cu frecvente frînări și accelerații, nu dau loc la deformații grave (fugașe, văluriri), așa cum se constată uneori la îmbrăcămințile bituminose;

- prezintă un grad de rugozitate ridicat, asigurînd chiar în condiții de umezire a suprafeței și la viteze mari de circulație, siguranță în exploatare;

- nu sînt atacate de carburanți și lubrifianti sau alți agenți chimici care atacă bitumul;

- sînt mai avantajoase din punct de vedere energetic, avînd un conținut specific de energie cu 50...60 % mai mic decît îmbrăcămințile bituminose;

- pot fi realizate pentru durate de exploatare relativ ridicate (20...40 ani), chiar și pentru un trafic rutier intens;

- betonul adaptîndu-se mai ușor diferitelor tipuri de agregate, permite utilizarea agregatelor locale. În această privință raportul menționează că agregatele calcareose contribuie la obținerea unor betoane de ciment rutiere calitativ superioare betoanelor clasice (rezistență mare la întindere, durabilitate mare la tăierea rosturilor, risc scăzut la fisurare, deschidere mai mică a rosturilor de contracție ș.a), cu condiția ca la fabricarea acestora să se utilizeze un nisip si-

ce asigură un suport uniform și stabil pentru îmbrăcămintile din beton de ciment, împiedicând tasarea inegală a dalelor și mărinđ astfel durata de exploatare;

- se încearcă o redimensionare a lungimii dalelor în funcție de calitățile betonului, paralel cu o înlocuire a rosturilor de dilatație cu rosturi de contracție, exceptind zona lucrărilor de artă și virajele cu rază mică de curbură;

- se remarcă rezultatele bune obținute în unele țări în domeniul îmbrăcămintilor din beton de ciment armate cu o armătură continuă, cu fibre de oțel și altele;

- se pune un mare accent pe utilizarea superplastifiantilor, în scopul de a conferi betoanelor de ciment rutiere calități specifice condițiilor de exploatare;

- utilizarea cofrajelor glijante pentru punerea în opără a betoanelor, asigură condiții de calitate mult sporite, cu avantaje economice evidente;

- există tendința de a stabili noi metode pentru realizarea rugozității suprafeței de rulare, folosindu-se strierea mecanizată longitudinală și transversală, clutarea suprafeței betoanelor cu material pietros rezistent, dezvelirea parțială a agregatelor din betonul de la suprafață etc.;

- noi tehnologii pentru întreținerea și repararea îmbrăcămintilor din beton de ciment, urmărindu-se perfecționarea unor metode de ranforsare a îmbrăcămintilor existente;

- proiectarea unui control automat al calității betoanelor de ciment rutiere, utilizând calculatorul în procesul de fabricație.

Toate administrațiile de drumuri din lume acceptă ideea că pentru a cuprinde încă din faza de proiectare multitudine de factori ce concură la realizarea unor îmbrăcăminti rutiere din beton de ciment de o calitate corespunzătoare și cu un înalt grad de fiabilitate, se impune a se face apel la statistica matematică paralel cu prelucrarea automată a datelor, cu ajutorul calculatorului.

3.3. RANFORSAREA STRUCTURILOR RUTIERE EXECUTE CU ÎMBRĂCĂMINȚI DIN BETON DE CIMENT. MATERIALE UTILIZATE.

Cercetările efectuate ne-au permis fundamentarea tehnică și organizatorică a necesității creerii în anul 1982, a condițiilor necesare executării îmbrăcămintilor din beton de ciment rutiere. În acest sens am procedat la o investigație

atență a tuturor resurselor de materiale existente în zonă, atât cele clasice cât și cele netradiționale destinate fabricării betoanelor de ciment.

La realizarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, sînt utilizate în mod curent, următoarele materiale de bază:

- agregate naturale neprelucrate (nisip și pietriș);
- produse de carieră prelucrate (cribluri);
- ciment, apă, aditivi;
- alte materiale.

În funcție de cerințele specifice ale îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment (rezistențe mari la întindere și uzură, rugozitatea sporită, contracția mică, rezistență la îngheț-dezghet ș.a.), pentru fiecare component în parte sînt prevăzute prin normativule în vigoare, anumite condiții specifice.

3.3.1. Agregatele naturale

Faptul că cel puțin 75 % din volumul betonului este ocupat de agregat, constituie un argument privind importanța deosebită a calității acestuia. Agregatul poate limita rezistențele mecanice ale betonului, de proprietățile lui depinde durabilitatea betoanelor de ciment rutiere și a betoanelor în general.

La început, agregatul era considerat ca un material inert, dispersat în masa pasteii de ciment, dar de fapt agregatul nu este complet inert, proprietățile sale fizice, termice și chimice influențînd comportarea betonului /79/.

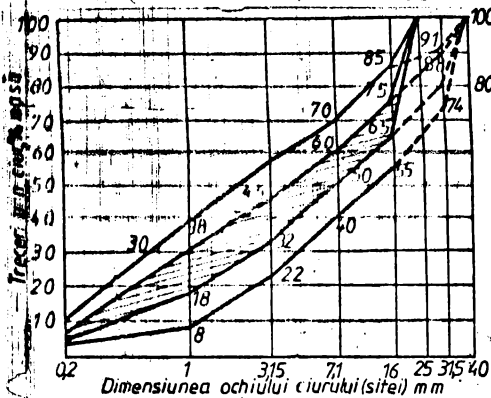
În general, în funcție de clasa tehnică a drumului, marca betonului și considerente economice, în stratul de uzură al îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment se utilizează nisip și cribluri, iar în stratul de rezistență, nisip și pietriș sau piatră spartă.

De asemenea, agregatele utilizate la prepararea betoanelor rutiere trebuie să aibă o anumită formă a granulelor, rezistență mecanică mare și o granulometrie bine stabilită, iar pentru agregatele utilizate în stratul de uzură se impun și anumite rezistențe la uzură și la îngheț-dezghet.

Se recomandă utilizarea nisipului de rîu cuarțos, sort 0-7 sau 0-3 și 3-7, avînd granule rotunde și aspre la pipăit, iar criblura (sort 8-16 și 16-25) trebuie să provină din ro-

ci dure, magmatice, omogene și compacte.

În fig. 3.11. sînt prezentate limitele de granulozitate ale agregatului total:



- granulozitatea agregatului total (nisip+pietriș) pentru stratul de rezistență, trebuie să se înscrie între curbele extreme;

- în cazul betoanelor de uzură (nisip+criblură), trebuie să se încadreze în zona hăsurată.

Fig. 3.11. Zone granulometrice ale agregatului total pentru îmbrăcămînți din beton de ciment.

Pentru stabilirea dozajelor de preparare a betoanelor de marcă B 400, am studiat următoarele tipuri de agregate:

- nisip natural (N) - balastiera Jupa;
- pietriș, sort 7-16 (P₁) - balastiera Jupa;
- pietriș, sort 16-31 (P₂) - balastiera Jupa;
- criblură, sort 16-25 (C₂) - cariera Glimboca.

Granulozitatea acestor agregate este redată în tabelul 3.3., iar pentru realizarea betonului de ciment rutier am calculat două amestecuri.

Tabelul 3.3. Granulozitatea agregatelor

Nr. crt.	Agregatul	% trecere prin sita (ciurul), de...mm					
		0,2	1,0	3,15	7,1	16	25(31)
1.	N	4	51	86	100	100	100
2.	P ₁	0,8	2	5	27	97	100
3.	P ₂	0,4	1,4	2	3	14	98
4.	C ₂	0,5	1,2	1,4	2	12	99

Amestecurile calculate cu relațiile:

$$A1 : 0,3 N + 0,3 P_1 + 0,4 C_2$$

$$A2 : 0,3 N + 0,3 P_1 + 0,4 P_2$$

au avut următoarele limite de granulozitate.

Tabloul 3.4. Limitele de granulozitate pentru A1 și A2.

Nr. art.	Amestecul	% trecere pe sita (ciurul), de...mm					
		0,2	1	3,15	7,1	16	25(31)
1.	A1	1,64	16,38	27,86	38,9	63,9	99,6
2.	A2	1,60	16,46	28,16	39,3	64,7	99,2

Se observă că amândouă amestecurile de agregate (A1 și A2) se încadrează în domeniile de granulozitate impuse prin normativele în vigoare.

Unele studii efectuate după anul 1975, atât pe plan mondial cât și în țara noastră (v. cap. II), au scos în evidență posibilitatea folosirii, în anumite condiții, a materialelor locale netradiționale, la realizarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, cu implicații directe legate de reducerea costului lucrărilor și a consumului energetic.

3.3.2. Cimentul

Pentru execuția îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment se folosesc în general cimenturi de tip Portland, iar în unele țări dezvoltate, în special pentru autostrăzi, se utilizează cimenturi rutiere speciale, acordându-se o importanță deosebită alegerii tipului de ciment, pentru a se evita riscurile de fisurare a betonului în prima parte a perioadei de întărire.

Principalele cerințe impuse cimentului rutier: rezistență mare la întindere și contracție redusă sînt contradictorii, avînd în vedere că prin creșterea rezistențelor mecanice se mărește și pericolul de fisurare a betonului în perioada de întărire /89/.

Din această cauză trebuie ales un tip de ciment rutier cu rezistențe mecanice medii și priză lentă, considerat eficient din punct de vedere tehnic pentru a fi utilizat la realizarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment.

3.3.2.1. Compoziția mineralogică a cimentului.

Ținînd cont de faptul că cele mai importante proprietăți ale cimentului sînt determinate în primul rînd de caracteristicile componentilor mineralogici și de proporția în

care aceștia participă în compoziție, s-a demonstrat experimental că proprietățile unui ciment sînt cu aproximație funcții aditive de compoziția mineralogică, conform expresiei /79/, /88/:

$$P = \alpha \cdot C_3S + \beta \cdot C_2S + \gamma \cdot C_4AF + \delta \cdot C_3A \quad (3.1)$$

în care: α, β, γ și δ sînt coeficienți de proporționalitate stabiliți statistic:

- C_3S, C_2S, C_4AF, C_3A - componenți mineralogici, în %.

Pentru alegerea unei compoziții mineralogice a cimentului care să corespundă condițiilor impuse îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment, în literatura de specialitate /79/ au fost tratate caracteristicile componenților mineralogici pe compuși chimici individuali (tabelul 3.5).

Din analiza modului de comportare a componenților mineralogici individuali, rezultă următoarele concluzii:

- C_3S (silicații tricalcici) este cel mai important componenț, prezentînd din toate punctele de vedere caracteristici optime pentru cimenturile rutiere.

Tabelul 3.5. Comportarea componenților mineralogici ai cimentului.

Caracteristica	Componenții			
	C_3S	C_2S	C_4AF	C_3A
Rezistența mecanică	Foarte mare [*]	Inițial mică	Medie	Mică ^{**}
Contractia	Mică [*]	Medie	Medie	Mare
Calitativitatea	Foarte bună [*]	Bună	Slabă	Foarte slabă ^{**}
Rezistența la uzură	Bună	Mică ^{**}	Medie	Medie
Modul de elasticitate	Foarte mare [*]	Mediu	Mare [*]	Mediu
Viteza de hidratare	Moderată [*]	Foarte lentă	Rapidă	Foarte rapidă ^{**}
Căldura de hidratare	Mare	Mică	Medie [*]	Foarte mare ^{**}

* Comportări favorabile cimenturilor rutiere.

** Comportări nefavorabile cimenturilor rutiere.

Proporția de C_3S în aceste cimenturi se consideră că trebuie să fie mai mare de 55 %, recomandabil între 60 și 70 % /88/;

prezența unor cantități mari de C_2S (silicat bicalcic) este contraindicată în cimenturile rutiere;

- C_4AF (feritaluminatul tetracalcic) este un component cu valoare deosebită pentru cimenturile rutiere;

+ conținutul de C_3A (aluminat tricalcic) în componența cimentului rutier se admite de max. 6 % (10 % în cazul îmbrăcămintilor revibrate) /88/.

În aceste condiții se apreciază că un ciment rutier trebuie să aibă caracteristicile unui ciment feroportlandalic care este capabil să furnizeze rezistențe corespunzătoare la compresiune, întindere din încovoiere, la uzură și gelivitate, având totodată contracții la uscare, reduse.

În țara noastră, la realizarea îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment se utilizează frecvent cimenturile de tip P 40, P 45 iar în anul 1975 a fost standardizat și cimentul pentru drumuri tip CD 40 la care conținutul de aluminat tricalcic (C_3A) este limitat de maximum 6 %.

În tabelul 3.6 sînt prezentate rezistențele mecanice ale diferitelor tipuri de ciment utilizate la noi în țară și în străinătate, la realizarea îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment /88/.

Tabelul 3.6. Rezistențe mecanice ale diferitelor tipuri de ciment rutier.

Tipul cimentului	Țara	Rezistența minimă, în N/mm^2 , determinată pe mortare plastice					
		La compresiune			La întindere din încovoiere		
		2 zile	7 zile	28 zile	2 zile	7 zile	28 zile
P 40	România	17,0	-	40,0	3,0	-	6,0
	România	20,0	-	45,0	3,5	-	6,5
CD 40	România	15,0	26,0	40,0	3,5	5,0	6,5
Z.275	R.F.G.	-	11,0	27,5	-	3,0	5,0
Z.375	R.F.G.	15,0	22,5	37,5	3,0	4,0	6,0
CPA 325	Franța	-	21,0	32,5	-	4,0	5,5
CPA 400	Franța	16,0	31,5	40,0	3,5	5,5	6,5

Avînd în vedere că în compoziția betoanelor, la îmbrăcămintile rigide, cimentul intervine într-o cantitate apreciabilă (în mediu 520 t/km de drum), utilizarea unor tipuri speciale de ciment pentru drumuri poate conduce la importante

economică în executarea acestor lucrări, prin posibilitatea reducerii dozajului de ciment, în condițiile îmbunătățirii simțitoare a calității lucrărilor.

Cimenturile cu adaosuri nu se folosesc în mod curent pentru lucrări rutiere, betoanele preparate cu aceste cimente fiind sensibile la fisurare, prezentînd contracții rapide în timpul prizei și avînd rezistențe scăzute la uzură.

La cimenturile rutiere se impun oțteva caracteristici specifice ca:

- prizea cimentului pentru drumuri (OD 40) să fie lentă și să nu înceapă mai devreme de două ore de la preparare;
- privind constanța de volum determinată pe turte, acestea nu trebuie să prezinte crăpături de la margine spre centru, caracteristice fenomenului de umflare, iar mărirea de volum măsurată la vîrfurile acelor Le Chatelier nu trebuie să fie mai mare de 10 mm;
- finețea de măcinare a cimenturilor rutiere exprimată prin suprafața specifică, trebuie să fie de 2 800...3 500 cm²/g sau, valoarea restului pe sita de 0,09 mm să fie de maximum 10 %.

În majoritatea țărilor din Europa, finețea de măcinare se limitează superior la maximum 3 000...4 000 cm²/g, avînd în vedere influența acesteia asupra pericolului fisurării prin contracție a betonului, precum și susceptibilitatea cimenturilor la degradare în timpul depozitării /106/, /108/.

În cadrul programului de ranforsare a structurilor rutiere suple cu îmbrăcăminți din beton de ciment, inițiat pentru prima dată în cadrul Secției de Drumuri Naționale Caransebeș, în anul 1983, am adoptat pentru betoanele de marcă B 400 preparate cu ciment P 40, următoarele compoziții (tabelul 3.7):

Tabelul 3.7. Compozițiile betoanelor

Compoziția	Ciment P 40 kg/m ³	Așă l/m ³	Disan l/m ³	Dozaj agregate (kg/m ³)					A/C
				Total	S	P1	P2	C2	
A1	360	154,8	7,2	1 900	570	570	-	760	0,45
A2	360	154,8	7,2	1 890	567	567	756	-	0,45

În valoarea A/C, este inclusă și soluția 10 % DISAN-A, aditiv care s-a dovedit inefficient asupra lucrabilității betonului proaspăt.

3.3.3. Aditivii

Aditivii folosiți la prepararea betoanelor de ciment rutiere sînt substanțe care, adăugate în cantități mici în compoziția betoanelor, pot influența în mod favorabil unele caracteristici ale betonului proaspăt sau întărit, în special lucrabilitatea și rezistențele mecanice în condiții de exploatare, precum și procesele de priză și întărire.

Cei mai utilizați aditivi în cazul betoanelor rutiere sînt adăsurile tensioactive: plastifiantii și antrenorii de aer.

Aditivii tensioactivi acționează, în principal, în sensul modificării tensiunii superficiale la limita de separare solid-lichid-gaz.

La suprafața limită de separare dintre două faze apar forțe necompensate și de aceea stratul superficial este mai bogat în energie /76/, /63/.

Această energie raportată la unitatea de suprafață reprezintă energia superficială specifică, care provoacă o tensiune în stratul superficial și raportată la unitatea de lungime se numește tensiune superficială γ și se exprimă în N/m sau dyne/cm. Tratînd tensiunea superficială ca un exces de energie liberă ΔG pe unitatea de suprafață S, se obține:

$$\Delta G = \gamma S \quad (3.2)$$

și diferențiînd, această expresie devine:

$$d(\Delta G) = \gamma dS + S d\gamma \quad (3.3)$$

Condiția desfășurării proceselor spontane este scăderea energiei libere: $d(\Delta G) < 0$.

Dacă suprafața de separație rămîne constantă, trebuie ca $Sd < 0$ și cum S este pozitiv înseamnă că $d\gamma < 0$ /119/.

Tendința de micșorare a tensiunii superficiale determină apariția fenomenelor de suprafață, încît suprafața de separație a fazelor este sediul transformărilor care se produc în sisteme eterogene și ca un prim fenomen apare adsorbția.

Față de apă care are o tensiune superficială mare ($\sim 73 \cdot 10^{-3}$ N/m la 20°C) foarte multe substanțe au proprietăți tensioactive, adăugate și prezența într-o anumită concentrație a substanței de aditivare conduce la apariția fenomenului de adsorbție la suprafața particulelor disperse, conferind stabilitatea întregului sistem dispers /76/.

Prin adsorbția acestor substanțe la suprafața granulelor de ciment, crește hidrofilia acestora și hidratarea lor se desfășoară nestânjenită.

Cercetările efectuate /76/, /79/ au condus la concluzia că aditivii tensioactivi fluidizanți modifică morfologia hidroaluminatilor de calciu, a hidrosilicaților de calciu și a cimenturilor întărite, cu consecințe asupra rezistențelor mecanice ale betoanelor de ciment și a durabilității acestora.

Aditivii fluidifianți conduc, simultan cu creșterea compactității absolute a pietrei de ciment, la îmbunătățirea uniformității de distribuție a porilor paralel cu o micșorare a porozității absolute.

Creșterea gradului de dispersie a produselor de hidratare, îmbunătățește adesiunea matricei (cimentului întărit) cu agregatele, ceea ce are o influență deosebită asupra comportării betonului la sollicitări mecanice.

Aditivi antrenori de aer sînt substanțe tensioactive care, modificînd tensiunea superficială a apei, acționează la limita de separație a fazelor, antrenînd bule mici de aer în masa cimentului, repartizate uniform și capabile să determine o structurare a maselor în care sînt incluse (fig.3.12) /79/.

Efectul lor principal este acela al îmbunătățirii lucrabilității și durabilității betonului - consecință a modificărilor structurale induse atît în betonul proaspăt, cît și în betonul întărit.

Structura sistemului, ca urmare a aderării la suprafața particulelor solide a bulelor de aer, imprimă o stabilitate sporită sistemului, caracterizat printr-o coeziune ridicată, cu tendință scăzută de segregare și separare a apei.

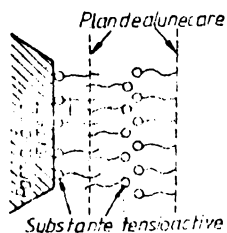


Fig. 3.12. Mecanismul de lubrifiere în beton, determinat de substanțele tensioactive.

Toate acestea, alături de scăderea apei necesare pentru obținerea unei anumite consistențe, conduc în ansamblu la îmbunătățirea lucrabilității. Efectul asupra lucrabilității, consecință atît a volumului de aer antrenat, cît și a distribuției dimensionale a porilor în beton, este determinat esențial de natura și proporția aditivului și de compoziția betonului.

Betonul, ca orice material poros (1...3 % volum de aer oclus), comportă rețeaua de vase capilare în general umplute cu apă, care la

îngheț repetat provocă defolierea materialului de la suprafață, iar prin introducerea microbulilor de aer dispersate în masa betonului, se întrerupe capilaritatea, anulându-se astfel efectul înghețului.

Deși prin utilizarea antrenorilor de aer se reduc rezistențele betonului, totuși se pot obține în final betoane de ciment cu lucrabilitate și rezistențe mecanice bune, prin scăderea raportului A/C.

În țara noastră, prescripțiile tehnice prevăd utilizarea obligatorie în betoanele de ciment rutiere a aditivului mixt (plastifiant și antrenor de aer) denumit DISAN, fabricat la Zărnești.

În tehnica rutieră mondială, există tendința de utilizare a superplastifianților, care sînt tot niște adăsurii tenoactive, dar de mare eficiență și care se utilizează în cantități de 1-3 % din greutatea cimentului, avînd repercusiuni imediate asupra caracteristicilor reologice, a procesului de priză și formării structurii de rezistență.

Superplastifianții sau superfluidifianții, sînt noi tipuri de aditivi pentru betoane, produși de industria chimică de sinteză din diferite țări, în principal pe bază de melamină formaldehidă sulfonată și de naftalină formaldehidă sulfonată.

Utilizarea superplastifianților a cunoscut o mare extindere după 1974 în Japonia (unde în 1973 peste 80 % din producția de betoane era realizată cu superplastifianți), în Anglia (unde peste 60 % din producția de prefabricate este realizată din beton cu superplastifianți), în Republica Federală Germania (unde se pun în operă anual peste 7 milioane m³ beton fabricat cu superplastifianți), în U.R.S.S., S.U.A., Canada, Franța, etc.

Apariția superplastifianților a condus la implementarea unei tehnici noi în prepararea betoanelor, obținîndu-se performanțe excepționale cu un consum de ciment și de energie redus.

La Conferința de la Montreal privind superplastifianții, ținută în 1979, cunoscutul om de știință american J. Malhotra afirmă: "aparitia superplastifianților reprezintă o revoluție în tehnica betonului ce poate fi asemuită ca importanță numai cu tehnica precăstrării".

Cert este că utilizarea unor superplastifianți corespunzător, aduce îmbunătățiri substanțiale anumitor proprie-

tăți ale betonului în general, iar în cazul nostru, unor caracteristici speciale ale betoanelor de ciment rutiere, atât de necesare pentru mărirea durabilității îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment.

Și în România, în ultimii ani, paralel cu dezvoltarea puternică a industriei chimice, s-a procedat la studierea și obținerea unor noi tipuri de superplastifianți comparabili ca performanțe cu cei realizați pe plan mondial, la ora actuală cunoscându-se în lume peste 300 tipuri de aditivi.

3.3.3.1. Noi tipuri de superplastifianți.

Începând cu anul 1984, pentru prima dată în țară, am procedat la studierea, cercetarea și experimentarea a două noi tipuri de superplastifianți, în scopul utilizării lor la fabricarea betoanelor de ciment rutiere.

A) Aditivul superplastifiant VIMC 11, obținut în laboratorul Victoria din cadrul Combinatului Chimic, face parte din grupa condensatelor pe bază de melamină formaldehidă sulfonată și a fost omologat la finele anului 1980.

Tabelul 3.8. Superplastifiantul VIMC-11

Nr. crt.	Proprietățile	VIMC - 11
1	Aspectul	: Soluție ușor lăptoasă
2	Subst. uscată:	20 ± 1 %
3	Densitatea	: 1,1...1,2 (20 °C, g/cm ³)
4	Viscozitatea	: 2...3 (20 °C, P)
5	pH	: 6,5...8,5
6	Cloruri	: lipsă

În tabelul 3.8. sînt prezentate principalele proprietăți ale aditivului superplastifiant VIMC - 11 extras din Caietul de sarcini nr. 110-80.

Se livrează în butoaie iar calitatea este garantată.

În termen de 12 luni de la data livrării.

În colaborare cu Institutul de Cercetare și Proiectare pentru Materiale de Construcții București, Laboratorul pentru Tehnologia Betoanelor, începînd cu anul 1984 am procedat la efectuarea de cercetări în laborator privind posibilitățile și modul de utilizare a aditivului superplastifiant VIMC-11 la prepararea betoanelor de ciment rutiere.

Pentru prepararea betoanelor s-au utilizat: ciment P 40, nisip de râu sort 0-7, pietriș concasat sort 7-16 și 16-40, apă și aditivul VIMC-11 în diferite proporții, toate în condițiile impuse de normativele în vigoare privind betoanele de ciment

rutiore.

Compoziția betoanelor (martor și experimentale) s-a determinat în laborator pe bază de încercări preliminare, astfel încât să se asigure obținerea lucrabilității, durabilității și rezistențelor mecanice conform standardului pentru îmbărcămintă rutiore din beton de ciment.

În tabelul 3.9 se prezintă compoziția unor betoane de marcă B 400, cu și fără superplastifiantul VIMC-11, în condițiile variației cantității de ciment, tip P 40 și a raportului A/C.

Tabelul 3.9. Compoziția betoanelor (pentru 1 m³)

Nr. crt.	Specificație	U.M.	B.M.	B.V. 1.	B.V. 2.	B.V. 3.
1.	Ciment P 40	kg	360	360	360	340
2.	Apă	L	160	160	142	122
3.	Nisip, sort 0-7	kg	563	563	563	560
4.	Pietriș, sort 7-16	kg	470	470	470	465
5.	Pietriș, sort 16-40	kg	845	845	845	850
6.	VIMC-11	%	0	2,5	2,5	2,5

• B.M. - Beton martor; B.V. 1...3 - Betoane cu VIMC-11
 • VIMC-11 se calculează în % din masa cimentului.

În Instrucțiunile tehnice provizorii pentru folosirea superplastifiantului VIMC-11 la prepararea betoanelor, Indicativ CD 137-81, se precizează că acesta se poate utiliza în proporție de 1...5% din masa cimentului, dar în urma numeroaselor verificări făcute în laborator, s-a ajuns la concluzia că procentul optim, în cazul betoanelor de ciment rutiore, este de 2,5%; așa cum se prezintă în tabelul 3.9., adăugându-se în apa de amestecare a betoanelor, într-un anumit mod.

În laboratorul de șantier, am făcut determinări atât asupra betoanelor în stare proaspătă (tabelul 3.10) cât și asupra betoanelor în stare întărită (tabelul 3.11).

Tabelul 3.10. Caracteristicile betoanelor în stare proaspătă

Caracteristici	U.M.	B.M.	B.V. 1.	B.V. 2.	B.V. 3.
Densitatea aparentă	kg/m ³	2 442	2 435	2 403	2 390
Tălmăș	cm	0,5	10,5	12,5	13,5
Grad de compactare	-	1,25	1,39	1,38	1,35
Volu aer oclos	%	3,3	3,2	3,4	3,2

Se observă că densitatea aparentă a betoanelor în stare proaspătă și preparate cu superplastifiant tip VIMC-11, la cantitate de apă egală și lucrabilitate îmbunătățită (B.V. 1), este practic egală cu densitatea betoanelor martor (B.M.).

În scopul verificării caracteristicilor fizico-mecanice ale betoanelor în stare întărită, pentru fiecare tip de beton realizat, am prelevat corpuri de probă, iar încercările au fost efectuate în laboratoarele Facultății de Construcții Timișoara.

Tabloul 3.11. Caracteristicile betoanelor în stare întărită

Nr. crt.	Cod beton	Dozaj ciment kg/m ³	R _c (daN/cm ²) la zile:					Grad imp.	R îngheț-dezgeț (cicluri)
			1	3	7	28	90		
1.	B.M.	360	-	138	260	410	425	P 8	75
2.	B.V. 1.	360	89	176	340	445	456	P 10	75
3.	B.V. 2.	360	91	180	337	442	459	P 10	75
4.	B.V. 3.	340	84	181	345	435	441	P 12	100

Cercetările și experimentările efectuate au scos în evidență faptul că prin utilizarea în proporție de 2,5 % din masa cimentului, a superplastifiantului VIMC-11, la prepararea betoanelor de ciment rutiere (cu respectarea tuturor regulilor tehnologice), se obțin următoarele avantaje tehnico-economice:

- îmbunătățirea sensibilă a lucrabilității betonului la o cantitate de apă de preparare egală cu apa de la betonul martor, obținându-se rezistențe mecanice, rezistențe la îngheț-dezgeț egale, etc.;

- creșterea sensibilă a rezistențelor inițiale (cu 30... 100 %) și finale (cu 10...30 %) la dozaje de ciment și lucrabilitate egală, paralel cu o reducere a cantității de apă cu 12..25 %;

- reducerea dozajelor de ciment cu 10...15 % la betoanele cu lucrabilitate și rezistențe mecanice egale cu ale betonului martor;

- îmbunătățirea limitată a lucrabilității betonului proaspăt și creșterea rezistențelor mecanice ale betoanelor întărite la dozaje de ciment egale cu betonul martor, prin reducerea cantității de apă cu 6...12 %;

- lucrabilitatea betonului cu superplastifiant VIMC-11 este influențată, ca și la betonul obișnuit, de tipul și de

dozajul de ciment utilizat în compoziție, absorbția agregatelor și temperatura mediului ambiant, menținându-se 45...75 minute la 18...22 °C, 90...120 minute la 14...15 °C și 30...60 minute la 25...28 °C. Este necesar ca la începerea producției de beton cu superplastifiant, să se verifice cu atenție lucrabilitatea betonului proaspăt, în funcție de condițiile concrete de lucru;

- utilizarea superplastifiantului VIMC-11 la fabricarea betoanelor de ciment rutiere, permite obținerea unui grad ridicat de impermeabilitate (P 12) și rezistență mare la gelivitate (minim G 100), aspecte deosebit de importante pentru îmbrăcămintele rutiere din beton de ciment.

În anul 1986 în cadrul programului de ranforsări, pe P.N. 6 Garmosbeg-Blatim Tula, a fost executat un sector experimental la km 436+020-436+148 (Fig.3.13), betonul fiind



Fig.3.13.Îmbrăcămintă din beton de ciment preparat cu superplastifiant VIMC-11.

preparat și asternut după tehnologia clasică.

Pentru utilizarea superplastifiantului VIMC-11, în baza numeroaselor experimente, am stabilit următorul procedeu: cantitatea de apă necesară preparării unui metru cub de beton se corectează cu cantitatea de apă din soluția de superplastifiant

nt; considerînd $A_s \approx S_{x0}$, S_0 - unde A_s este apa din soluția de superplastifiant, S - este cantitatea de superplastifiant, în %, avînd o concentrație de circa 20 % substanță solidă (cum se livrează de producător).

Cantitatea de superplastifiant se diluează în $1/2...3/4$ din apa calculată ca necesară pentru amestecul betonului după efectuarea corecției, avînd în vedere cantitatea de apă din superplastifiant. În procesul de amestecare se introduce mai întîi apa rămasă disponibilă după diluarea superplastifiantului și apoi apa în care s-a diluat superplastifiantul VIMC-11 continuîndu-se amestecul betonului minimum 50...60 secunde după introducerea superplastifiantului. Dozarea cronată a superplastifiantului la începutul malaxării betonului, în loc să fie dozat după o malaxare de cel puțin 30...40 secunde împreună cu $1/2...3/4$ din apa de preparare, conduce la o redu-

cere a lucrabilității betonului, fapt ce influențează negativ procesul de așternere și întărire, respectiv durabilitatea îmbrăcăminții rutiere. După aproape patru ani de la execuția sectorului experimental, am constatat o comportare foarte bună în exploatare a îmbrăcăminții din beton de ciment realizat cu aditivul superplastifiant VIRC-11.

Al doilea aditiv supus studierii, cercetării și experimentării în scopul realizării unor îmbrăcăminți rutiere din beton de ciment cu o fiabilitate mare și calități funcționale deosebite, este:

B. Aditivul superplastifiant ADEX

Produsul ADEX este un aditiv realizat în anul 1985, pe baza cercetărilor întreprinse de ICECHIM și INCERC București.

În anul 1986, în colaborare cu laboratorul de betoane din cadrul INCERC, s-a procedat la efectuarea unor cercetări la nivel de laborator privind posibilitățile de utilizare ale aditivului ADEX la prepararea betoanelor de ciment rutiere.

În tabelul 3.12 se prezintă caracteristicile fizico-chimice ale produsului ADEX, așa cum au fost furnizate de ICECHIM București.

Aditivul nu conține cloruri, azotați sau alți compuși chimici în cantități care să dăuneze oțelului sau betonului.

Aditivul, introdus în masa betonului, produce o expansiune controlată care conduce la umplerea completă a spațiilor de turnare, eliminarea contractiei plastice și îmbunătățirea aderenței la suprafața de contact /15/.

Tabelul 3.12. Caracteristici fizico-chimice.

Caracteristici	Metode de determinare	UM.	Valoarea
1. Aspect: pulbere de culoare cenușiu-gălbui	vizual		
2. Penetratarea aparentă	determinare în cilindrul gradat	g/cm ³	0,85...0,90
3. Umiditatea	uscare în etuvă la 150 °C	%	max 2

La betoanele în stare proaspătă, îmbunătățește lucrabilitatea, în condițiile diminuării cu circa 10 % a cantității de apă, re-

ducînd și tendința de sedimentare a amestecului.

Are o influență favorabilă asupra betoanelor în stare întărită, în sensul că îmbunătățește caracteristicile de rezistență și durabilitate.

Produsul ADEX are un termen de garanție de 6 luni și se livrează în saci de polietilenă introduși în bidoane de 25 kg sau tobe de carton de 50 kg, bine închise, iar depozitarea lui trebuie să se facă în spații ferite de umiditate.

Proportia optimă de aditiv s-a stabilit pe bază de încercări preliminare, în funcție de caracteristicile în stare proaspătă și întărită impuse betoanelor de ciment rutiere, B 300 și B 400 și s-a ajuns la concluzia că dozajul optim de aditiv ADEX este de 1,2 % din masa cimentului (recomandat pentru betoane: 0,8...1,5 %).

Pentru prepararea betoanelor s-au utilizat: ciment P45; nisip de râu, sort 0-7; pietriș, sort 7-16 și 16-40; criblură de calcar, sort 7-15 și 15-30; apă și aditivul ADEX în proporție de 1,2 %; toate, cu respectarea strictă a condițiilor impuse componentelor unui beton de ciment rutier.

În tabelul 3.13. sînt prezentate dozajele stabilite în laboratorul stației de betoane Caransebeș, atât pentru betoanele martor cît și pentru betoanele experimentale (E₁, E₂) preparate cu aditivul ADEX.

Caracteristicile agregatelor de natură calcaroasă rezultate din prelucrarea calcarului da la C. Daicoviciu, județul Caransebeș (v. cap. 11, p. 2.11), sînt prezentate în anexa 2.2. În anul 1987 au fost executate sectoare experimentale, pe D.N. 6 în zona localității Buchin, la următoarele poziții kilometrice:

- 1) B.M.1 : km 446+185-447+000; 3) E₁ : km 446+890-446+920;
- 2) B.M.2 : km 446+675-446+690; 4) E₂ : km 446+500-446+525.

Tabelul 3.13. Compoziția betoanelor experimentate (1 m³)

Specificație	UM.	Betoane martor		Betoane cu ADEX	
		B.M.1	B.M.2	E ₁	E ₂
1 Ciment P 45	kg	360	340	360	340
2 Apă	L	162	153	149	138
3 Nisip, sort 0-7	kg	563	667	563	667
4 Pietriș, sort 7-16	kg	470	-	470	-
5 Pietriș, sort 16-40	kg	845	-	845	-
6 Criblură, sort 7-15	kg	-	477	-	477
7 Criblură, sort 15-30	kg	-	763	-	763
8 Aditiv ADEX	%	-	-	1,2	1,2

• B.M.1 - beton martor cu agregate de balastieră;
 • B.M.2 - beton martor cu cribluri din calcar, C. Daicoviciu;
 • ADEX - 1,2 % din masa cimentului.

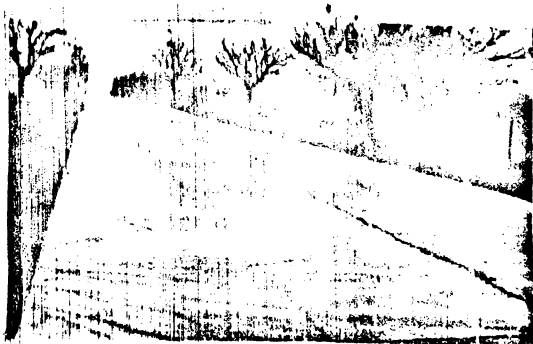


Fig. 3.14. Imbrăcăminte din beton de ciment rutier preparat cu aditivul ADEX.

Prepararea, transportul, aşternerea şi tratarea ulterioară a betonului s-a făcut conform tehnologiei prezentate în cap. II, p. 2.3.3...2.3.5.

Pe tot parcursul experimentărilor s-au făcut verificări atât asupra betoanelor în stare proaspătă cât şi în stare întărită, rezultatele fiind prezentate în tabelul 3.14

şi 3.15.

Din analiza rezultatelor obţinute se concluzionează următoarele:

- densitatea aparentă a betoanelor realizate cu agregate calcaroase (B.M.2 şi F 2), este superioară valorilor aferente betoanelor martor (B.M.1 şi B.M.2), fapt ce influenţează pozitiv calitatea betoanelor;

Tabelul 3.14. Caracteristicile betoanelor în stare proaspătă.

Nr. crt.	Caracteristica	UM.	Betoane martor		Betoane cu ADEX	
			B.M.1	B.M.2	F 1	F 2
1.	Densitatea aparentă	kg/m ³	2 442	2 486	2 440	2 482
2.	Tanarea	cm	0,5	0,7	4,5	5,5
3.	Grad de compactare	-	1,30	1,32	1,37	1,39
4.	Volum de aer oclus	%	3,3	3,4	3,6	3,5

- lucrabilitatea betoanelor preparate cu ADEX este cu mult mai mare decât a betoanelor martor, în condiţiile reducerii cantităţii de apă ($A/C \approx 0,41 < 0,45$) cu circa 10 %.

O lucrabilitate mai bună a betoanelor permite realizarea unui grad de compactitate mai mare cu un consum redus de energie.

Pentru efectuarea încercărilor pe betonul întărit, s-au prelevat câte trei cuburi şi trei prisme pentru fiecare tip de dozaj.

Epruvetele au fost păstrate în regim de umiditate ridicată până la vârsta de 7 zile şi apoi în regim cu umiditate normală până la 28 zile, în cadrul laboratorului staţiei de betoane Caransebeş.

Incercările la vîrsta de 28 zile au fost făcute în cadrul laboratorului central al D.D.P. Timișoara și în laboratoarele Facultății de Construcții din Timișoara, iar rezultatele obținute sînt prezentate în tabelul 3.15.

Tabelul 3.15. Rezistențele mecanice ale betoanelor

Nr. crt.	Cod beton	Ciment kg/m ³	Rezistențele mecanice (N/mm ²) la:	
			Compreziune	Întindere
1.	B.M.1.	360	41,5(40)	5,4(5,4)
2.	B.M.2.	340	43,5(40)	6,3(5,4)
3.	E 1	360	44,0(40)	6,5(5,4)
4.	E 2	340	49,5(40)	6,7(5,4)

* În paranteză sînt date rezistențele mecanice impuse.

Din analiza rezultatelor obținute se pot trage următoarele concluzii:

- rezistențele mecanice ale betoanelor de ciment rutiere, preparate cu aditivul superplastifiant ADEX, sînt mai mari cu 10...25 % decît ale betoanelor martor. Se remarcă în mod deosebit betoanele preparate cu agregate calcaroase (B.M.2 și E.2) și cu un consum de ciment redus cu 20 kg/m³, unde rezistențele mecanice sînt cu 24 % mai mari decît ale betoanelor clasice preparate cu o cantitate de lian' mai mare (360 kg/m³), ca etapele ne diminuează consumul de ciment cu 20 kg/m³ paralel cu obținerea unor sporuri importante ale rezistențelor mecanice aferente betoanelor;

- sporurile de rezistență se datoresc faptului că aditivul ADEX imprimă sistemului liant-rocă o adezivitate mai mare la suprafața de contact, influență ce a fost verificată și va fi prezentată în unul din paragrafele următoare.

Din experiență proprie s-a constatat că este foarte important ca de fiecare dată cînd se procedează la utilizarea produsului ADEX, să se stabilească proporția optimă de aditiv pe bază de încercări experimentale în laborator.

3.3.2. Apa.

Apa necesară fabricării betoanelor de ciment rutiere trebuie să fie satisfăcătoare atît cantitativ cît și calitativ, calitatea apei putînd să influențeze caracteristicile betonului.

Se impune ca sărurile dizolvate în apă să fie sub 1 g/L.

din care mai puțin de 0,5 g clorură de calciu, iar conținutul de apă în suspensie trebuie să fie sub 0,5 g/L /88/.

Apa, în condițiile de calitate impuse, considerată prin raportul A/C, are o influență esențială asupra caracteristicilor structurale ale betoanelor. Această influență se manifestă atât prin modificările de comportare reologică a betonului proaspăt și, prin aceasta, de stabilitate și capacitate a sa de punere în operă, cu consecințe asupra omogenității și capacității structurale a betonului întărit, cât și prin modificările în structura de pori a matricei (volum total, distribuție, caracteristici dimensionale și de formă) /119/.

Apa trebuie să asigure, în primul rând hidratarea cimentului, dar aceasta nu asigură, în același timp, o bună lucrabilitate a betoanelor. O cantitate insuficientă de apă conduce la amestecuri de beton, vîrtoase și necoezive, deci puțin lucrabile; o astfel de comportare determină obținerea unor betoane întărite cu structură neomogenă, atât sub aspectul compactității, cât și al coeziunii sale. Un exces mare de apă poate provoca segregări și stratificări, de asemenea cu efecte negative asupra caracteristicilor structurale ale betonului întărit, ca urmare se impune stabilirea, pentru fiecare tip de beton, o anumită valoare optimă a raportului A/C.

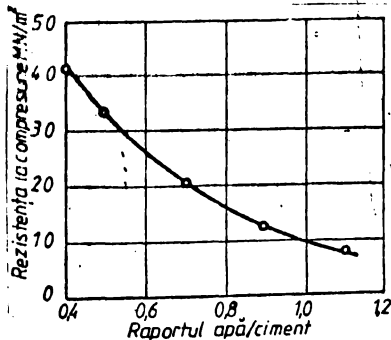


Fig. 3.15. Relația dintre rezistența la 7 zile și raportul A/C la un beton.

În practică, raportul A/C este cel mai important element care determină rezistența unui beton bine compactat /79/, în fig. 3.15 fiind dat un exemplu de modul cum influențează raportul A/C rezistența la compresiune a betonului.

3.4. DURABILITATEA BETOANELOR DE CIMENT RUTIERE.

Pornind de la faptul că durabilitatea betonului este capacitatea acestuia de a îndeplini funcțiile pentru care a fost proiectat, păstrându-și caracteristicile sub influența factorilor externi defavorabili și a modificărilor sale interne în cursul exploatării normale, într-o lungă perioadă de timp, rezultă că durabilitatea unei îmbrăcămînți rutiere din

beton de ciment reprezintă o caracteristică complexă, fiind determinată de conlucrarea dintre materialele diferite, de tipul de structură ales prin proiectare.

Realizarea unui beton durabil impune unele exigențe tehnice privind proprietățile mecanice, fizice și chimice ale betonului, care pot fi asigurate prin creșterea performanțelor acestuia.

Dar un beton de ciment rutier durabil, este nu numai al marilor performanțe fizico-mecanice ci, în primul rând, este betonul ale cărui caracteristici sînt în concordanță cu cerințele impuse de exploatarea unei îmbrăcămînți rutiere.

Cunoașterea proprietăților mecanice ale betonului a făcut pe plan mondial, mari progrese, dar betonul are caracteristici încă nelămurite complet privind natura rezistențelor mecanice, mecanismul deformațiilor, care sînt mult mai decisive decît la alte materiale și în cazul căruia factorul timp are o mare influență, chiar la încărcări mici, datorită particularităților de compoziție și caracterului său evolutiv /79/.

Pentru betoane, rezistența la compresiune este o caracteristică esențială, dar sub aspectul durabilității, o deosebită importanță o prezintă rezistența la oboseală (curgerea lentă, comportarea la sollicitări repetate) sub acțiunea factorilor mecanici și fizici, gelivitatea, permeabilitatea și rezistența la îngheț-dezghet.

Aprecierea durabilității betonului, în scopul proiectării și realizării ei, este o problemă complexă datorită, în primul rând, diferențelor, undori mari, între structura și proprietățile betonului realizat sau cercetat în laborator și cele ale betonului pus în operă, în care tehnologia de execuție și condițiile de exploatare au un rol esențial.

În continuare sînt prezentate studiile pe care le-am efectuat în ultimii 6 ani asupra betoanelor de ciment utilizate la executarea îmbrăcămînților rutiere (peste 60 km) precum și unele soluții noi de mărire a durabilității îmbrăcămînților rutiere din beton de ciment.

3.5. CARACTERISTICI STRUCTURALE ȘI DE COMPOZIȚIE ALE BETONULUI.

Betonul de ciment prezintă particularități care-l deosebesc de alte materiale compozite coerente obținute tot prin agregare (aglomerare și cimentare), particularități rezultate fie din modul în care matricea conlucrează cu agregatul, fie

din caracteristicile intrinseci ale matricei.

Astfel în beton are loc o conlucrare preponderent fizică între agregat și matrice, el deosebindu-se de betonul asfaltic, prin faptul că matricea sa are un caracter compozit,

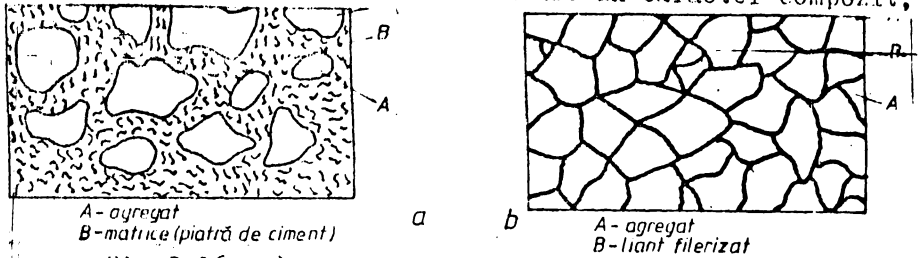


Fig.3.16. a) Structura betonului de ciment.
b) Structura betonului asfaltic.

evolativ din punct de vedere chimic; ca urmare, transformările ce se petrec în matricea betonului pe durata întăririi, au o influență determinată asupra realizării structurii betonului și asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale acestuia, în timp ce în betonul asfaltic fenomenele de suprafață și de frecare interioară au rolul hotărâtor (agregatele fiind legate prin intermediul bitumului) /108/.

Din punct de vedere macroscopic, structura pietrei de ciment se deosebește de a celei din beton, datorită condițiilor diferite de punere în lucrare a betonului. Astfel, în pasta de ciment pură, cantitatea de apă necesară, dictată de necesitatea obținerii unei paste de consistență normală, presupune un raport $A/C = 0,25 \dots 0,30$, dar pentru a obține o bună lucrabilitate betonul se prepară corespunzător unor valori mai mari ale raportului A/C ; agregatele trebuie să fie bine înmezite, ceea ce impune o cantitate sporită de apă, cu atât mai mare cu cât conținutul de agregat fin este mai mare /79/.

Apare astfel o cantitate de apă suplimentară față de cea strict necesară procesului de hidratare-hidroliză a cimentului, cu consecințe asupra caracteristicilor structurale ale matricei betonului, precum și ale betonului în ansamblu /106/.

Structura betonului influențează proprietățile fizico-mecanice ale acestuia prin gradul său de uniformitate și compactitate, dar formarea structurii betonului poate fi dirijată pe baza cunoașterii proceselor fizico-chimice care se petrec în timpul întăririi, prin materiile prime folosite și raportul cantitativ care se stabilește între ele, prin modul de punere în operă și de tratare a betonului proaspăt, prin

folosirea unor adaosuri și a aditivilor.

Procesele fizico-chimice care au loc în sistemul ciment portland-apă sînt deosebit de complexe datorită caracterului multicomponent al liantului; fiecare din componenții mineralogici ai cimentului interacționează cu apa în mod diferit, procesele care au loc influențîndu-se reciproc /106/.

Cimentul portland fiind un liant silicatic, hidratarea-hidroliza silicaților de calciu are rol esențial în procesul de întărire a liantului, iar dintre cei doi silicați de calciu constituenți ai cimentului (silicatul tricalcic și silicatul dicalcic), silicatul tricalcic prezintă în raport cu apa, o reactivitate de hidroliză mai ridicată /119/.

3.5.1. Structura betonului

Betonul ca un material compozit, suportă influența asupra caracteristicilor sale, atît din partea proprietăților celor doi constituenți, cît și datorită interacțiunii matrice-agregat. Interacțiunea matrice-agregat face ca structura betonului să nu reprezinte imaginea însumată a structurii celor doi constituenți; această interacțiune trebuie privită în evoluția sa, la început manifestîndu-se între pasta de ciment și agregat, influențînd asupra caracteristicilor betonului proaspăt, apoi între piatra de ciment întărit și agregat, a căror adeziune are un rol esențial în determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale betonului /98/.

Așa cum s-a arătat mai înainte, prezența agregatului în masa betonului, face ca raportul A/C să fie mai mare decît la prepararea pastelor de ciment pure, rezultînd o cantitate de apă suplimentară, cu următoarele consecințe mai importante /119/:

a) favorizează eterogenitatea structurală a betonului, ajungînd pînă la fenomene de segregare (fig.3.17).

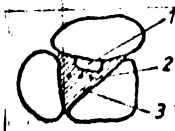


Fig.3.17. Tăierea betonului în celule de structură. 1-por capilar; 2-por în piatră de ciment; 3-piatră de ciment.

b) micșorează capacitatea betonului, prin pierderea apei în timpul întăririi.

După Skramtaev /106/, suplimentarea de apă oscilează în limite largi, nu numai funcțiile de fracționare de agregat considerat ci și în raport cu proveniența și natura agregatului.

Se influențează comportarea reologică a betonului proaspăt prin adsorbția pe suprafața granulelor de agregat, determinând astfel o creștere a dimensiunilor acestora și duce la concentrației agregatelor în amestecul de beton; în consecință crește și viscozitatea amestecului conform relației lui Gutmann /106/, dată pentru betoane:

$$\gamma = \gamma_0(1 + 2,5 A + 14,1 A^2) \quad (3.2)$$

în care: γ este viscozitatea mediului dispersant;

$A = A_0 + 0,8a_a$ - concentrația masică a agregatului în amestecul de beton;

A_0 - concentrația masică a agregatului fără considerarea apei adsorbite;

a_a - apa adsorbită de către agregat.

Influența apei adsorbite asupra stabilității reologice, a omogenității și compactității structurale, cum și asupra adeziunii agregat-matrice, determină în ultimă fază, modificări ale proprietăților tehnice ale betonului întărit, ale rezistențelor mecanice în particular.

Această influență a naturii agregatului se evaluează prin valoarea rezistenței mecanice relative, comparativ cu un beton etalon (R_{rel}); ea nu are loc numai prin intermediul apei adsorbite, ci și prin natura suprafeței agregatului, a formei și granulozității acestuia /119/.

În tabelul 3.16 se prezintă după Gutmann /106/, alături de valoarea rezistențelor mecanice relative (R_{rel}) pentru betoane obținute din agregate diferite, și coeficientul K_1 , caracteristic comportării amestecului proaspăt de beton sub aspectul lucrabilității.

Tabelul 3.16. Coeficientul de lucrabilitate (K_1)

Tipul agregatului	R_{rel}	K_1
Pietriș natural	1,0	1,0
Calcar concasat	1,23	0,82
Pietriș natural	1,05	0,98
Pietriș concasat	1,13	1,03

Se observă o creștere mare a rezistenței betoanelor cu calcar concasat în raport cu cele preparate cu pietriș natural sau chiar cu pietriș natural concasat, aspect demonstrat și prin rezultatele experimentărilor prezentate în cap. II, betoane de ciment

rutiere preparate cu agregate de natură calcaroasă de la cariera C. Dalcbvicu, jud. Caraș-Severin.

Pentru evitarea fenomenelor de diminuare a compactității

ții și de acceptare a eterogenității structurale, se impune asigurarea unei bune amestecări a betonului proaspăt și a unor valori ale raportului A/C cât mai mici, păstrându-se o mobilitate și o stabilitate corespunzătoare a amestecului, prin utilizarea unor metode energice de compactare și așa cum am demonstrat în paragraful 3.3.3.1., prin folosirea aditivilor superplastifianți: VIMO-11 și ADEX, în proporțiile stabilite.

3.5.1.1. Adeziunea matricei cu agregatele.

Formarea și dezvoltarea structurii matricei este însoțită de realizarea conlucrării (adeziunii) dintre piatra de ciment și agregat, prin formarea așa numitului "strat de contact".

Intensitatea adeziunii între matrice și agregat influențează într-o măsură esențială rezistențele mecanice, omogenitatea și compactitatea structurală a betonului, durabilitatea acestuia.

Adeziunea se poate realiza printr-o ancorare mecanică a liantului în rugozitățile unei suprafețe curate; inițial betonul proaspăt umple toate microalveolele a căror existență

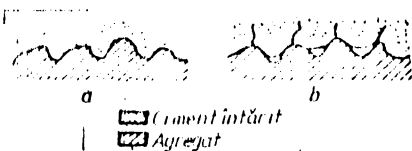


Fig.3.18.Aderența între piatra de ciment și agregat.
a- structura betonului proaspăt;
b-structura betonului după contracție.

este determinată de rugozitatea agregatelor (fig.3.18,a); în timp, pe măsură ce se manifestă fenomenul de contracție are loc o parțială detașare a matricei de agregat (fig.3.18,b), apărând totodată, fisuri perpendiculare pe suprafața agregatului, continuând rugozitățile; în afara

rugozității, o mare importanță o are, pentru realizarea adeziunii pe această cale, porozitatea deschisă a agregatelor.

De asemenea, adeziunea se poate realiza când au loc fenomene rituale cauzate de contracții, cu dezvoltarea unor legături agregat matrice, formându-se interfețe coerente sau semicoerente /106/.

Deci, adeziunea matrice agregat depinde esențial de stabilitatea reologică a amestecului de beton proaspăt, de natura agregatului și a pietrei de ciment, ea decrescând cu raportul A/C și odată cu accentuarea tendinței de segregare (scă-

area coeziunii) a betonului proaspăt.

Pentru a se demonstra faptul că adeziunea variază cu natura mineralogică a agregatului, s-a măsurat adeziunea prin tracțiune la betoane preparate cu diferite agregate (tabelul 3.17).

Tabelul 3.17. Aderiunea matrice-agregat

Natura agregatului	Porozitate %	Aderiunea prin tracțiune la 14 zile; daN/cm ²
Grăsii	2,7	12,4
Granit concasat	2,5	13,7
Calcar concasat	2,7	18,2

Se constată că piatra de ciment prezintă o adeziune mai bună la agregatul provenit din calcar concasat, decât cel provenit

din concasarea granitului.

Asigurarea unei adeziuni ridicate conduce la o durabilitate mai bună a betonului, pentru că în procesul de îmbătrânire a betonului, adeziunea matrice-agregat va fi prima care va ceda eforturilor de tensiune care apar în volumul betonului, determinate de variațiile de volum din matrice /lo8/.

Rezultatele obținute pe cale experimentală cu aditivul ADIX, atât asupra betoanelor preparate cu agregate de blas-tieră cât și cu agregate de natură calcaroasă (v.p.3.3.3.1), demonstrează influența favorabilă a acestui superplastifiant asupra durabilității îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment executate cu betoanele experimentale.

Structura betoanelor este determinată de natura (calitatea) și dozajul constituenților: ciment, agregate, apă și aditivi, ca factori intrinseci de influențare a sa, dar, o importanță deosebită o au, în realizarea structurii betoanelor și factorii extrinseci: cum sînt: condițiile de preparare, de punere în operă și de întărire a betoanelor.

3.6. POROZITATEA ȘI PERMEABILITATEA BETONULUI

Betonul este un material cu o structură dispers poroasă ale cărei proprietăți fizico-mecanice sînt determinate în mare măsură de porozitatea sa. Însăși structura betonului este legată de structura spațiului poros, care determină în mare măsură proprietățile fizico-mecanice și durabilitatea betonului /lo6/.

Ținînd seama de influența porilor asupra proprietăților

...nice ale betoanelor, s-a făcut o clasificare simplificată a /79/:

- pori de gel - cu dimensiuni de regulă sub 100 Å, greu permeabili pentru apa lichidă;

- pori capilari (Pc) cu dimensiuni mai mari de 100 Å, cu permeabilități hotărâtoare asupra caracteristicilor betonului; pe parcursul întăririi cimentului se umplu parțial cu noile produse de hidratare;

- pori sferici rezultați fie la amestecarea betonului (aer oclus), fie la folosirea antrenorilor de aer; dimensiunea medie a bulelor de aer antrenat este cuprinsă între 50 și 100 μm.

Pori cu dimensiuni mai mari de 200 μm aparțin defectelor de structură, iar volumul lor trebuie să fie limitat într-un beton bine alcătuit și compact.

Porozitatea betonului se poate determina prin diferite metode bazate pe adsorbție și condensare capilară, în funcție de dimensiunile porilor, dar și pe bază de calcul, în funcție de compoziția lui și de caracteristicile componentelor /119/:

$$P_B = P_p V_p + P_A(1 - V_p) \quad (3.3)$$

unde: P_B - este porozitatea cimentului întărit (în beton);

V_p - proporția volumică a pastei;

P_A - porozitatea agregatelor.

În fig. 3.19 sînt prezentate rezultatele cercetărilor făcute de Haynes asupra porozității unor materiale de construc-

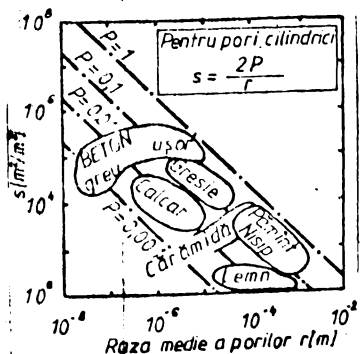


Fig. 3.19. Caracteristici de porozitate ale unor materiale de construcții anorganice.

ții; se redau sub forma graficului de dependență între suprafața specifică a porilor s (cm²/cm³) și raza medie a porilor r (m), pentru diferite valori ale porozității, P /123/.

Din examinarea graficului rezultă că betonul greu are o porozitate care variază în limite largi, dar caracterizată prin dimensiuni mici ale porilor, în comparație chiar cu a rocilor (calcar) care se pot utiliza ca

agregate în compoziția betonului.

Gradul ridicat de impermeabilitate al betoanelor de ci-

ment rutiere, este o condiție hotărâtoare a durabilității imbrăcăminților rutiere din beton de ciment, în condițiile asigurării pentru beton a unor rezistențe mecanice corespunzătoare.

S-au efectuat multiple cercetări pentru a stabili relații între porozitatea și permeabilitatea betonului. Teoria lui Kozeny (general acceptată), modelează betonul ca un mediu poros format din canale cu lungimi diferite și secțiuni variabile, în care coeficientul de permeabilitate k este legat de porozitatea P , pe suprafața specifică a porilor s și sinuozitatea z , prin relația:

$$k = b \frac{P}{z s^2} \quad (3.4)$$

în care: b - este un coeficient care variază după forma și secțiunea canalelor (fiind 0,5 pentru secțiunea circulară și 0,16 pentru secțiunea dreptunghiulară).

Permeabilitatea betonului este rezultatul porozității cimentului, a agregatelor și a existenței zonei de contact dintre ciment și agregat.

La cimentul întărit, permeabilitatea este în primul rând în funcție de raportul A/C.

Compoziția mineralogică, finețea de măcinare, gradul de hidratare influențează atât porozitatea totală, cât mai ales raportul și distribuția porozității /119/.

S-a demonstrat /106, 107/ că pentru același grad de compactare, cimenturile mai bogate în silicați de calciu au o permeabilitate mai scăzută, cu cât crește raportul C_2S/C_3S .

Cimenturile bogate în aluminat tricalcic formează structuri mai grosiere și mai poroase, măbind permeabilitatea.

Granulozitatea cimentului are un rol însemnat asupra permeabilității pastelor de ciment întărite /138, 141/, așa cum rezultă din tabelul 3.18, pentru pasta de ciment portland

Tabelul 3.18. Permeabilitatea diferitelor paste de ciment.

Ciment	Conținutul de particule (%)				Coeficientul de permeabilitate k (cm/s)
	$< 5 \mu m$	5...30 μm	30...60 μm	$> 60 \mu m$	
P ₁	30	55	10	5	$2,5 \cdot 10^{-11}$
P ₂	21	69	9	1	$0,5 \cdot 10^{-11}$
P ₃	12	45	28	15	$8,5 \cdot 10^{-11}$

cu raportul A/C = 0,40 după o păstrare umedă pînă la vîrsta de 28 zile. Scăderea permeabilității în timp (de la $2 \cdot 10^{-4}$ pentru amestecul de beton proaspăt la $6 \cdot 10^{-12}$ pentru betonul întărit), ca rezultat al proceselor de hidratare-hidroliză a cimentului, decurge favorabil numai în condiții de umiditate asigurată și în lipsa procesului de fisurare.

Procesul de autocompactare, este continuu în timp, ritmul foarte pronunțat pînă la vîrsta de 90 zile, după care decurge cu o viteză foarte lentă /16,80/.

Agregatele pot influența permeabilitatea betonului prin propria lor permeabilitate, prin granulozitate și prin adeziunea lor cu cimentul. Permeabilitatea agregatelor este în funcție de mărimea porozității lor și de natura acestora /80/.

În tabelul 3.19 se dau cîteva valori ale coeficientului de permeabilitate k, ale unor roci din care provin frecvent agregatele pentru betoane /14/.

Tabelul 3.19. Coeficientul k pentru diferite roci.

Nr. crt.	Roca	Porozitatea totală (%)	Absorbția în volum (%)	Coeficientul de permeabilitate k (cm/s)
1.	Bazalt	0,3..0,8	0,3..0,7	$(2-9) \cdot 10^{-13}$
2.	Granit	0,5..1,5	0,3..1,4	$2 \cdot 10^{-9} - 8 \cdot 10^{-10}$
3.	Granit silicosă	0,5..1,5	0,5..1,5	$15 \cdot 10^{-10} - 2 \cdot 10^{-9}$
4.	Granit	0,6..1,4	0,5..1,2	$1,2 \cdot 10^{-10} - 1 \cdot 10^{-12}$
5.	Dulcar	0,4..2,0	0,3..1,8	$2 \cdot 10^{-18} - 1,7 \cdot 10^{-17}$

În general permeabilitatea agregatelor existente în compoziția betonului diferă de cea determinată pe rocă, în primul rînd ca urmare a adeziunii cimentului pe suprafața agregatului.

Permeabilitatea betonului depinde de permeabilitatea componentilor și de proporția volumică a acestora.

De exemplu, cimentul întărit influențează permeabilitatea betonului prin caracteristicile sale structurale și prin dozaj, iar sporirea dozajului în ciment îmbunătățește gradul de impermeabilitate, (dar cu respectarea condiției de a se evita fisurarea) așa cum rezultă din tabelul 3.20, în care sînt prezentate rezultatele pe care le-am obținut pentru betoane preparate cu agregate diferite și cu doze de ciment diferite.

Tabelul 3.20. Permeabilitatea diferitelor tipuri de betoane

Natura cimentului	Dozaj ciment kg/m ³	A/C	Aditiv DIBAN	Natura agregatelor	Adâncimea de pătrundere de apă, (cm) la p = 12 atm.
Pa 35	340	0,48	-	Balastieră Calcar C.D.	7,5 7,1
	340	0,45	0,2	Balastieră Calcar C.D.	5,9 4,0
Pa 35	360	0,44	-	Balastieră Calcar C.D.	6,2 2,6
	360	0,44	0,2	Balastieră Calcar C.D.	4,1 1,2
Pa 35	400	0,40	-	Balastieră Calcar C.D.	4,3 1,0

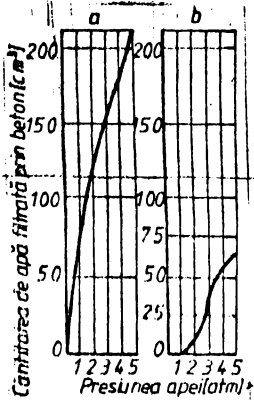
Betoanele cu agregate calcareoase provenite de la cariera Constantin Daicoviciu (C.D.), au avut un grad de impermeabilitate mai ridicat decât cele cu agregate de balastieră. Se observă că la creșterea dozajului de ciment, influența agregatului se manifestă mult mai puțin asupra gradului de impermeabilitate al betonului. Îmbunătățirea gradului de impermeabilitate la creșterea dozajului de ciment se datorează în primul rând micșorării raportului A/C, fapt care are ca urmare micșorarea porozității capilare.

Natura mineralogică a agregatului poate influența gradul de impermeabilitate al betonului în mai mare măsură decât sînt influențate rezistențele mecanice /14/.

Astfel, agregatele calcareoase pot îmbunătăți adeziunea cu cimentul prin fenomen de epitaxie cu consecințe favorabile asupra impermeabilității, așa cum rezultă și din tabelul 3.20.

În fig. 3.20 sînt prezentate rezultatele obținute de Sestoperov, privind permeabilitatea unor betoane (epruvete cilindrice cu $\phi = 15$ cm; $l = 30$ cm), cu dozajul de 250 kg/m^3 , raportul A/C = 0,70, betoanele avînd aceeași consistență, dar utilizînd ca agregat mare: granit-silicioasă (concasată), calcare; diferențele mari în permeabilitatea betoanelor cercetate, sînt atribuite îmbunătățirii adeziunii dintre ciment și agregatele calcareoase /117/.

Raportul A/C, în limitele compozițiilor normale, are cea mai mare influență asupra permeabilității betonului /116; 117/.



a - beton cu agregat din gresie silicioasă concasată; $K=2,02 \cdot 10^{-6}$ cm/s;
b - beton cu agregat din calcar; $k=0,61 \cdot 10^{-6}$ cm/s.

Orice exces de apă, peste cel necesar hidratării cimentului și lucrabilității betonului, mărește permeabilitatea întrucât sporește porozitatea capilară și volumul macroporilor, cu consecințe directe asupra permeabilității, așa cum rezultă din datele obținute de Bojenov și prezentate în graficul din fig. 3.21 /12/.

Fig. 3.20. Influența naturii mineralogice a agregatului asupra permeabilității betonului.

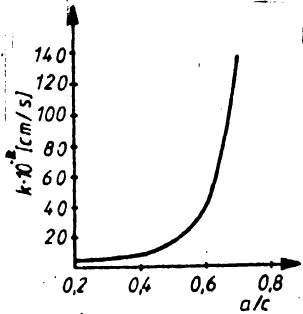


Fig. 3.21. Influența raportului A/C asupra coeficientului de permeabilitate al betonului.

Cercetări pe care le-am efectuat asupra unor betoane cu compoziții diferite au dus la concluzia că, pentru o anumită compoziție de beton, creșterea tasării betonului de la 2 cm la la 8 cm, prin sporirea raportului A/C, a determinat o creștere a permeabilității de 5...14 ori.

nului, așa cum am demonstrat și prin experimentările cu ADEX și VIMC-11.

Rezultă că folosirea aditivilor, în special a superplasticizantilor, este un mijloc simplu și eficient de sporire a gradului de impermeabilitate a beto-

3.6.1. O nouă metodă de sporire a impermeabilității și durabilității ambrazamentelor rutiere din beton de ciment.

Este cunoscut faptul că betonul manifestă contracție atât în stare proaspătă, cât și după întărire.

Fenomenul de contracție plastică specific betonului în stare proaspătă, se manifestă după 0,5...2 ore de la preparare, până la încheierea prizei cimentului, stabilizându-se.

odată cu modificarea proprietăților reologice ale betonului, datorită hidratării și prizei cimentului /31/.

În condițiile de conservare în atmosferă, caz specific îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, contracția plastică crește sensibil (pînă la valori de aproximativ $4 \cdot 10^{-3}$) - fiind influențată atât de viteza de evaporare a apei, cît și de proprietățile reologice ale betonului - putînd genera fisuri și crăpături /17/.

Apariția unor fisuri nu este exclusă nici în condițiile în care evaporarea apei este împiedicată, aspect observat pe parcursul cercetărilor asupra modului de evoluție a întăririi betonului /14/.

Fenomenele de contracție și umflare reprezintă unele dintre principalele cauze ale microfisurilor betonului; microfisurile se formează în deosebi, la suprafața de separație între matrice și agregat, preexistînd solicitărilor mecanice.

În condițiile unor altermanțe frecvente și rapide de uscare și umezire, microfisurile se amplifică sensibil, propagîndu-se în matrice, pe toată grosimea acesteia dintre grănuțele de agregat /17/.

Prezența unei rețele de microfisuri la suprafața dalelor, microfisuri ce apar datorită tensiunilor generate de contracția betonului sub o formă sau alta, conduce sub acțiunea factorilor climaterici și a traficului rutier la exfolierea suprafeței betonului, defecțiune ce constituie una din formele principale de deteriorare a unei îmbrăcăminți rutiere din beton de ciment, reducîndu-i astfel durabilitatea. Sînt cunoscute o serie de metode de mărire a gradului de impermeabilitate și a rezistenței stratului superior al îmbrăcăminților din beton de ciment ca /64/:

- a) îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice ale betonului din stratul de uzură;
- b) aplicarea unor straturi de protecție din materiale adhezive;
- c) tratarea suprafeței betonului cu săruri ale acidului fluosilicic (fluazi).

Prima metodă (a) nu s-a răspîndit în sectorul de drumuri datorită consumului ridicat de ciment și lipsei unor echipamente cu productivitate înaltă, produse în serie.

Metoda acoperirii betonului cu straturi adhezive realizate pe bază de polimeri (b), oferă rezultate bune în compara-

ție cu alte metode, dar prezintă un preț de cost foarte ridicat /8/.

Colmatarea prin fluatare (c) a suprafeței îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, este o metodă mai accesibilă, dar aplicarea ei este reținută datorită lipsei unei producții industriale a fluaților și a costului lor relativ ridicat /64/.

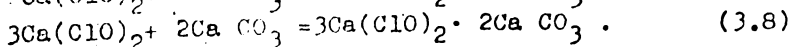
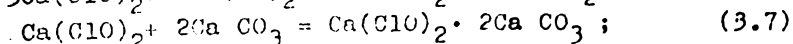
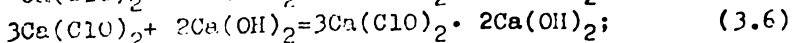
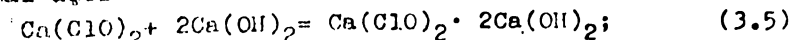
În colaborare cu Facultatea de Chimie din cadrul Institutului Politehnic Traian Vuia din Timișoara și Catedra de Drumuri, fundații și instalații în construcții (contract 142/67) din cadrul Facultății de Construcții din Timișoara, doctorandul a procedat la fundamentarea teoretică și experimentarea unui nou produs destinat impregnării suprafeței îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment în scopul sporirii durabilității acestora.

Este vorba de un amestec ce conține hipoclorit de calciu, $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ și este un produs cu degeu al industriei clorului și de prelucrare a clorului și se obține din clorul electrolitic și din gazele evacuate ale producțiilor utilizatoare de clor prin adsorbirea lor de către laptele de var.

Produsul conține în compoziția sa hipoclorit de calciu și în suspensie, impurități de hidroxid de calciu și carbonat de calciu, de oxizi de siliciu, magneziu și aluminiu.

Componentul principal de colmatare al microfisurilor și fisurilor din beton, este hipocloritul de calciu care conține clor activ /64/.

Hidroxidul și carbonatul de calciu liberi aflați în piatra de ciment și în amestecul de hipoclorit de calciu, interacționează cu hipocloritul de calciu formând săruri complexe mai ușor sau mai greu solubile:



La impregnarea straturii superioare al betonului de ciment rutier cu această compoziție, are loc un proces de colmatare a porilor și microfisurilor, lipirea lor cu produsele de reacție, care se cristalizează în interspațiile acestor "defecțiuni" de suprafață ale structurii betonului, formând în final, un schelet mineral, de etanșare și de întărire a structurii betonului de la suprafața îmbrăcămintei.

S-a experimentat pe D.N. 6 Caransebeș-Slatina Timiș, km 444+600-444+650, aplicându-se următoarea tehnologie.

După ce a avut loc procesul de întărire a betonului din îmbrăcăminte (circa 28 zile), deci după apariția la suprafața dalelor a rețelei de microfisuri sau fisuri, ca urmare a fenomenelor de contracție, am procedat la o primă stropire omogenă cu soluție de hipoclorit de calciu în cantitate de 1,1...1,2 L/m², la un conținut de clor activ de 3 %. La un interval de 5...6 ore după efectuarea primei stropiri, s-a procedat la cea de a doua stropire, cu soluție, în același dozaj și cu aceeași concentrație de clor activ (3 %).

Se menționează faptul că înainte de efectuarea primei stropiri, suprafața betonului s-a curățat, iar pe întreaga durată a celor două stropiri, s-a interzis desfășurarea traficului rutier pe suprafața împregnată.

La un an de la efectuarea primelor două stropiri, deci după ce s-a încheiat practic procesul de întărire a betonului, am procedat la o nouă curățire a suprafeței îmbrăcămintei și la efectuarea celei de a treia stropiri și ultima, în condițiile prezentate anterior.

Pentru stabilirea influenței produsului realizat pe bază de hipoclorit de calciu, asupra rezistențelor mecanice ale stratului de beton de la suprafața dalei, s-au prelevat 4 serii a câte 3 probe, din beton B 400, preparat cu agregate de balastieră și ciment P 40, probe ce au fost păstrate în condiții normale de întărire timp de 28 zile, după care, 3 serii au fost tratate cu soluție de hipoclorit de calciu (1,2 L/m²) cu un conținut de clor activ diferențiat (2,3 și 4 %), o serie rămânând netratată. Au fost făcute încercări la compresiune cu sclerometrul, la vârsta de o zi după tratare și la 360 zile, rezultatele sînt prezentate în tabelul 3.21.

S-a apelat la determinarea rezistenței la compresiune cu metoda de recul, ținînd cont de legătura care există între rezistența betonului și duritatea acestuia.

~~Metoda furnizează informații privitoare la un strat relativ subțire de la suprafața betonului.~~

Din rezultatele obținute, se observă că rezistența la compresiune a betonului de ciment rutier, după tratarea cu soluție de hipoclorit de calciu, a crescut substanțial; cu 14...31 % la vârsta de o zi, după primele două stropiri.

Tabelul 3.21. Rezistența la compresiune a betoanelor de ciment, rutiere tratate cu $\text{Ca}(\text{ClO})_2$.

Seria	Marca betonului	$\text{Ca}(\text{ClO})_2$ L/m ²	% clor activ			R_0 medie (daN/cm ²)	
			2	3	4	1 si	360 zile
0	B 400	-	-	-	-	410	428
1	B 400	1,2	Da	-	-	465	442
2	B 400	1,2	-	Da	-	490	451
3	B 400	1,2	-	-	Da	476	435

După un an, rezistența la suprafața betonului s-a mai redus, rămânând totuși semnificativ mai mare decât a betonului netratat. Cele mai bune rezultate s-a obținut pentru o concentrație de clor activ de 3 %.

Metoda în sine a constituit subiectul unui dosar de invenție și a fost depus pentru brevetare în anul 1989, la OSIM București cu numărul oll/21 noiembrie.

3.7. DEFORMAȚIILE BETONULUI

Suprafața de separație dintre matrice și agregat, deși este o zonă cu volum redus, consider că are o influență însemnată asupra comportării betonului la solicitări. Comportarea mecanică a betonului este determinată atât de și natura solicitării, cât și de proprietățile componentelor și de microstructura suprafeței de separație /43/.

Modulul de compresibilitate K:

$$K = \frac{E}{3(1-2\mu)} \quad (3.5)$$

și modulul de elasticitate E al materialului compozit sînt determinate de modulele de compresibilitate și de elasticitate ale matricei (K_m , E_m) și ale agregatului (K_a , E_a):

$$K_m = \frac{E_m}{3(1-2\mu_m)} \quad \text{și} \quad K_a = \frac{E_a}{3(1-2\mu_a)} \quad (3.6)$$

fiind totodată influențate de evoluția microstructurii suprafeței de separație cu creșterea solicitării (μ este coeficientul lui Poisson).

Structura betonului întărit are un caracter microfisurat, preexistent solicitărilor exterioare; starea inițială de microfisurare se datorește eforturilor care iau naștere în matrice și în deosebi, la suprafața de separație matrice-agregat,

generate de hidratarea cimentului și contractia, sub o formă sau alta a betonului /25/, /26/.

3.7.1. Contractia plastică

În cazul îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, contractia plastică a betonului, caracterizată prin reducerea volumului sistemului ciment-apă datorită legării apei prin absorbție cât și consumării ei în procesele de hidratare, necesită o atenție deosebită datorită faptului că dala de beton face parte din categoria elementelor subțiri, iar contractia plastică și tendința de fisurare cresc odată cu micșorarea dimensiunii elementului de beton /123/.

Pierderea apei prin evaporare la suprafața dalei din beton, ori prin suucțiune de către materialele cu care vine în contact, amplifică contractia betonului. Ca efect al evaporării apei, suprafața expusă a dalei începe să se usuce și între granule-mobile în betonul proaspăt - iau naștere forțe de atracție capilară (fig. 3.22) /137/.

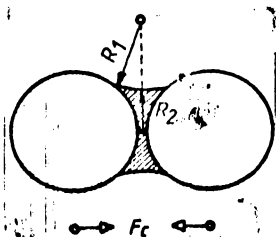


Fig. 3.22. Coeziunea capilară.

Contractia plastică - care însoțește evaporarea apei din beton - este efectul solicitării la compresiune generată de presiunea capilară p_c , a cărei valoare maximă rezultă din expresia /119/:

$$p_c = \frac{\delta \cdot A_s \cdot \rho_a \cdot \rho_c}{A/C} \quad (3.7)$$

în care δ reprezintă tensiunea superficială a apei, A_s - suprafața specifică a cimentului, ρ_a și ρ_c - densitățile apei și cimentului, A/C - raportul apă-ciment.

După Neville /79/, contractia plastică a unui beton cu un dozaj de ciment de 360 kg/m^3 , păstrat în aer la 20°C și 50 % umiditate relativă, are următoarele valori: $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m}$ la vârsta de 1 oră; $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m}$ la 2 ore și $1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m}$ la 4 ore, după care nu se mai dezvoltă.

Una din problemele apărute în fața specialiștilor din producție, în ultimii ani, este aceea a fisurării unor dale de beton, la un interval de câteva ore (3...5) după turnarea betonului, fisuri înclinate la circa 45° față de axa drumului, prezența lor provocând următoarele neajunsuri pentru compor-

tarea în exploatare a îmbrăcămintei rutiere:

- reducerea capacității portante a dalelor din beton prin micșorarea rigidității acestora;

~~- scăderea durabilității îmbrăcămintei din beton de ciment, ca urmare a efectului nefavorabil al îngheț-dezghețului asupra betonului din dală.~~

În anul 1984, cu ocazia executării lucrărilor de reînfrumusețare pe D.N. 58 Caransebeș-Reșița, a apărut acest fenomen de fisurare "timpurie" a unor dale, imediat după așternerea și vibrarea betonului, ca atare, în colaborare cu Catedra de beton armat, din cadrul Facultății de construcții din Timișoara, am procedat la un studiu atent al lor și am ajuns la concluzia că apariția acestor fisuri se datorește contracției plastice a betonului și prizei false a cimentului.

Termenul de "priză falsă" indică o întărire prematură a cimentului, în câteva minute de la amestecarea cu apă. Priza falsă diferă de priza rapidă prin faptul că nu este însoțită de o degajare de căldură importantă; reamestecarea pastei de ciment fără adaos de apă restabilește plasticitatea pastei pînă cînd se produce o priză normală, fără o scădere a rezistenței /17/.

Urmare studiilor de laborator, am ajuns la concluzia că principalele cauze posibile ale prizei false a cimentului sînt:

- deshidratarea gipsului adăugat pentru reglarea timpului de priză, cînd acesta se macină cu un clincher prea fierbinte, iar componentii rezultați la amestecarea cu apă, au o priză rapidă, specifică lor;

- formarea în timpul depozitării cimentului a CaCO_3 , care la amestecarea cu apă, precipită și provoacă o întărire rapidă a pastei;

- hidratarea rapidă a silicaturii tricalcice (C_3S), activat prin aerare în condițiile unei umidități relativ ridicate. Faptul că fisurile nu au apărut în toate dalele de beton turnate, a fost explicat prin aceea că nu toate loturile de ciment au avut priză falsă.

Contracția plastică, care în această situație nu mai este plastică, ci ar putea fi numită inițială, este parțial împiedicată atât de structura "rigidă" a plăcii cît și de frecarea plăcii pe suprafața de așternere (îmbrăcămintea bituminoasă existentă).

Acest fenomen de apariție a fisurilor timpurii în pe-

plouă de manifestare a contracției plastice a betonului așternut și în stare proaspătă, le-am eliminat prin luarea următoarelor măsuri:

- înainte de utilizarea oricărui lot de ciment, am determinat în laboratorul de șantier, existența sau nu, a prizei false; în cazul când cimentul a prezentat o priză falsă, pe măsura posibilităților, s-a dirijat la alte lucrări;

- dacă totuși s-a pus problema utilizării lui, am procedat (~~operațiune obligatorie~~) la reamestecarea în situ și revibrarea betonului proaspăt, fără alt adaos de apă, în acest fel procesul de priză desfășurându-se în condiții normale, fără a avea influențe negative asupra caracteristicilor betonului întărit;

În cazul când în procesul de execuție a îmbrăcămintelor rutiere din beton de ciment, nu au putut fi realizate aceste două condiții și au apărut fisuri timpurii, acestea se colmatează cu soluție de hipoclorit de calciu, după procedeul stabilit de doctorand și prezentat la paragraful 3.6.1..

Luarea măsurilor stabilite mai sus, nu presupune nerealizarea celorlalte măsuri, ce trebuie luate după așternerea betonului (protejare, tăiere rosturi contracție ș.a.).

3.7.2. Contractia la uscare

Contractia la uscare și umflarea la umezire a betonului, sînt fenomene care se datoresc interacției betonului, în particular a pietrei de ciment cu apa din pori. Contractia la uscare crește cu cantitatea de apă eliminată din beton prin evaporare, iar componenții betonului influențează contractia la uscare în mod diferit. În timp ce piatra de ciment determină manifestarea contracției la uscare, datorită interacției cu apa din pori, agregatul exercită o acțiune de frînare și de reducere a contracției /79/.

Grudemo /50/ propune următoarea expresie /3.8/ pentru contracție

$$\epsilon_{vr} = \frac{\Delta V}{V} = \frac{p}{K} \quad (3.8)$$

în care $\epsilon_{vr} = \Delta V/V$ reprezintă contracția volumică a betonului, p - presiunea negativă care ia naștere în beton în decursul procesului de uscare și K - modul de compresibilitate.

Cele două tendințe diferite, manifestate de piatra de ciment și agregat în procesul de contracție la uscare a betonului, rezultă și din examinarea expresiei contracției (3.8).

Astfel, în timp ce presiunea negativă p - rezultată în urma interacției pietrei de ciment cu apa - crește cu dozajul de ciment și cu reducerea fracțiunii volumice a agregatului, modulul de compresibilitate al betonului K crește cu conținutul de agregat, al cărui modul de compresibilitate K_a este mai mare decât al matricei K_m /59/.

Heber și Lynn /167/ au stabilit experimental că în ceea ce privește contracția la uscare a betonului - măsurată ca deformație liniară ϵ_f , variază cvasiliniar cu contracția la uscare a pietrei de ciment.

~~Raportul agregat ciment este influențat de dimensiunea maximă și de granulozitatea agregatului, precum și de lucrabilitatea betonului. Pentru același raport apă:ciment și aceeași lucrabilitate, creșterea dimensiunii maxime a agregatului, conduce la reducerea conținutului de apă și a dozajului de ciment; dimpotrivă, pentru același raport apă:ciment și la menținerea neschimbată a granulozității și dimensiunii maxime a agregatului, creșterea lucrabilității necesită mărirea cantității de apă de amestecare și a dozajului de ciment, determinând diminuarea fracțiunii volumice a agregatului.~~

Influența agregatelor asupra contracției la uscare, poate cu atât mai favorabilă cu cât acestea manifestă contracții mai reduse și prezintă module de elasticitate mai mari (v. tabelul 2.18).

Un rol important în diminuarea contracției la uscare a betonului, o are utilizarea superplastifiantilor, care, pentru același raport A/C, conduce la diminuarea cantității de apă de amestecare și a dozajului de ciment - și ca urmare - la creșterea fracțiunii volumice a agregatului A_a - deci la o scădere a contracției la uscare.

În tabelul 2.18 sînt prezentate valorile contracției la uscare pentru diferite tipuri de betoane, inclusiv cele preparate cu agregate calcareose.

Cunoașterea deformațiilor betoanelor de ciment rutiere, ca urmare a fenomenelor de contracție ce apar în perioada de întărire a betoanelor, are o importanță deosebită pentru stabilirea distanței dintre rosturile de contracție, în funcție de caracteristicile betoanelor din îmbrăcămintea rutieră, direcție în care au fost orientate studiile doctorandului.

3.7.3. Model matematic pentru determinarea distanței optime dintre rosturile de contracție în funcție de caracteristicile betonului și ale îmbrăcămintei rutiere

Porțind de la faptul că materialele componente influențează caracteristicile betonului, ca atare și distanța dintre rosturile de contracție, pentru a stabili lungimea optimă a unei dale, cercetările le-am efectuat în două direcții:

- pe cale experimentală, executând pe D.N. 6 Caranambeg-Blatina, două sectoare cu îmbrăcăminte rutieră din betoane de ciment diferite și fără rosturi de contracție, astfel:

• km 436+053-436+148 (95,0 m), din beton de ciment preparat cu agregate calcaroase;

• km 436+148-436+245 (97,0 m), din beton de ciment preparat cu agregate aluvionare;

- pe cale teoretică, studiind procesul de fisurare al unei dale beton, continuă.

Modul de fisurare al betonului după 90 zile de la turnare, pe cele două sectoare experimentale, este prezentat în anexa Nr26.

În tabelul 3.22 sînt prezentate valorile caracteristicilor geometrice și fizico-mecanice aferente îmbrăcămintilor rutiere executate și a betoanelor de ciment utilizate.

Tabelul 3.22. Caracteristicile geometrice și fizico-mecanice ale îmbrăcămintilor rutiere și ale betoanelor de ciment utilizate experimental.

Statul	Caracteristica	UM	Valori		
			B.M.	E2	E3
R_{ti}	Rezistența la întindere	N/mm ²	5,4	5,7	6,7
R_{ti}	Calculat	N/mm ²	304	356	4,02
α	greutatea specifică	N/mm ²	$2442 \cdot 10^{-5}$	$2472 \cdot 10^{-5}$	$2488 \cdot 10^{-5}$
f	coeficient de frecare	-	1,6	1,6	1,6
h	grosimea dalei	mm	200	200	200
α	coeficient dilatație	1/°C	$125 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$0,85 \cdot 10^{-5}$
Δt	gradient temperatură	°C/mm	0,08	0,08	0,08
E_b	Modul elast. beton	N/mm ²	29500	32000	36000
α	Contractia la uscare	-	$0,255 \cdot 10^{-5}$	$0,180 \cdot 10^{-5}$	$0,124 \cdot 10^{-5}$
ΔT	Diferență temperatură	°C	16	16	16
ΔX	Deschidere fisură	mm	0,3	0,3	0,3
μ	Coeficient Poisson	-	0,15	0,16	0,18
E_2	Modul de elast. al structurii	N/mm ²	3000	3000	3000
E_3	Modul de elast. al terenului	N/mm ²	100	100	100
B.M.- betoane marlor; E2, E3 - betoane cu calcar					

Am admis ipoteza că variația de temperatură între zi și noapte este de max 16 °C (specific zonei din Banat), iar gradientul de temperatură este cuprins între 0,02...0,08 mm/min/°C luându-l în calcul cu valoarea maximă.

Valoarea maximă a deschiderii unei fisuri, am acceptat-o ca 0,3 mm, conform ipotezelor din literatura de specialitate (maxim acceptabil fiind de 0,5 mm/44/,/102/).

Scopul studiului a fost de a stabili o relație de calcul privind lungimea optimă a dalelor, în cazul unei îmbrăcăminte putând realiza din betoane de ciment preparate cu agregate subțirite.

Considerând o dală de beton continuă, deci fără rosturi de contracție, fisurile transversale sînt generate în principal de acțiunea a două cauze, ce pot să apară, sau nu, simultan:

- scurtarea dalei datorită contracției betonului, atât în stare proaspătă cît și în stare întărită; această tendință de scurtare este anihilată de forțele de frecare ce apar între dala de beton și stratul suport, pe o lungime teoretică X (fig. 3.23);

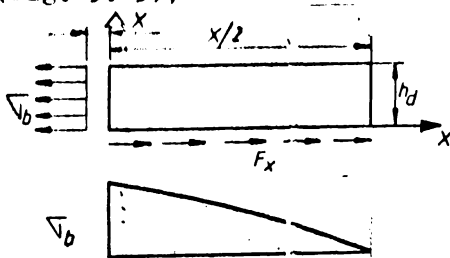


Fig.3.23.Schema forțelor pe contur și distribuția eforturilor în beton înainte de producerea primei fisuri.

- scurtarea dalei cu urmare a reducerii uniforme a temperaturii, în special în primele 30 zile de la turnare.

Raționamentul pornește de la cunoașterea relației prin care se descrie echilibrul forțelor de contracție și de rezistență la contracție (frecarea dalei cu stratul suport).

O dală de lungime X între rosturile de contracție-încovoiere se comportă ca un element simetric față de mijlocul său, dacă se admite că forțele rezistente F_x la contactul cu stratul suport se mobilizează simetric față de același punct.

Cînd se produce prima fisură în mijlocul dalei, modelul geometric își reduce lungimea la jumătate, cele două fragmente de dală comportîndu-se și ele ca elemente simetrice.

Se precizează următoarele convenții de semne:

- eforturile de întindere în beton sînt pozitive;
- forțele rezistente mobilizate între dală și fundație

În direcția x sînt pozitive;

- diferențele de temperatură ΔT sînt uniforme în lungul dalei.

Eforturile de întindere din beton, generate de forțele rezistente mobilizate la contactul dală-suport, sînt cu atît mai mari cu cît lungimea X a dalei este mai mare.

Tinînd seama de schema forțelor pe contur reprezentată în fig. 3.23, se poate scrie ecuația generală de echilibru, în cazul unei dale de lățime b :

$$\bar{\sigma}_b = \frac{1}{h} \int_0^X F(x) \cdot dx \quad (3.9)$$

în care $\bar{\sigma}_b$ este efortul unitar de întindere în secțiunea transversală de mijloc a dalei, în N/mm^2 ;

$F(x)$ - forța de frecare pe unitatea de lungime a dalei, în lungul axei longitudinale x , în N ;

$$F(x) = f_x \cdot \delta_x^* \cdot h \quad (3.10)$$

în care f_x este coeficientul de frecare aferent elementului de lungime x ;

δ_x^* - este greutatea specifică a betonului pentru elementul de dală x , în N/mm^3 ;

relația devine:

$$\bar{\sigma}_b \cdot h = f \cdot \delta^* \cdot h \cdot X \quad (3.11)$$

Ecuația de compactibilitate a deformațiilor trebuie să reflecte interacțiunea dintre contractia prin uscare și diferența de temperatură pe de o parte și forța rezistentă mobilizată între dală și suport (fundatie) pe de altă parte, în ceea ce privește eforturile care apar în beton.

Deschiderea fisurii ΔX , deci structura dalei de lungime X , cu ΔX , se determină prin relația /101/:

$$\Delta X = \frac{\bar{\sigma}_b}{E_b} X - (z + \alpha_b \Delta T) X \quad (3.12)$$

în care apar următoarele simboluri:

E_b - modulul de elasticitate al betonului, în N/mm^2 ;

z - coeficientul de contracție al betonului în mm/mm ;

X - lungimea dalei, în mm ;

α - coeficientul de dilatare termică al betonului, în $mm/mm \cdot ^\circ C$;

ΔT - variația de temperatură, în $^\circ C$.

Se admite drept criteriu de proiectare, valoarea limi-

se admite pentru deschiderea fisurii $\Delta X = 0,3 \text{ mm}$, cunoscând faptul că pe plan mondial se acceptă $\Delta X = 0,3 \dots 0,5 \text{ mm}/153,154/$, pentru primele 28 zile de la așternera betonului.

Cele două relații: 3.11 și 3.12 sînt reprezentative pentru același fenomen fizico-mecanic, pentru momentul precizat, ele conținînd două necunoscute: \sqrt{b} și X , care urmează a fi determinate în continuare.

Substituind în relația 3.12 pe \sqrt{b} din relația 3.11, se obține o ecuație de gradul doi de forma:

$$\frac{f}{b} X^2 (z + \alpha \Delta T) X - \Delta X \tau = 0 \tag{3.13}$$

avînd soluțiile de forma:

$$X_{lim 1,2} = \frac{-z + \alpha \Delta T \pm \sqrt{(z + \alpha \Delta T)^2 - 4(f \cdot \tau / E_b) \Delta X}}{2(f \cdot \tau / E_b)} \tag{3.14}$$

Înlocuind valorile parametrilor de calcul pentru cazul betonului de ciment rutier preparat cu agregate calcaroase (E_3) se obține:

$$\begin{aligned} X_{lim 1,2} &= -(0,124 \cdot 10^{-3} + 0,85 \cdot 10^{-5} \cdot (-16)) \pm \\ & \quad 0,124 \cdot 10^{-3} + 0,85 \cdot 10^{-5} \cdot (-16)^2 - \\ & \quad -4 \cdot 1,6 \cdot 2,488 \cdot 10^{-5} \cdot (-0,3) / 36 \text{ 000}^{0,5} \cdot \\ & \quad \cdot (2 \cdot 1,6 \cdot 2,488 \cdot 10^{-5} / 36 \text{ 000})^{-1} \end{aligned} \tag{3.15}$$

După efectuarea calculelor rezultă $X_{lim 1} = 11 \text{ 916 mm}$; cea de a doua soluție a ecuației de gradul doi nu are semnificație geometrică și fizico-mecanică.

Refăcînd calculul pentru sectorul experimental realizat cu beton de clasă (B.M.), a rezultat $X_{lim} = 708 \text{ mm}$.

Confruntînd lungimea limită a dalelor (X_{lim}) rezultată din calcul, cu distanțele dintre fisurile apărute pe sectoarele experimentale realizate fără rosturi de contracție (v.anexa 2.6), se constată validarea modelului teoretic. La sectorul cu calcar, fisurile au apărut la distanțe variabile cuprinse între 11,0 și 20,0 m, iar la sectorul marțor fisurile au apărut între 5,0 și 7,0 m. Pe sectoarele unde au fost tăiate rosturile de contracție la 6,0 m, nu au apărut fisuri. Deci pentru îmbrăcămintele rutiere din beton de ciment preparate cu agregate calcaroase provenite de la cariera C. Daicoviciu, județul Caraș-Severin, lungimea minimă a dalelor este 12,0 m.

Mărirea distanțelor dintre rosturile de contracție la îmbrăcămintele rutiere realizate din beton de ciment preparate cu agregate calcaroase, atrage după sine avantaje tehnico-economice deosebite, cu influență directă asupra fiabilității lor.

Rosturile de contracție constituie puncte sensibile la o îmbrăcăminte din beton de ciment, iar reducerea lor cu 50 % determină o diminuare tot cu 50 % atât a cheltuielilor de execuție cât și de întreținere a lor.

Bibliografia de specialitate cât și instrucțiunile și normativele tehnice de proiectare și execuție a îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment, oferă indicații privind limitarea variației caracteristicilor betoanelor de ciment rutiere /140/.

În baza modelului teoretic prezentat, s-au verificat influențele pe care le pot produce asupra lungimii optime a dalelor de beton de ciment, variațiile de $\pm 10\%$ ale valorilor parametrilor de calcul în cazul structurilor rutiere experimentate, rezultatele sînt prezentate în tabelul 3.23.

Din analiza rezultatelor se observă că influențe însemnate ($\pm 30\%$) asupra lungimii optime a dalelor din beton de ciment prezintă variațiile valorilor individuale ale coeficienților de contracție și de dilatare termică, aspect ce impune o cercetare foarte atentă a acestora în varianta adoptării unor noi soluții de compoziție a betoanelor de ciment rutiere.

O influență semnificativă o are și diferența de temperatură în cazul înregistrării unei creșteri a temperaturii la fața superioară a dalei, față de cea la care s-a pus în operă.

Rezultă necesitatea acordării unei atenții deosebite la executarea și protejarea dalelor în perioada de primăvară și toamnă cînd pot apare variații rapide de temperatură.

În funcție de caracteristicile mediului climateric al zonei unde se execută îmbrăcămintea rutieră, se poate merge pînă acold, unde lungimea dalelor se proiectează în funcție de anotimpul în care se execută și de condițiile concrete locale de climă.

Tabelul 3.23. Influența variației valorilor unor parametrii caracteristici betonului, asupra lungimii dalelor.

Nr. crt.	Variația caracteristicelor %	Lungimi dale (m)	
		$X_{lim}^{(B.M.)}$	$X_{lim}^{(R_3)}$
0	1 2	3	4
1.	Valori de bază conform calcul	5,71	11,92
2.	Z-Contracția la uscare cu: +10	7,51	15,70
	(-) -10	4,54	9,70
3.	α -Coeficient dilatație: +10	4,25	8,40
	(1/ °C) -10	8,33	16,35

0	1	2	3	4
4.	Δt -Gradient temperatură: ($^{\circ}\text{C}/\text{mm}$)	+10 -10	4,25 8,33	8,40 16,35
5.	f-Coeeficient frecare: (-)	+10 -10	5,64 5,78	12,03 11,77
6.	E_b -Modul elasticitate: (N/mm^2)	+10 -10	5,78 5,63	11,77 12,03
7.	γ_b -Greutatea specifică: (N/mm^3)	+10 -10	5,64 5,78	12,05 11,77
x	B.M. - sector martor; E_3 - sector din beton cu calcar.			

După darea în exploatare a unei structuri rutiere existente și ranforată cu beton de ciment, apar solicitările din traficul rutier care conduc la dezvoltarea unor stadii noi ale eforturilor și deformațiilor în dalele de beton. Pentru evidențierea sub acest aspect a influenței agregatelor calcaroase, se adoptă analiza "lungimea elastică" (l_{el} , în mm) și efortul unitar în beton (N/mm^2), în cazul trecerii roții de 50 kN cu $0,7 \text{ N}/\text{mm}^2$ presiune de contact (suprafața de contact pneu-cale fiind considerată circulară), după modelul Eisenmann /44/, bazat pe teoria multistrat în domeniul elastic. Modelul se descrie prin relațiile de evaluare a lungimii elastice /44/

$$l_{el} = \left[\frac{E_1 h_1^3 I_{II}}{12(1-\mu^2)K} \right]^{0,25} \quad (\text{mm}) \quad (3.16)$$

$$K = E_3 / \left[0,83 (h_1^3 \sqrt{E_1/E_3} + h_2^3 \sqrt{E_2/E_3}) \right] \quad (\text{N}/\text{mm}) \quad (3.17)$$

$$h_1 = \sqrt[3]{(E_1 h_1 + E_2 h_2) / E_1} \quad (\text{mm}) \quad (3.18)$$

$$h_{II} = h_1 + 0,9 h_2 \sqrt[3]{E_2 / E_1} \quad (\text{mm}) \quad (3.19)$$

în care: E_1 - este modulul de elasticitate al betonului de ciment rutier, din fabricămintă (N/mm^2);

• E_2 - modulul de elasticitate al stratului de fundație (sau structura rutieră existentă) din materiale tratate, cu lianți hidraulici sau hidrocarbonați (N/mm^2);

- E_3 - modulul de elasticitate al terenului, în N/mm^2 ;
- h_1 - grosimea dalai din beton, în mm;
- h_2 - grosimea stratului suport, în mm;
- h_I - un parametru de calcul intermediar, pentru cazul inexistenței fundației din materiale aglomerate cu lianți, în mm;
- h_{II} - tot un parametru de calcul pentru cazul existenței unei fundații (structuri rutiere), în mm;
- μ - coeficientul lui Poisson.

Avînd în vedere valorile caracteristicilor geometrice și fizico-mecanice prezentate în tabutul 3.23 pentru secțiile experimentale (B.M. și E_3), după prelucrarea datelor cu modelul Eisenmann s-au obținut următoarele rezultate:

a. în cazul structurilor rutiere existente echivalate prin $E_2 = 3\ 000\ N/mm^2$, $h_2 = 50\ mm$ și care au fost ranforsate cu beton de ciment (B 400, $h_1 = 200\ mm$), au rezultat următoarele valori: $l_{e1} = 756\ mm$ pentru sectorul martor (B.M.);

$l_{e1} = 803\ mm$ pentru sectorul cu calcar (E_3).

b. pentru varianta structurilor rutiere existente, cu echivalarea lui $h_2 = 100\ mm$ (deci mai rezistente) a rezultat:

$l_{e1} = 830\ mm$ pentru sectorul martor (B.M.);

$l_{e1} = 877\ mm$ pentru sectorul cu calcar (E_3).

Refăcînd calculul cu aceleași valori, dar considerînd că fundația (stratul suport) nu are nici un strat executat prin aglomerare cu lianți (varianta h_I), s-au obținut:

c. pentru $h_2 = 50\ mm$: $l_{e1} = 699\ mm$ pentru B.M.;

$l_{e1} = 746\ mm$ pentru E_3 .

d. în cazul $h_2 = 100\ mm$: $l_{e1} = 719\ mm$ pentru B.M.;

$l_{e1} = 765\ mm$ pentru E_3 .

Analizînd comparativ valorile lungimii elastice a dalilor se constată pe de o parte influența favorabilă a asigurării unei fundații corespunzătoare (a, b comparativ cu c, d), iar pe de altă parte o creștere semnificativă a lungimii elastice datorită influenței agregatelor calcaroase asupra betonilor de ciment rutiere, paralel cu o reducere a efortului unitar generat în dală la trecerea vehiculului de calcul analizat. În baza primei concluzii și în conjunctura actuală a structurilor rutiere existente din județul Caraș-Severin, rezultă că nu este recomandabilă înlăturarea îmbrăcămîntei bi-

aminoase existente, în vederea ranforbării drumurilor cu îmbrăcăminti din beton de ciment.

3.7.4. Influența fisurilor asupra fiabilității îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment

Eliminarea sau reducerea formării fisurilor în dale datorită contractiei betonului (indiferent ce tip de contracție) are o importanță deosebită pentru prevenirea apariției altor fisuri pe toată perioada de exploatare a îmbrăcămintei rutiere în beton de ciment.

Prezența fisurilor și crăpăturilor în dale, conduce la apariția și dezvoltarea altor tipuri de defecțiuni ale unei îmbrăcăminti rutiere rigide, contribuind astfel la diminuarea indiceului de confort și siguranța circulației, precum și la durabilității ei /72/.

Având în vedere aceste considerente, evidențierea stării de fisurare a dalcelor din beton, a constituit una din preocupările de bază în scopul definirii stării drumurilor, preocupare promovată în mod deosebit ca urmare a prelucrării datelor și formulării concluziilor în cadrul experimentelor MASHO (S.U.A), generalizate prin adaptări la condițiile specifice și în cadrul altor țări din lume. Urmare experimentelor de lungă durată (30 ani) executate în Anglia prin "Transport and Road Research Laboratory", s-a definit o relație de regresie pentru evaluarea duratei de exploatare a îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment, durată exprimată în număr de treceri echivalente (N) al autovehiculului de calcul cu 81 kN pe osia din spate /13/.

$$\ln N = 5,094 \cdot \ln h + 3,466 \cdot \ln R_c^{28} + 0,4336 \cdot \ln E_0 + 0,08718 \cdot \ln F - 40,78 \quad (3.20)$$

în care: h este grosimea dalei din beton, în mm;

R_c^{28} - rezistența la compresiune pe cuburi la 28 zile, a betonului, în N/mm²;

E_0 - modulul de elasticitate echivalent al stratului suport, în N/mm²;

F - indicele fisurării dalcelor, exprimat în % din total dale existente pe sectorul de drum studiat.

Prin această relație se evaluează durata de exploatare a îmbrăcămintei rutiere din beton de ciment, prin milioane treceri ale vehiculului de calcul.

În tabelul 3.24 sînt prezentate datele aferente secto-

relor experimentale (B.M și F_3), obținute prin măsurători directe și încercări în laboratorul de șantier.

Tabelul 3.24. Caracteristicile betonelor și neotoarelor experimentale

Nr. crt.	Caracteristica	Simbol	UM.	Valori pentru:	
				B.M.	F_3
1.	Grosimea dalei	h	mm	200	200
2.	Rezistența la compresiune	R_c^{28}	N/mm ²	42	46
3.	Modulul de elasticitate	E_o	N/mm ²	300	300
4.	Indicele de fisurare (variante)	F	%	5; 10	20; 50; 100

x B.M. - sectorul martor; F_3 - beton cu calcar

După prelucrarea datelor conform relației 3.20, cu ajutorul calculatorului, s-au obținut pentru durata de exploatare (D), în milioane treceri, următoarele valori (tabelul 3.25):

Tabelul 3.25. Durata de exploatare (D).

Indicele de fisurare: % din total dale.	D; milioane treceri pentru			
	Sectoare experimentale		Varianta drum nou	
	B.M.	F_3	B.M.	F_3
F = 5 %	14,1	27,1	9,2	17,4
F = 10 %	15,3	28,8	9,8	18,5
F = 20 %	16,3	30,6	10,4	19,6
F = 50 %	17,6	33,1	11,3	21,6
F = 100 %	18,7	35,2	12,0	22,6

Se remarcă faptul că în varianta ranforsării structurilor rutiere suplă cu betoane de ciment rutiere (B.M. și F_3) preparate cu agregate calcaroase, crește durata de exploatare a îmbrăcămintei, în orice caz de convenție privind procentul limită de fisuri acceptate în analiză.

În fig. 3.24 se reprezintă grafic influența utilizării agregatelor calcaroase la prepararea betonelor de ciment tiere, asupra fiabilității îmbrăcămintei.

Dacă se acceptă că momentul depășirii duratei de exploatare a unei îmbrăcăminți rutiere din beton de ciment, este când se fisurează 20 % din numărul total al dalelor, numărul de treceri al autovehiculului de calcul este de 16,3 milioane pentru sectorul martor (B.M.) și de 30,6 milioane pentru

torul executat din betoane preparate cu agregate calcaroase (E_3); în varianta transpunerii directe a valabilității relației 3.20 în condițiile sectoarelor rutiere experimentale cuprinse în studiu.

În același timp, pentru a realiza aceeași durată de exploatare pentru sectoarele în studiu, considerând aceeași limită de 20 % dale fisurate, rezultă o grosime a dalei de 177 mm pentru cazul E_3 (betoane cu agregate calcaroase), față de 200 mm în cazul sectorului mortar (B.M.).

Apare deci posibilitatea reducerii cu 10...20 % a grosimii unei îmbrăcăminți rutiere din beton de ciment, dacă se execută cu betoane realizate cu agregate calcaroase. Rezultatele analizei sub acest aspect, sînt evidențiate în prezentarea grafică din fig. 3.25.

3.8. TEHNOLOGII NOI APLICATE LA EXECUȚIA ÎMBRĂCĂMINȚILOR RUTIERE DIN BETON DE CIMENT.

În general, execuția îmbrăcăminților rutiere rigide se caracterizează prin volumul mare de materiale care se manipulează și se pun în operă sub forma betonului de ciment, ceea ce permite mecanizarea proceselor tehnologice.

Indiferent de tehnica și metodele aplicate în realizarea îmbrăcăminților rutiere rigide, principalele faze de execuție sînt aproape aceleași:

- pregătirea stratului suport;
- prepararea și transportul betonului;
- așternerea și compactarea betonului;
- executarea rosturilor;
- finisarea, protejarea și tratarea ulterioară a betonului;
- controlul calității și recepția lucrărilor.

Privind pregătirea stratului suport, în cazul structurilor rutiere existente cu îmbrăcăminți bituminoasă și care urmează să fie reînforțate cu îmbrăcăminți din beton de ciment, cea mai bună procedură este repararea defecțiunilor, în special a celor de tip răgăși și gropi, astfel încît să se asigure o planitate corespunzătoare, cu denivelări de maxim ± 0,5 cm.

Compoziția betonului (dozajul de fabricație) s-a stabilit pe baza analizelor efectuate în laborator asupra tuturor materialelor componente, și a încercărilor privind rezistența

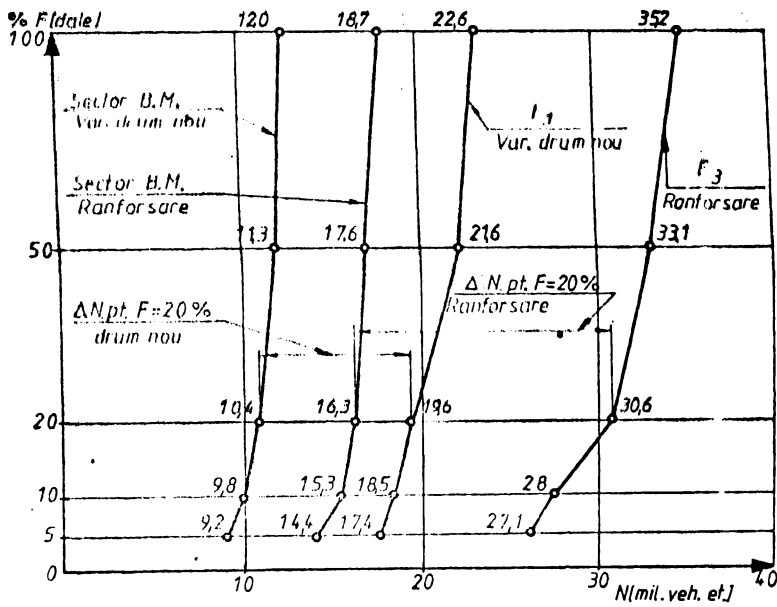


Fig. 3.24. Evaluarea duratei de exploatare a structurilor rutiere aferente sectoarelor experimentale.

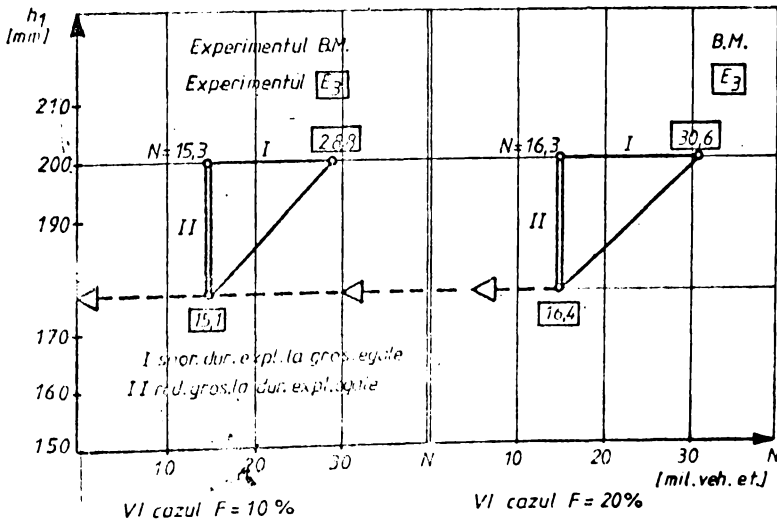


Fig. 3.25. Evaluarea grosimii dalelor pentru durate de exploatare identice

le mecanice ale epruvetelor realizate cu betoane de marcă B 400.

În legătură cu procesul tehnologic de preparare a betonului, am acordat o atenție deosebită obținerii unui amestec uniform și omogen, folosind instalații de tip CNDOMAI (C-51), studiind cu atenție timpul de amestecare, cunoscând faptul că acest timp variază cu tipul de betonieră utilizată.

Rezistența medie a betonului crește la o prelungire a duratei de amestecare (fig. 3.26), așa cum rezultă din încercările efectuate de Abramo /79/. Rata creșterii se atenuează rapid după prelungirea peste circa 1 minut și este neînsemnată după 2 minute. Durata de amestecare este în funcție de lucrabilitatea betonului, fiind mai mare în cazul betoanelor vârtoroase, așa cum se impune betoanelor de ciment rutiere, ca atare a fost stabilită, după mai multe verificări și încercări la 95...

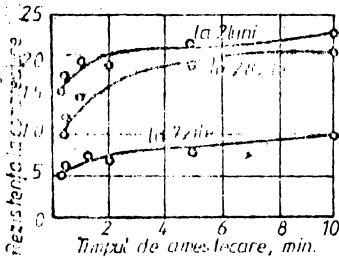


Fig. 3.26. Efectul timpului de amestecare asupra rezistenței betonului.

120 secunde.

Pentru a se elimina unele erori de natură subiectivă ce pot proveni din partea operatorului în procesul de fabricație a betonului, s-a procedat la automatizarea comenzilor la pupitrul de comandă al stației de betoane, garantându-se astfel respectarea cu strictețe a dozajului tuturor componentilor betonului și a duratei de amestecare.

Organizarea transportului betonului, este o operație deosebit de importantă în cazul execuției îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment, stagnările la prepararea sau punerea în operă a betonului având implicații majore asupra ritmului de lucru și calității îmbrăcămintei realizate. Începând cu anul 1983, întreg programul de renforșare a structurilor rutiere existente s-a realizat prin așternerea betonului într-un singur strat, betonul având o marcă specifică stratului de uzură (B 400).

Din punct de vedere tehnologic se deosebesc două metode de punere în operă a betonului de ciment:

- cu cofraje fixe (longrine, șine, etc.);
- cu cofraje glisante (mașini speciale).

Alegerea atelierului de utilaje pentru așternere, com-

pactare și nivelare a betonului, se face în funcție de o serie de factori ca: importanța drumului, ritmul de betonare și volumul betonului pus în operă, gradul de uniformitate impus, etc. (tabelul 3.26) /88/.

Tabelul 3.26. Diferite caracteristici tehnologice privind așternerea betonului rutier.

Caracteristica tehnologică	Tipul utilajului de așternere și compactare		
	Cu cofraje fixe	Cu șenile	Mașini cu cofraje glisante
Lățimea de lucru, m	5	5	8...15
Sistem de ghidare	Longrine	Cale rulare	Laser
Viteză înaintare, m/min	0,5...0,7	0,75...1,00	2,40...3,00
Randamentul mediu, m/8 h	100...150	200...250	350...450
Modul de vibrare	Grindă	Grindă	Special
Frecvența de vibrare, Hz	50	50...66	100...200
Necesar mijloace de transport al betonului, autobasculante/km	0,6	1	2
Necesar muncitori	32	21	12

Pe șantierele de drumuri din țara noastră se utilizează metoda de așternere cu cofraje fixe, metodă ce asigură un ritm lent de înaintare, un consum mare de energie și forță de muncă.

În cadrul Direcției de Drumuri și Poduri Timișoara, în colaborare cu Catedra de Drumuri, a fost realizată o mașină cu cofraj glisant și în anul 1987, în premieră națională, am experimentat la Caransebeș pe D.N.6 Caransebeș-Buchin, așternerea betoanelor de ciment rutiere utilizând mașina cu cofraj glisant VIATIM-1.

Cu ocazia lucrărilor de experimentare, au fost realizată 0,8 km îmbrăcăminte rutieră din beton de ciment și am făcut numeroase propuneri de îmbunătățire, propuneri care au stat la baza realizării exemplarului 2 (fig.3.27) din seria VIATIM și care începând cu anul 1989, a devenit operațional pe șantierele D.D.P. Timișoara.

Mașina a fost propusă pentru omologare și generalizare la nivel de țară (Brevet Nr.142682/1989).

VIATIM-2, prezintă următoarele caracteristici legate de punerea în operă a betonului din îmbrăcămintele rutiere:



Fig.3.27. Mașina cu cofraj glisant, VIATIM-2.

- cașul este montat pe două șenile, prin intermediul a suspendării hidraulice;
 - lățimea de lucru maximă este de ~~3,50...3,75 m~~;
 - viteza de înaintare este de 0,7 m/min (max 2' m/min),
 - vibrarea betonului se face cu o baterie de pervibratoare;
 - cofrajele laterale glisante, putînd avea diferite forme în profil transversal, sînt montate între șenile și au o lungime de 4,0 m;
 - betonul este mulat între stratul suport, cofrajele laterale și superioare ale mașinii;
 - ghidarea mașinii se face prin intermediul unui palpator care culisează pe o sîrmă montată lateral la o anumită cotă;
 - toate echipamentele mașinii sînt acționate hidraulic;
 - descărcarea betonului se face într-un buncăr special, după care betonul este distribuit prin intermediul unor șnecuri, pe toată lățimea benzii de așternere.
- Pentru a regla grosimea betonului nevibrat, între rîmpînditorul cu șnec și bateriile de pervibratoare, s-a prevăzut o placă transversală vibrantă, pentru o nivelare primară a betonului.

Pentru punerea betonului în lucrare, trebuie folosi-

tă o energie care să depășească pe cea corespunzătoare forțelor de frecare existente în beton la un moment dat.

O mărire a energiei dată sistemului dă o nouă posibilitate a mișcării particulelor constituente și o nouă creștere a compactării.

Vibrarea este cel mai folosit mijloc de compactare a betonului de ciment rutier. Procedul se bazează pe echilibrul dintre forțele de viscozitate, de frecare internă și al forțelor dezvoltate prin vibrarea tuturor componentelor, betonul compactându-se când echilibrul este distrus de creșterea forței de vibrare. Ținând seama că matricea are proprietăți elastice sub limita de curgere, forța de vibrare este transmisă tuturor componentelor sistemului.

Energia absorbită W de sistemul în mișcare, este dată de relația /76/:

$$W = \beta \cdot \varepsilon \cdot \rho \cdot n \cdot v^2 \quad (3.20)$$

în care: ε - este volumul golurilor existente în masa betonului
 ρ - densitatea sistemului vibrat;
 n - frecvența de vibrație;
 v - viteza particulelor în mișcare și β - un coeficient specific.

Când energia transmisă depășește coeziunea matricei și forțele de frecare, matricea intră în curgere, iar particulele sub acțiunea forțelor de gravitație, a încălzirii elastice, a fenomenelor de suprafață, se compactează cu micșorarea densității dintre ele (eliminarea de aer, apă liberă) pentru a compensa unii minim mai accentuat al energiei potențiale și masei de beton.

O compactare mai avansată este posibilă numai prin folosirea unei energii (forțe) de vibrare, care să depășească coeziunea matricei în noul ei stadiu de echilibru și aceasta se face prin mărirea accelerației vibrării. Forța F imprimată particulelor de masă m din sistem este dată de relația /76/:

$$F = m \cdot \omega^2 a \quad (3.21)$$

în care: ω este frecvența de vibrație sau pulsația iar a este amplitudinea.

Rezistențele mecanice ale betonului compactat prin vibrare sunt influențate de durata de vibrație, frecvența vibrației precum și de amplitudinea oscilațiilor. Aceste influențe sunt prezentate în fig. 3.20. /7/. Durata și de vibrație po-

și coeficientă în funcția de gradul de lucrabilitate al betonului

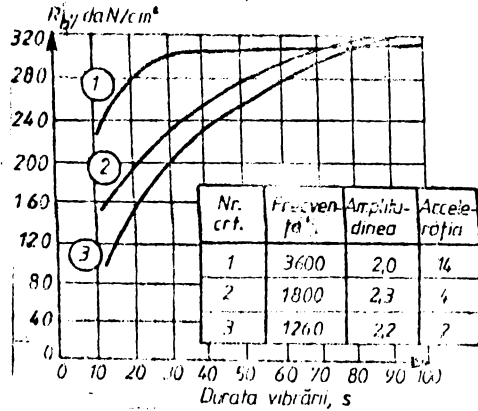


Fig. 3.28. Influența parametrilor de vibrație asupra rezistenței betonului de ciment.

($c=1,5 \cdot 10^3$ vibrații/min) la o grosime a dalei de 20 cm.

Numărul de vibrații necesare pentru arderea vibratorului s-a stabilit cu relația /76/: $t=c/n$ (min), de unde rezultă: $n=c/t=1,5 \cdot 10^3/0,33=4545$ vibrații/minut, ceea ce corespunde unei frecvențe de vibrație de 76 Hz.

Un mijloc de a măări rezistențele mecanice ale betonului de ciment rutier pus în operă, este revibrarea.

După Nevițilo /79/ rezultă că revibrarea betonului în perioada de priză, duce la o creștere a rezistenței la compresie la 28 zile, așa cum se arată în fig. 3.29, cu circa 14 %.

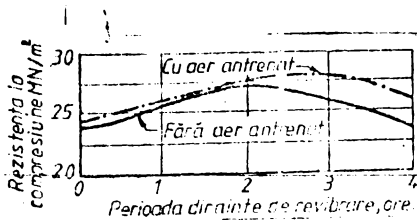


Fig. 3.29. Relația dintre rezistența la compresie a betonului la 28 zile și timpul de revibrare.

tr-o nouă trecere a celui de al doilea vibrofinisor din atelierul de utilaje pentru asternerea betonului.

Regimul cel mai eficient de revibrare s-a dovedit a fi următorul:

- revibrarea să se efectueze pe cât posibil, la mijlocul perioadei de priză a cimentului;

lui proaspăt asternut și de viteza de lucru a mașinii. În cazul mașinii VIATIM-2, caracteristicile de compactare pentru grinzile vibratoare s-au stabilit ținând seama de timpul optim de vibrație ($t=0,33$ min) calculat cu viteza de înaintare a mașinii ($v=0,7$ m/min), de numărul de vibrații necesar pe unitatea de suprafață

revibrarea contribuind la eliminarea apei incluse și la o scădere a eforturilor de tracțiune din jurul particulelor de agregat.

Revibrarea betonului în perioada de priză nu a impus probleme deosebite de organizare a execuției lucrărilor, aceasta realizându-se prin-

- frecvența oscilațiilor în ipoteza unui contact perfect cu betonul să fie de circa 2 800...3 000 vibrații pe minut;

- amplitudinea oscilațiilor: 0,17...0,19 mm;

- viteza de înaintare a vibrofinisorului în timpul revibrării betonului a fost de circa 1,00 m/min, revenind fiecărui punct din masa betonului un timp de vibrare de 30...35 s.

Revibrarea s-a aplicat cu deosebită atenție, în special în ceea ce privește momentul execuției, pentru că există riscul ca, dacă este aplicată prea târziu, revibrarea să dăuneze calității betonului /79/.

3.8.1. Finisarea, tratarea și protejarea ulterioară a suprafeței îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment

Imediat după așternerea și compactarea betonului de ciment din îmbrăcămintile rutiere, se execută un complex de operații tehnologice, prin care se urmărește asigurarea planității și rugozității suprafeței de rulare, realizarea rosturilor necesare, precum și protecția suprafeței stratului de uzură, operație care asigură în final obținerea unei îmbrăcăminti de o bună calitate.

Pentru asigurarea unei planități corespunzătoare, în special în lungul drumului, finisarea s-a realizat cu ajutorul unui utilaj prevăzut cu o grindă finisoare oblică, utilaj amplasat în urma celui de al doilea vibrofinisor, la o distanță de circa 5 m, grinda având o oblicitate de 30° față de axa benzii și o mișcare de dute-vino.

Suprafața betonului trebuie tratată astfel încât să se obțină o îmbrăcămintă având o suprafață rugoasă cu caracteristici antiderapante, pentru că sub acțiunea traficului se poate gleșui, devenind alunecoasă și prezentând, în special pe timp umed, pericol de derapare. În acest scop, se folosesc diferite procedee de îmbunătățire a rugozității dintre care se amintesc perforarea canaverală, clutajul suprafeței, dezvelirea agregatelor și altele. Fiecare dintre aceste metode asigură un coeficient de frecare longitudinală diferențiat (fig. 3.30) /88/, dar tratarea în aceste moduri a suprafeței de rulare, nu prezintă o durabilitate acceptabilă, ca atare suprafața îmbrăcăminte, după 2...3 ani de circulație, devine gleșuită.

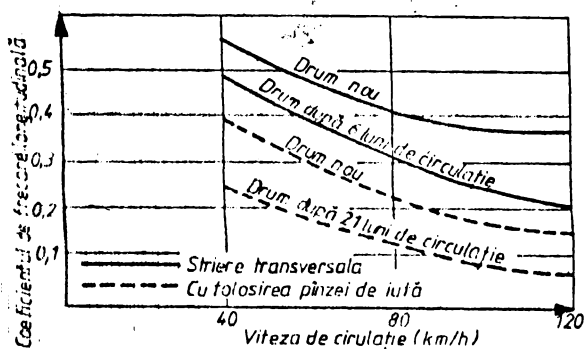


Fig. 3.30. Valoarea coeficientului de frecare longitudinal în funcție de procedeul folosit pentru asigurarea rugozității.

Pentru a se asigura la suprafața înbrăcămintei rutiere din beton de ciment o striere durabilă, în anul 1987 am conceput și s-a realizat în cadrul Secției Caransebeș, o mașină specială pentru executarea striurilor la betonul întărit, cât și pentru refacerea striurilor la

înbrăcămintățile rutiere vechi, care sub efectul traficului, în timp, s-au glefuit, periclitând astfel siguranța traficului rutier, în special pe timp ploios.

Mașina, conform Fig. 3.31, se compune dintr-un șasiu 1,

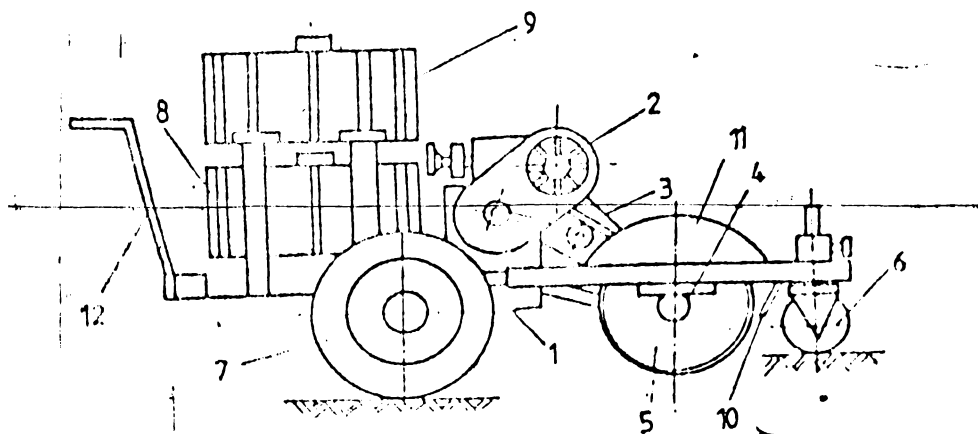


Fig. 3.31. Mașină pentru executarea striurilor.

pe care este montat un motor 2, cu ardere internă, cu o putere nominală de 15 CP, un sistem de transmisie prin curele trapezoidale 3, un ax cu bucege 4, pe care sînt montate discuri diamantale 5, montate pe axul 4, sînt distanțate prin bucege 13, avînd o lățime de lucru de 261 mm, distanțele realizate între striuri fiind de: 51, 36, 43, 31, 40 și 25 mm.

Pentru asigurarea unei răciri corespunzătoare a discurilor în timpul lucrului, se pune în funcțiune sistemul de udare 10, alimentat cu apă din rezervorul 9.

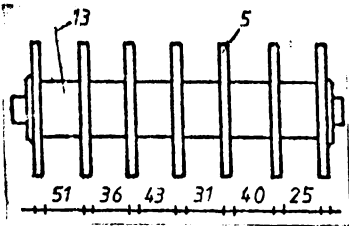


Fig. 3.32. Dispunerea discurilor diamantate.

Striurile realizate au o adâncime de 3,0...4,5 mm și o lățime de 5,0 mm. (fig.3.33).

Avantajele realizării striurii transversale cu această mașină sînt:

- durabilitate mare (peste 10 ani) sub efectul traficului rutier;
- mărește capacitatea drenantă a suprafeței de rulare, diminuînd grosimea peliculei de apă;

- facilitează evacuarea apei de sub pneurile autovehiculelor, compensînd eventuala lipsă a sculpturilor pneurilor;

- asigură la suprafața de rulare a îmbrăcăminții o rugozitate geometrică corespunzătoare, care măsoară prin metoda înălțimii de nivel prezentată în fig. 3.34, asigurîndu-se astfel o bună



Fig. 3.34. Datații în refacerea rutieră transversală.

la nivelul rutier și în condițiile de circulație rutieră.

Mașina conform celor prezentate mai sus, a cărei invenție, subiectul unui dosar de invenție și în anul 1988 a fost depusă pentru ocrotire la OSIM București și eventual generalizată (dosar Tr.142653/1988).

La nivel de țară în viitorii ani lungimea drumurilor prevăzute cu îmbrăcăminți din beton de ciment va crește simțitor, cu toate acestea ca striuri transversale se va impune ca o necesitate, iar la îmbrăcămințile rutiere noi, trebuie să asigure o striere transversală durabilă și eficientă.

Într-o astfel de striere transversală, sențieră la nivelul în anumite condiții, reprezintă o necesitate pentru asigurarea unei înălțimi corespunzătoare, influența umidității și temperaturii fiind esențiale pentru obținerea unor betoane rutiere de calitate.

Mediul înconjurător prin temperatură t , umiditatea relativă a aerului u și viteza vântului v influențează pierderea de apă p ce se produce prin evaporare la suprafața betonului proaspăt (fig.3.34) /88/.

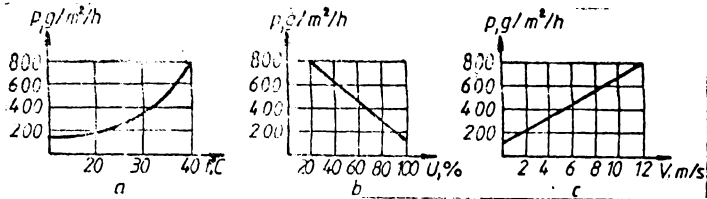


Fig. 3.34. Influența condițiilor exterioare asupra pierderii de apă la suprafața betonului rutier.
 a-influența temperaturii; b-influența umidității;
 c-influența vântului.

În aceste condiții, în cazul îmbrăcămintilor rutiere, trebuie acordată o deosebită importanță împiedicării pierderii de apă din beton prin evaporare. Sînt cunoscute mai multe procedee de protejare a betonului proaspăt, dar soluția cea mai frecventă în toate țările este protejarea cu pelicule de protecție, care se aplică la 3...5 ore de la așternere, odată ce suprafața betonului s-a zvîntat și și-a pierdut luciul. Se pot folosi pelicule de polietilenă ($300 g/m^2$), de bitum ($0,5 kg/m^2$) și altele, ele fiind aplicate prin stropire manuală s-au mecanică, foarte importantă este realizarea unei stropiri uniforme și îndelungate pe suprafața betonului.

În scopul evitării apariției necontrolate a fisurilor și crăpăturilor în îmbrăcăminte, în special datorită contractiei din timpul întăririi betonului precum și datorită solicitărilor din trafic ș.a., se impune realizarea rosturilor, atât a celor longitudinale cât și transversale, utilizîndu-se în acest scop magina de tăiat betonului, prevăzută cu disc tăiat și aplicată imediat după turnare, la prima dată în țară, în anul 1939.

3.2. ÎMBRĂCĂMINTEA DE PROTECȚIE ȘI ÎNCHIDEREA LA UMIDITATE A UNOR ÎMBRĂCĂMINTI DE PROTECȚIE

În contextul actual de economisire a energiei, pentru a fi utilizată în mod eficient, măiestritatea țărilor lumii au trecut de la aplicarea unor metode simple de protejare a betonului la aplicarea unor metode avansate de protejare a betonului, care asigură o protecție eficientă a betonului în condițiile cele mai defavorabile.

consumuri mari de energie, indiferent de ce natură este /156/.

Ca și în celelalte domenii, măsurile luate și în sectorul rutier, au menirea să satisfacă într-un grad oarecare efortul general pe care-l face economia națională de a răspunde acestui imperativ energetic.

Cele mai importante cheltuieli de energie în construcția și întreținerea drumurilor, se consumă pentru:

- prepararea sau fabricarea materialelor sau materiilor prime utilizate în sectorul rutier (bitum, ciment, var, criblură, filer etc.);

- transportul materialelor de la furnizor în depozite și la locul de punere în operă;

- prepararea și punerea în operă a produselor (beton, mixtura asfaltică, etc);

Nivelul consumurilor energetice pe unitatea de produs, (km conv. de drum), oscilează între anumite limite, în funcție de anumiți factori ca:

- tipul de materiale folosite;

- tehnologia de lucru adoptată;

- mijloacele, utilajele și instalațiile folosite;

- soluția constructivă aleasă;

- modul de organizare a transporturilor, etc.

La stabilirea consumului de energie pentru diferite materiale semifabricate și transporturi tehnologice, se acceptă că pentru 1 kwh energie electrică este necesară o cantitate de 0,356 kg c c ca valoare medie la nivelul anului 1987 /156/.

Pentru obținerea diferitelor materiale, sînt prevăzute următoarele cantități de energie înglobată (tabelul 3.27).

Tabelul 3.27. Consumul de energie pentru diferite produse.

Specificație	U.M.	Consum energetic		γ
		kg/cc	kwh/UK	
0	1	2	3	4
A. Agregate naturale				
1. Agregate brute	m ³ /t	8,0/4,8	65/39	1,65 t/m ³
2. Agregate sortate	m ³ /t	11,0/6,7	89/54	1,65 t/m ³
3. Nisip	m ³ /t	8,4/6,2	68/51	1,35 t/m ³
4. Fierle	m ³ /t	9,2/6,1	75/50	1,5 t/m ³
5. Criblură	m ³ /t	12,0/8,0	98/65	1,5 t/m ³
B. Agregate artificiale				
1. Ligură granulată	m ³ /t	8,0/11,4	65/93	700 kg/m ³

0	1	2	3	4
0. Conuși de C.T.H.	m ³ /t	3,0/4,3	24/45	700 kg/m ³
C. Lianți minerali				
1. Ciment P 40,45	t	225	1 830	-
2. Ciment Pa 35	t	225	1 540	-
3. Var	t	213	1 730	-
D. Lianți bituminoși				
1. Bitum	t	1 750	14 200	-
E. Etape de lucru				
1. Transporturi	t	2,0	16,0	
2. Dilecări anterioare	t	16,0	13,0	
3. Deschirări	t	2,9	24,0	
4. Deschirări	t	2,9	24,0	

Derulând calculul pentru toate fazele de execuție aferente unui kilometru convențional de drum ranforsat, s-a obținut următorul consum energetic:

- 280 000 kg c c /km la beton de ciment;
- 470 000 kg c c /km la beton asfaltic.

Deci în cazul ranforsării structurilor rutiere existente, este mai avantajoasă din punct de vedere energetic alegerea soluției cu beton de ciment. Din punct de vedere economic, dacă ținem cont că în ultimii ani a crescut prețul petrolului pe plan mondial, de peste 35 ori, iar al cimentului numai de 2 ori, rezultă și avantajele din punct de vedere economic privind utilizarea betonului de ciment /156/.

În susținerea acestei afirmații, am apelat și la "Instrucțiunile tehnice departamentale" existente la noi în țară, privind dimensionarea ranforsării structurilor rutiere suplă, instrucțiuni care pot fi utilizate inclusiv pentru studiul stării tehnice a drumurilor, în speță privind determinarea semiempirică a rezervei de capacitate portantă a structurilor rutiere existente.

În această ordine de idei, se subliniază faptul că, pentru studii întreprinse "în viitor", când măsurătorile aferente deflexiunilor elastice nu pot fi realizate efectiv, prin metode și pentru studii de strategii aplicabile în cadrul unei rețele de drumuri, metoda în cauză poate fi de o deosebită utilitate generală. Plecând de la aceste aspecte, în perioada 1979...1984 (și în continuare) am efectuat studii de acest gen

pe întreaga rețea de drumuri naționale din județul Caraș-Severin, studii conduse prin prelucrarea automată a datelor/RV.

În colaborare cu Oficiul de calcul electronic al D.D.P. Timișoara, s-a realizat exploatarea curentă generalizată a aplicației informatice PRERAN (previziuni privind ranforsarea structurilor rutiere suplă, existente), plecând de la o bază de date tehnice a rețelei de drumuri naționale, cuprinzând informații privind următoarele elemente:

- structura sistemului rutier:
- numărul straturilor rutiere;
- valoarea modulului de deformație pentru fiecare strat

în parte:

- grosimea fiecărui strat;
- starea îmbrăcămintei rutiere (prin I.G.C.D-indicele general de calitate).
- modul de solicitare a structurii rutiere:
- intensitatea traficului rutier;
- istoricul solicitărilor din trafic (MZA/A13 începând din anul construcției drumului);
- prognoza intensității traficului rutier pînă în anul 2000;
- repetabilitatea încărcărilor funcție de numărul benzilor de circulație.
- condiții de mediu, generale, privind:
- natura terenului de fundație (Ed);
- condițiile hidrologice ale terasamentelor;
- numărul zilelor privind restricția de circulație, ș.a.

Aplicarea metodei de calcul dată prin instrucțiuni pentru evaluarea modulului de deformație echivalent efectiv al unei structuri rutiere suplă, la data analizei, s-a acceptat în condițiile adaptării acesteia la situațiile reale ce se pot înregistra, valoarea rezultată fiind afectată de un coeficient de reducere în funcție de starea îmbrăcămintei bituminoase.

În modelul PRERAN s-a acceptat în acest fel relația:

$$E'_{d.e.e} = k_E \cdot E_{d.e.e} \quad (3.22)$$

în care $E'_{d.e.e}$ și $E_{d.e.e}$ sînt valorile corectate și respectiv inițiale ale modulelor de deformație echivalente efective ale complexului rutier, în daN/cm^2 .

$$k_E = C_T \cdot C_V \cdot C_I \quad (3.23)$$

în care: C_T este un coeficient prin care se evaluează efectul

oboselii structurii rutiere asupra scăderii capacității portante a acesteia; C_V - idem, privind efectele defecțiunilor care apar la nivelul suprafeței de rulare a drumului; C_I - coeficient al evidențierii altor influențe asupra scăderii capacității portante (nivel tehnic de întreținere și ranforsare ce se preconizează a se aplica, ș.a.m.d.).

Cu ajutorul programului PRERAN, am determinat necesarul de lucrări privind ranforsarea rețelei de drumuri din județul Caraș-Severin, pentru toate secțiunile omogene de drumuri naționale, omogene din punct de vedere al caracteristicilor evidențiate: de solicitare, de mediu și de structură.

S-a obținut direct grosimea stratului de mixtură asfaltică ce trebuie executat, precum și volumul necesar de mixturi asfaltice.

Actualizăm baza de date PRERAN cu informații rezultate din relevul general efectuat în aprilie 1984, execuția PRERAN a oferit posibilitatea formulării următoarelor concluzii:

- 28 % din rețea a prezentat o capacitate portantă redusă, impunând pentru traficul de perspectivă ranforsări cu peste 12 cm grosime straturi din mixturi asfaltice, ca atare au apărut în mod pregnant avantajele soluției de ranforsare cu îmbrăcăminte din beton de ciment, având o grosime de 20,0 cm;

- capacitatea portantă a structurilor rutiere din rețeaua de drumuri analizată (județul Caraș-Severin), pentru traficul de perspectivă prognosticat în baza RECENS-1980 și pentru durate de exploatare normale, a fost în general necorespunzătoare, peste 56 % din lungimea rețelei, necesitând o ranforsare imediată cu un strat din mixtura asfaltică, având grosimea minimă de 4,0 cm.

Pe tot parcursul programului de cercetare, s-a urmărit pe de o parte, îmbunătățirea performanțelor betonului de ciment rutier clasic, iar pe de altă parte, crearea de noi tipuri de betoane rutiere, utilizând materiale locale și subproduse industriale existente în județ.

În capitolul II au fost prezentate rezultatele tehnice obținute asupra betonelor de ciment rutiere preparate cu aditive de natură electrică, evidențindu-se avantajele și dezavantajele utilizării încălzirii energiei înglobate în varianta înlocuirii criblurilor clasice, cu cribluri din calcar și ținând cont de procedurile de procurare pentru fiecare în parte, s-au obținut

Reținând călăbășul energiei înglobate în varianta înlocuirii criblurilor clasice, cu cribluri din calcar și ținând cont de procedurile de procurare pentru fiecare în parte, s-au obținut rezultatele prezentate în tabelul 3.13.

Tabelul 3.28. Analiza economică și energetică.

Specificații	U.M.	Energie înglobată în:		Cost lei/t
		Fabricare kg c.c./UM	Transport kwh/UM	
Cribluri IPIC Deva	m ³ /t	12,8/8,0	98/65	137
Cribluri calcar	m ³ /t	12,8/8,0	46/29	82
Economie energie		-	52/36	-
Economie preț cost		-	-	55

La un consum normat de 550 t ciment pentru 1,0 km îmbrăcăminte din beton de ciment, în cazul utilizării agregatelor calcaroase, consumul de ciment se reduce cu 34 t (20 kg/m³), cu influențe pozitive energetice și economice, astfel că în această variantă la 1,0 km de îmbrăcăminte cu beton de ciment, rezultă o economie de 43 000 kwh și circa 235 000 lei, în raport cu varianta de utilizare a betoanelor clasice.

La colocviul Drumul și Energia, ținut la Paris în 1981, Ray Michet a prezentat un studiu comparativ privind bilanțul energetic între betonul de ciment rutier preparat cu agregate calcaroase și betonul asfaltic, datele fiind cele din tabelul 3.29 /154/.

Tabelul 3.29. Bilanțul energetic, Franța, 1981.

Trafic		Beton de ciment Mixturi asfaltice			
		700 < T < 2000	500 < T < 750	750 < T < 2000	500 < T < 750
Energie (Tn/m)	Construcție drumuri	1 380	960	2 430	1 140
	Intreținere drumuri	1 435	1 270	2 175	1 165
	Total	2 815	2 230	4 605	2 305

Din datele prezentate rezultă o reducere a consumului energetic cu aproape 50 %, în cazul utilizării betoanelor de ciment rutiere cu agregate calcaroase, față de utilizarea betoanelor asfaltice. O influență semnificativă o are consumul energetic mare și periodic de întreținere a îmbrăcămintilor rutiere bituminose.

Ținând cont de avantajele tehnice, economice și energetice ale betoanelor de ciment rutiere preparate cu agregate calcaroase de proveniență locală, se recomandă utilizarea lor cu mai multă încredere la executarea îmbrăcămintilor rutiere.

În cazul utilizării cenugei de la C.T.F. Anina, ca înlocuitor parțial al cimentului, se reduce consumul de ciment

cu 60 kg/m^3 , ca atare se obține o economie de 310 000 lei la 1 km de îmbrăcăminte rutieră din beton de ciment.

Tehnologiile de execuție a îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment prezentate, precum și soluțiile de tratare a suprafeței îmbrăcăminților, permit realizarea unor ranforsări a structurilor rutiere existente în județul Caraș-Severin, cu îmbrăcăminți din betoane de ciment rutiere durabile și cu o eficiență economică și energetică sporită.

Se obțin economii la consumul energetic de pînă la 45...60 % și la prețul de cost de circa 20...25 %, în raport cu îmbrăcămințile rutiere executate cu agregate clasice, paralel cu o valorificare superioară a materialelor locale și a unor subproduse existente în județul Caraș-Severin.

3.11. CONCLUZII ȘI PROUNIRI

Ca urmare a studiilor și cercetărilor întreprinse privind ranforsarea structurilor rutiere existente folosind îmbrăcăminți din beton de ciment, se trag următoarele concluzii:

- soluția de ranforsare cu betoane de ciment rutiere, se alege după o investigație foarte atentă a capacității portante și a uniformității acestora la structurile rutiere existente, cât și a traficului rutier de perspectivă și în special a traficului greu și foarte greu;

- înființarea la nivelul fiecărei Administrații de district, a unei Bănci de Date Rutiere (B.D.R.), bancă ce trebuie alimentată periodic cu informații tehnice asupra stării drumurilor, evoluția traficului ș.a., conduce la emiterea unor decizii obiective privind strategia optimă de întreținere și ranforsare a drumurilor, în funcție de resursele alocate, de starea tehnică a rețelei de drumuri din administrare, de importanța drumului și de evoluția traficului de perspectivă, pentru fiecare drum sau sector de drum, în parte;

- utilizarea aditivilor superplastifianți la fabricarea betoanelor de ciment rutiere, contribuie la îmbunătățirea substanțială a unor caracteristici specifice acestora, conducând astfel la mărirea durabilității îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment;

- rolul aditivilor superplastifianți crește în viziunea fabricării betoanelor de ciment rutiere cu materiale locale neortodoxe, în sensul că imprimă acestora caracteristicile impuse prin normativele în vigoare (rezistențe mecanice, nivel de impermeabilitate, rezistență la îngheț-dezghet, ș.a.).

Caracteristicile experimentale efectuate cu aditivul superplastifiant VIMC-11 la fabricarea betoanelor de ciment rutiere, au permis să se tragă următoarele concluzii:

- procentul optim de utilizare a aditivului VIMC-11, este de 2,5 % din masa cimentului;
- utilizarea lui conduce la îmbunătățirea rezistențelor inițiale (cu 30...40 %) și finale (cu 10...30 %) ale betoanelor de ciment rutiere, la doze de ciment și lucrabilitate aproximativ egale cu ale betoanelor martor, paralel cu o reducere a cantității de apă cu 12...25 %;
- aditivul VIMC-11 imprimă betoanelor de ciment rutiere un grad de impermeabilitate ridicat (P 12) și rezistență mare la gelivitate (G 100), caracteristici deosebit de importante pentru îmbrăcămintele rutiere din beton de ciment.

Înainte de utilizarea aditivului superplastifiant VIMC-11 la prepararea betoanelor de ciment rutiere, se necesită efectuarea unor testări în laborator în scopul stabilirii dozajului optim în funcție de natura agregatelor, tipul de ciment utilizat ș.a.

Studiile asupra utilizării noului tip de aditiv superplastifiant ADEX la prepararea betoanelor de ciment rutiere, au condus la următoarele concluzii:

- procentul optim de utilizare este de 1,2 % din masa cimentului iar prezența lui în beton conduce la eliminarea contracției plastice și la îmbunătățirea aderenței la suprafața de contact matrice-agregat;
- asupra betoanelor în stare proaspătă îmbunătățește lucrabilitatea, în condițiile diminuării cu circa 10 % a apei de amestecare, reducând și tendința de segregare a amestecului de beton;
- la betoanele în stare întărită, mărește rezistențele mecanice cu 10...25 %, iar în cazul utilizării agregatelor calcaroase la prepararea betoanelor de ciment rutiere, unde consumul de ciment este redus cu 20 kg/m³, se obține un spor de rezistență la compresie cu 24 % mai mare decât la betoanele martor;

În cazul preparării betoanelor de ciment rutiere cu cenușă de la C.T.F. Anina ca substituent al cimentului în procent de 20 %, se obține o economie de ciment de 40 kg/m³, paralel cu asigurarea unor caracteristici fizico-mecanice corespunzătoare;

- datorită îmbunătățirii adhezivității dintre matrice și agregat, aditivul superplastifiant ADEX imprimă îmbrăcăminții rutiere din beton de ciment un grad de impermeabilitate ridicat (P 14) și o rezistență la îngheț-dezghet mare (G 100), aspecte ce conduc la creșterea fiabilității acestuia.

Tratarea suprafeței de rulare a unei îmbrăcăminți rutiere din beton de ciment, după metoda și tehnologia experimentată de autor, utilizând soluție de hipoclorit de calciu, conduce la obținerea următoarelor avantaje;

- rezistențele mecanice ale stratului de beton de la suprafața îmbrăcăminții rutiere, prezintă un spor de 14...31 % la vârsta de o zi după tratare și de 7...10 % la un an, după efectuarea celei de a treia stropiri;

- permeabilitatea îmbrăcăminții rutiere este practic zero, fapt ce conduce la creșterea gradului de fiabilitate a îmbrăcăminților rutiere;

Dozajul optim este de $1,2 \text{ L/m}^2$ la un conținut de clor activ de 3 %, dar se impune ca înaintea aplicării acestei soluții, să se facă testări în laborator pe betoanele ce urmează a fi puse în operă.

Urmare studiilor și cercetărilor întreprinse asupra procesului de fisurare a betoanelor de ciment rutiere puse în operă, se pot trage următoarele concluzii:

- înainte de utilizarea oricărui lot de ciment, trebuie făcute determinări asupra existenței prizei false la ciment, iar în caz afirmativ, se poate utiliza numai cu luarea următoarelor măsuri: reamestecarea în situ și revibrarea betonului proaspăt fără adaos de apă, după care procesul de întărire al betonului decurge normal;

- cunoașterea deformațiilor betonului în procesul de întărire, conduce la stabilirea distanței optime dintre rosturile de contracție la îmbrăcămințile rutiere din beton de ciment în funcție de caracteristicile betoanelor puse în operă.

Un rol important în acest caz îl au caracteristicile agregatelor utilizate, care pot influența lungimea dalelor.

Modelul matematic pus la punct de autor, permite stabilirea distanței optime dintre rosturile de contracție la o îmbrăcămințe rutieră din beton de ciment, în funcție de caracteristicile fizico-mecanice ale betoanelor, în special în cazul preparării betoanelor cu materiale netradiționale. Exemplu, la betoanele preparate cu agregate calcaroase, lungimea minimă a dalei este de 12,0 cm, aspect cu implicații tehnice și econo-

mice favorabile pe toată durata de exploatare:

- reducerea rosturilor de contracție cu 50 % determină o diminuare tot cu 50 % a cheltuielilor de realizare și de întreținere a lor;

- rosturile de contracție constituie puncte sensibile la o îmbrăcăminte rutieră din beton de ciment, ca stare, diminuarea lor conduce la creșterea gradului de fiabilitate.

Urmare studiului privind influența fisurilor asupra fiabilității îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment, se pot trage următoarele concluzii:

- prezența fisurilor și crăpăturilor în dalele din beton de ciment, conduce la apariția și dezvoltarea altor tipuri de defecțiuni ale unei îmbrăcăminți rutiere din beton de ciment, contribuind astfel la diminuarea indicelui de stare a drumului, deci implicit la reducerea fiabilității acestuia;

- în cazul ranforsării structurilor rutiere suple cu îmbrăcăminți din beton de ciment preparat cu agregate calcaroase, pentru aceeași durată de exploatare proiectată, se poate reduce grosimea dalei cu 10 %, comparativ cu situația utilizării unor betoane elastice, fapt confirmat și prin verificarea cu modelele matematice propuse de T.R.R.L. și Kissenmann;

Un rol determinant în activitatea de ranforsare a structurilor rutiere suple cu îmbrăcăminți din beton de ciment, o are tehnologia de așternere și modul de tratare a betonului.

Pe baza experienței acumulate de autor în tehnica ranforsării cu beton de ciment a structurilor rutiere existente, odată cu experimentarea pentru prima dată în țară, a mașinii cu cofraj glisant, destinată execuției îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment, s-au făcut numeroase propuneri de îmbunătățire a tehnicii și tehnologiei de execuție, care au condus în final la realizarea unei mașini cu cofraj glisant, operațională în cadrul D.D.P. Timișoara. Pentru a se asigura mașinii cu cofraj glisant un grad de fiabilitate ridicat, sînt necesare în continuare studii privind dotarea ei cu un micro-computer, capabil să asigure în mod automat direcția de mers și planitatea suprafeței de rulare.

Mașina pentru execuția striurilor la îmbrăcămintile din beton de ciment nou realizate, cît și pentru refacerea striurilor la îmbrăcămintile rutiere vechi, realizată după o concepție proprie a autorului, permite realizarea unei strieri transversale durabile, mărindu-se astfel capacitatea drenantă a suprafeței de rulare, paralel cu asigurarea unei rugozități

geometrice cu $HS > 0,8$ mm, ceea ce conferă circulației rutiere un coeficient de siguranță ridicat.

Colmatarea rosturilor de contracție după tehnologia stabilită de autor, în sensul că în masticul bituminos preparat după normativele în vigoare, se introduce pudră de cauciuc rezultată ca deșeu la Dermatina Timișoara, mărește durabilitatea colmatării sub două aspecte:

- asigură o etanșare perfectă a rostului datorită creșterii adezivității la suprafața de contact mastic-beton;
- procesul de "îmbătrânire" a betonului se reduce, masticul bituminos devenind mai puțin sensibil la variațiile de temperatură și umiditate.

După 6 ani de exploatare, colmatările executate pe D.N. 58 km 0+500-13+500 după această tehnologie, se prezintă într-o stare foarte bună, deci au o durată de exploatare de 2...3 ori mai mare decât în cazul aplicării tehnologiei clasice.

Sectoarele experimentale executate (10) și tehnologiile de lucru experimentate, au condus la concluzia că este posibilă o diversificare a tipurilor de betoane de ciment rutiere, utilizând materiale locale și aditivii superplastifianți prezentați în teză, paralel cu o îmbunătățire a caracteristicilor fizico-mecanice a îmbrăcămintelor rutiere din beton de ciment și o reducere a consumului energetic cu 45...60% iar a prețului de cost cu 20...25%.

Cap. IV. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE.
VALORIFICAREA REZULTATELOR CERCETĂRILOR

Prin orientarea investigațiilor în scopul acumulării de noi cunoștințe asupra unui obiectiv practic, specific sectorului de drumuri, prin desfășurarea cercetărilor ca urmare a cerințelor ridicate de practica producției, prin stabilirea tehnologiilor pentru realizarea la o scară mare a fenomenelor și proceselor evidențiate prin cercetările de laborator, prin finalizarea cu aplicarea și extinderea în producție, cercetările prezentate în teza de doctorat au în principal un caracter aplicativ.

Privite ca fiind o verificare și o transpunere în condițiile țării noastre a informațiilor culese din publicațiile tehnice în domeniu, cu îmbogățirea unor aspecte mai puțin sau deloc abordate în țara noastră, cercetările prezentate în teză asigură implementarea unor noi tehnici și tehnologii la scară națională, în condițiile economisirii eforturilor țării, de cercetare și în același timp, prin lărgirea cunoașterii, fac posibilă o participare mai activă la diviziunea internațională a cercetării științifice și tehnologice.

Oportunitatea studiilor și cercetărilor efectuate este determinată de tendința actuală din sectorul rutier, atât pe plan intern cât și internațional, de utilizare a materialelor locale în scopul diversificării betoanelor de ciment rutiere, a reducerii prețului de cost, paralel cu implementarea unor noi tehnici și tehnologii de execuție a îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment.

4.1. CONCLUZII GENERALE

Lucrarea de doctorat prezintă contribuțiile aduse la studiul fiabilității teoretice a drumurilor în funcție de evoluția traficului rutier, a resurselor alocate ș.a., precum și la ranforsarea structurilor rutiere suple existente, utilizând betoane de ciment preparate atât cu agregate clasice cât și cu materiale locale netradiționale, noi tipuri de superplastifianți și implementarea unor noi tehnici și tehnologii de execuție a lucrărilor de ranforsare.

Cercetările s-au desfășurat în perioada 1980...1988 și au fost efectuate atât în laboratoarele de șantier proprii cât

și în laboratoarele Facultății de construcții și Facultății de chimie din Timișoara, INCERTRANS, ICECHIM și I.C.P.M.M.C. București, în cadrul unor contracte de cercetare încheiate de către D.D.P. Timișoara.

Studiile și cercetările au fost continuate prin experimentări pe teren la scară naturală, care au confirmat rezultatele bune obținute în laborator, sectoarele experimentale atestând o bună comportare în exploatare.

Pentru noile tehnologii de ranforsare a structurilor rutiere suple, folosind betoane de ciment, s-au efectuat calcule de eficiență economică și energetică, în baza cărora au fost evidențiate avantajele pe care le prezintă noile soluții.

Rezultatele cercetărilor întreprinse s-au finalizat printr-o propunere de inovație și două propuneri de invenții la OSIM București.

A. Cu privire la analiza fiabilității drumurilor naționale din județul Caraș-Severin, în funcție de evoluția traficului

Pentru prima dată se face o adaptare a teoriei generale a fiabilității sistemelor în scopul aplicării ei în sectorul de drumuri, stabilindu-se și o metodologie de analiză, utilizând ca instrument de lucru calculatorul.

Pe baza studiilor efectuate privind fiabilitatea drumurilor naționale din județul Caraș-Severin, în funcție de evoluția traficului și în special a traficului greu, s-a ajuns la următoarele concluzii:

- în condițiile tehnice, economice și energetice actuale, drumurile publice cu trafic internațional, în speță D.N.6 Orșova-Timișoara, D.N.68 Caransebeș-Hațeg și cele cu trafic greu (190,0 km), trebuie ranforsate utilizând ca soluție o îmbrăcăminte din beton de ciment rutier;

- din informațiile obținute ca urmare a prelucrării automate a datelor, a rezultat că subrețeaua principală a drumurilor naționale cu structuri rutiere suple (populația EO), a depășit durata de exploatare în proporție de 58 %, privind momentul eficient de ranforsare preventivă;

- adaptarea și dezvoltarea conceptelor și obiectivelor teoriei generale a fiabilității, asigură aplicabilitatea ei în activitățile curente ale sectorului de drumuri;

- cercetarea fiabilității experimentale a drumurilor a scos în evidență sub o formă cuantificată, influența caracteristicilor de construcție, de mediu și de solicitare asupra funcției de fiabilitate. Exemplu, traficul greu (28,1 %) a redus durata de exploatare cu 15...25 %, pentru drumurile naționale din județul Caraș-Severin;

- indicele global privind calitatea de disponibilitate (I.G.C.D.) a drumurilor, poate fi înglobat în sistemul indicatorilor statistici ai economiei naționale, asigurând astfel la acest nivel, prezența drumurilor publice cu funcțiile lor tehnico-economice;

- evaluarea indicatorilor fiabilității teoretice a unei rețele de drumuri, permite cunoașterea modului probabil de comportare în exploatare a drumurilor, în viitor, în funcție de evoluția traficului rutier, furnizând informații obiective, atât de necesare în procesul de luare a deciziilor de către factorii de sinteză, privind organizarea întreținerii și ranforsării drumurilor.

Prin studiile întreprinse s-au creat, dezvoltat și implementat două programe de calcul (FIADEN și DEX) operaționale în cadrul D.D.P. Timișoara și au fost elaborate funcțiile de fiabilitate parametrizate din punct de vedere al tehnicii rutiere, pentru "structurile rutiere tip", oferind operaționalizarea rezultatelor în cadrul Băncii Centrale de Date Tehnice Rutiere (B.C.D.T.R.) din cadrul Direcției Drumuri București.

B. Cu privire la studiul materialelor neconvenționale în scopul utilizării lor la ranforsarea structurilor rutiere suplă

În anul 1983, pentru prima dată în țară, în cadrul Secției de drumuri naționale Caransebeș, s-a luat decizia de ranforsare a structurilor rutiere suplă, utilizând betonul de ciment. Cu această ocazie, s-a propus, cercetat și realizat valorificarea materialelor locale la prepararea betoanelor de ciment rutiere, inițiindu-se pentru prima dată studii și cercetări asupra:

- calcarului de la cariera C. Daicoviciu județul Caraș-Severin;

- cenușa de șist bituminos, de la C.T.F. Anina, ajungându-se la următoarele concluzii:

1. Asupra utilizării calcarului de la C. Daicoviciu
la fabricarea betoanelor de ciment rutiere

După finalizarea cercetărilor, se rețin următoarele:

- agregatele obținute prin concasarea rocii calcaroase, corespund condițiilor impuse în vederea utilizării lor la prepararea betoanelor de ciment;

- prepararea și punerea în operă a betoanelor de ciment rutiere cu agregate calcaroase, se face după aceeași tehnologie ca la betoanele clasice;

- agregatele calcaroase sub formă de cribluri, conduc la îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice ale betoanelor de ciment rutiere, atât în stare proaspătă cât și în stare întărită, datorită adhezivității mari între matrice și agregat;

- consumul de ciment se reduce cu 20 kg/m^3 de beton, pierdutele cu o îmbunătățire a unor caracteristici ale îmbrăcămintei rutiere din beton de ciment (grad de impermeabilitate ridicat, comportare foarte bună la îngheț-dezghet ș.a.);

- contracția la uscare a betoanelor cu agregate calcaroase, este cu circa 50 % mai mică decât la betoanele clasice, fapt ce a impus o reconsiderare a lungimii optime a dalelor din beton ($l_0 = 12,0 \text{ m}$), cu toate repercursiunile tehnico-economice favorabile asupra fiabilității îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment;

- pierderile datorate uzurii prin frecare la suprafața îmbrăcămintei, sînt mai mari cu 45...55 % la betoanele cu agregate calcaroase decât la cele preparate clasic, ca atare suprafața de rulare trebuie tratată prin clutaj cu o rocă dură.

Rezultatele cercetărilor efectuate atât în laborator cât și pe sectoare experimentale, au stat la baza elaborării "Instrucțiunilor tehnice departamentale pentru realizarea îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment cu criblură de natură calcaroasă". Referativ CD 170 - 88.

2. Asupra posibilităților de utilizare a cenușei de în
C.T.B. Anina la prepararea betoanelor de ciment
rutiere.

Urmare studiilor întreprinse, se rețin următoarele:

- cenușa este de tip silico-aluminos, cu un conținut redus de CaO, dar bogată în silice și alumina, prezentînd un potențial hidraulic mediu;

- cenușa de la C.T.B. Anina se poate utiliza la prepa-

rarea betoanelor de ciment cu marcă superioară, ca substituent al cimentului în proporție de max 20 %, obținându-se astfel o economie de ciment de circa 60 kg/m³ beton, B 400;

- în cazul utilizării agregatelor calcaroase, consumul de ciment se reduce cu circa 80 kg/m³ de beton, ca urmare a influenței favorabile a agregatelor (adezivitatea mare la suprafața de contact matrice-agregat);

- rezistențele mecanice caracteristice ale betoanelor de ciment rutiere cu adaos de cenușă, sînt cele determinate la 28 și 90 zile, datorită efectului de încetinire a procesului de întărire a betonului, efect imprimat de cenușă;

- utilizarea aditivilor superplastifianți la prepararea betoanelor cu adaos de cenușă, conduce la obținerea unor betoane rezistente la îngheț-dezghet și cu un grad de impermeabilitate ridicat (P 14).

Imbrăcămintile rutiere din beton de ciment realizate experimental, se prezintă după 3 ani de la darea în exploatare, în condiții foarte bune, fără fisuri sau alte defecțiuni.

C. Cu privire la ranforsarea structurilor rutiere simple.

- folosind imbrăcăminți din beton de ciment

Ranforsarea structurilor rutiere simple, utilizând betonul de ciment, a fost introdusă pentru prima dată în țară sub responsabilitatea autorului, iar cercetările întreprinse în acest sens, au permis să se tragă următoarele concluzii:

- utilizarea aditivilor superplastifianți VIMC-11 și ADEX, cercetați și experimentați de autor în procesul de preparare al betoanelor de ciment rutiere, imprimă acestora caracteristici specifice, deosebit de importante pentru o imbrăcămintă rutieră, dintre care se rețin:

. lucrabilitate bună la o reducere a apei de amestecare cu 10 %;

. elimină contracția plastică, generatoare de fisuri în procesul de întărire a betonului;

. aditivul ADEX mărește aderența la suprafața de contact matrice-agregat cu 25...40 %;

. se reduce tendința de sedimentare a betonului proaspăt;

. îmbunătățirea caracteristicilor de rezistență și durabilitate a imbrăcăminților rutiere.

Procentul optim de utilizare este de 2,5 % pentru aditivul VIMC-11 și de 1,2 % pentru aditivul superplastifiant ADEX (% din masa cimentului).

Tratarea suprafeței de rulare a unei îmbrăcăminti rutiere din beton de ciment cu hipoclorit de calciu, $\text{Ca}(\text{ClO}_2)$, soluție studiată și experimentată de autor, conduce la obținerea următoarelor avantaje:

- creșterea rezistențelor mecanice ale stratului de beton de la suprafața îmbrăcăminti, cu 14...30 % la vîrsta de o zi după tratare și cu 7...10 % la un an;

- datorită colmatării porilor și microfisurilor din beton, permeabilitatea îmbrăcăminti rutiere devine practic zero, contribuind astfel la creșterea gradului ei de fiabilitate;

Doza optimă de soluție pentru o stropire, este de 1,2 l/m², la un conținut de clor activ de 3 %.

Pentru evitarea apariției în masa betonului a microfisurilor și fisurilor datorate contracției plastice a betonului și a prizei false (posibile) a cimentului, am ajuns la concluzia că trebuie efectuate următoarele operații:

- determinarea existenței sau nu a prizei false la ciment;

- reamestecarea in situ și revibrarea betonului proaspăt fără adaos de apă, după care procesul de întărire al betonului decurge normal.

Pe baza caracteristicilor fizico-mecanice ale betoanelor de ciment rutiere experimentate, modelul matematic definit de autor, permite stabilirea distanței optime dintre rosturile de contracție la îmbrăcămintele din beton de ciment executate cu agregate calcaroase sau de altă natură, cu următoarele avantaje:

- se evită apariția fisurilor datorită contracției betonului, ca urmare a stabilirii lungimii optime a dalei de beton în funcție de deformațiile specifice, caracteristice betoanelor de ciment rutiere;

- la betoanele preparate cu agregate calcaroase, lungimea optimă a unei dale este de 12,0 m.

Modelul matematic este util în cazul folosirii unor materiale netradiționale la fabricarea betoanelor de ciment rutiere, unde lungimea optimă a dalei nu se poate stabili prin asimilare sau extrapolare.

Tehnologia de execuție a îmbrăcăminților rutiere rigide utilizând mașina cu cofraj glisant, tehnologie experimentală și definitivată pentru prima dată în țara noastră sub conducerea directă a doctorandului, conduce la:

- creșterea ritmului de execuție de 4...6 ori paralel cu o reducere a forței de muncă cu 60 %, în comparație cu metoda clasică;

- o calitate corespunzătoare a execuției îmbrăcăminței, paralel cu o reducere a cheltuielilor de producție cu 40...50%.

Strierea suprafeței de rulare a unei îmbrăcăminți din beton de ciment, cu mașina de striat concepută și realizată de autor asigură o striere transversală durabilă paralel cu:

- asigurarea unui drenaj corespunzător al apelor de pe suprafața de rulare a îmbrăcăminței;

- asigurarea unei rugozități corespunzătoare (H.S. mai mare decât 0,8 mm) la suprafața de rulare, crescând astfel coeficientul de siguranță privind circulația rutieră.

Tehnologia de colmatare a rosturilor cu pudră de cauciuc introdusă în masticul bituminos, este avantajoasă din punct de vedere tehnic și economic, mărindu-se durabilitatea colmatării de 2...3 ori, iar cheltuielile de întreținere a unui metru linear de rost, se reduc cu 40...60 % pe an.

4.2. SINTEZA PRINCIPALELOR CONTRIBUȚII ORIGINALE ALE TEZEI DE DOCTORAT

În baza celor prezentate, se apreciază că principalele contribuții ale tezei de doctorat sînt:

1) Adaptarea teoriei generale a fiabilității produselor la specificul lucrărilor de drumuri, ceea ce permite o prognozare a evoluției calităților funcționale ale drumurilor în exploatare, utilizînd metode statistico-matematice.

2) Paralel cu definitivarea metodologiei de calcul a fiabilității drumurilor, am contribuit la crearea, dezvoltarea și implementarea în Sistemul Informațional (S.I.) al D.D.P. Timișoara a două noi programe de calcul: DEX - privind durata de exploatare a drumurilor și FIADEN - fiabilitatea drumurilor.

3) stabilirea caracteristicilor fizico-mecanice ale agregatelor de natură calcaroasă provenite de la cariera C. Daicoviciu, județul Caraș-Severin și a tehnologiei de ranfor-

șare a structurilor rutiere suple, existente, cu îmbrăcăminți din beton de ciment rutier, preparat cu agregate de natură calcaroasă.

4) Realizarea unui model matematic privind stabilirea distanței optime dintre rosturile de contracție la îmbrăcămințile rutiere din beton de ciment realizate cu agregate calcaroase sau cu alte materiale netradiționale.

5) stabilirea prin cercetări de laborator a compoziției chimice și mineralogice a cenușei de la C.T.E. Anina, în scopul utilizării ei la prepararea betoanelor de ciment rutiere.

6) Definitivarea tehnologiei de preparare a betoanelor de ciment rutiere, utilizând cenușa de la C.T.E. Anina ca substituent parțial al cimentului și aditivul superplastifiant VIMC-11.

7) Stabilirea prin încercări de laborator și pe sectoare experimentale a tehnologiei de utilizare a aditivului superplastifiant ADEX la prepararea betoanelor de ciment rutiere.

8) Explicarea teoretică și verificarea experimentală a prizei false a cimentului precum și stabilirea tehnologiei de prevenire a fisurilor datorate contracției plastice a betonului și a prizei false a cimentului.

9) Contribuții la stabilirea și perfecționarea tehnologiei de ranforsare a structurilor rutiere suple, utilizând mașina cu cofraj glisant, în premieră pe țară.

10) Explicarea teoretică și definitivarea pe cale experimentală a tehnologiei de tratare a suprafeței îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment cu soluție de hipoclorit de calciu, în scopul măririi gradului de fiabilitate al acestora.

11) Conceperea și realizarea mașinii pentru executarea striurilor la îmbrăcămințile rutiere noi și refacerea striurilor transversale la îmbrăcămințile din beton de ciment rutier cu suprafața de rulare șlefuită.

12) Contribuții la introducerea și dezvoltarea științei și tehnologiei de ranforsare a structurilor rutiere suple, folosind diferite îmbrăcăminți din betoane de ciment rutiere.

4.3. VALORIFICAREA REZULTATELOR CERCETĂRILOR

Studiile bibliografice și cercetările prezentate în teza de doctorat sînt valorificate astfel:

1) Introducerea începînd cu anul 1983, pentru prima dată în țară, a ranforsării structurilor rutiere suple, existen-

te, folosind îmbrăcăminți din beton de ciment.

2) Pe baza studiilor și cercetărilor efectuate, s-a intrat în obiectul productiv pentru realizarea betoanelor de ciment rutiere, zăcămintele de calcar existente în cariera din comuna C. Daicoviciu, județul Carag-Severin.

3) Se valorifică pe baza cercetărilor proprii cenușa de la C.T.F. Anina, la prepararea betoanelor de ciment rutiere.

4) Urmare adaptării teoriei generale a fiabilității în sectorul de drumuri, s-a dezvoltat Banca de Date Rutiere cu două noi programe de calcul: FIADRN și DEX, destinate studiului fiabilității drumurilor.

5) Implementarea și dezvoltarea tehnologiei de ranforsare a structurilor rutiere existente, utilizând mașina cu cofraj glisant.

6) Extinderea gamei de utilaje prin realizarea mașinii pentru executarea striurilor la îmbrăcămințile rutiere rigide.

7) Introducerea în tehnica preparării betoanelor de ciment rutiere a două noi tipuri de superplastifianți: VIMC-11 și ADEX.

8) Pe baza studiilor și cercetărilor întreprinse, s-a introdus pentru prima dată în țară tehnologia de execuție a îmbrăcăminților din beton de ciment preparat cu agregate calcaroase.

9) Studiile și cercetările experimentale prezentate au fost efectuate în cadrul a 4 contracte de cercetare științifică, la două din contracte autorul participând în calitate de responsabil temă.

10) Participarea în calitate de colaborator alături de INCERTRANS București la elaborarea "Instrucțiunilor tehnice departamentale pentru realizarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment cu criblură de natură calcaroasă, indicativ CD 170-88.

11) Elaborarea și implementarea unui model matematic pentru stabilirea lungimii optime a dalelor din beton, aferente unei îmbrăcăminți rutiere rigide.

12) Pe baza cercetărilor proprii, s-a introdus în tehnica execuției îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, metoda tratării cu soluție de hipoclorit de calciu.

13) Două propuneri de invenții și o inovație.

14) Publicarea a 16 lucrări științifice, din care 12 în țară și 4 în străinătate: Sofia, mai 1982: Intereuropean

Regional Conference; Belgia, octombrie 1987: XVIII World Road Congress; Suedia 1985, 1987: Conference on Transport Research and Workshop on Road Traffic and Safety.

B I B L I O G R A F I E

1. ABRACHE, M., Etudes sur l'uni des revêtements routiers et le confort des véhicule automobile. Rapport des recherche, Paris, L.C.P.C., 1974.
., American Concrete Institute, Committee 211, Basic principles of concrete mix design. Proc. of a Symposium on Mix Design and Quality Control of Concrete, p.p.3 - 18, Londra, August 1979.
3. ADAM, V., The Louisiana Maintenance Management System - Highway Research News, nr.37, 1969.
4. AFFHOLDER, M., Générativités. Collogue Int. Sous - produits et déchets dans le genie civil. Vol.III, Paris, 1970.
5. ALTMAN, P.C., Very High Strength Cement for very High Strength Concret. Material Research Society, Boston, 1984.
6. ALEXANDRE, J., Revue Generale des Routes et des Aerodromes Nr. 472, p.24 (1972).
7. ANDREI, R., Metode statistice aplicate la drumuri, Editura Tehnică, Bucureşti, 1983.
8. APERSE, S. C., Studiu experimental al unei șosele din beton de ciment. Din: Revue Générale des Routes et des Aerodromes, Franța, nr. 524, oct. 1976, p. 75-82.
9. AVRAM, C., BOB, C., Noi tipuri de betoane speciale, Editura Tehnică, Bucureşti, 1980.
10. AVRAM, C., VOINA, M., MURSH, O., MIHAILESCU, A., RBNATU, I., ~~DEHELEANU, G.~~ și ~~NICOARA, L.~~, Folosirea tehnologiei vibrații la executarea îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment. In Revista transporturilor, nr.11, Nov. 1979.
11. AVRAM, C., MIHAILESCU, A., DRAGOI, I., CHIDIOSAN, V. și FLURRAS, G., Contribuții la îmbunătățirea calității îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment. In: ~~Construcții în transporturi~~, vol XX, 1970.

12. BOJENOV, I. M., Tehnologhia betona, Moskva, 1978.
13. BIRMAN, D., Ergebnisse von Longzeitmessungen an Betondecken.
In: Strasse und Autobahn, 1/1988, Bonn.
14. BURNEI, G., Betoane de ciment preparate cu agregate calca-roase. Al VI-lea simpozion cu tema: Noi tehnologii rutiere pentru reducerea consumurilor materiale, energie și combustibili, Timișoara, 1988.
15. BURNEI, G., Noi tipuri de superplastifianți. Referat susținut la C.P.C.D., București, 1986.
16. BLOOD, N., Report on the Illinois Maintenance Management Program, Illinois, 1968.
17. BOB, G., Unele considerații privind fisurarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, Studiu, Timișoara, 1984.
18. BURNEI, G., Tendencias in interurban road traffic volumes evolution and perspectives of the development of national roads and motorway network in Romania. Workshop on Road Traffic and Safety, october, 1987, Linköping, Sweden.
19. BURNEI, G., Betoane cu superplastifianți, Bazina comunității, Orșova, 1977.
20. BURNEI, G., Studiul stării de viabilitate a rețelei de drumuri naționale din cadrul S.I.R.D.S.C. Caransebeș, Referat Tehnic, 1981.
21. BURNEI, G., Analiza calității ranforsărilor executate utilizând criterii și metode statistice specifice, Referat teză doctorat, Timișoara, 1988.
22. BOICU, M., Contribuții la introducerea unor metode și tehnologii rutiere în condițiile economisirii materialelor energo-intensive, Rezumat teză doctorat, I.P. Timișoara, 1983.
23. BOICU, M., NICOARA, L., ș.a., Autostrăzi, Editura Tehnică, București, 1981.
24. BARON, T., Calitate și fiabilitate, vol I și II, Editura Tehnică, București, 1988.
25. BARON, J., Mesures du premier retrait des betons hydrauliques. Colloque rilem, 1978, Madrid.
26. BRACHET, M., La première fisuration d'un beton routier. Bull Liaison. Labo. Routiers P. et Ch. nr. 26, 1967.

27. BRACHET, M., Mortiers et bétons, Maitriser les fissurations, 1968.
28. BOMBLED, J. P., Mesures de finesse dans l'industrie des liants hydrauliques, Ciments and Bétons, nr. 628, 629, 1968.
29. BERTMIER, J., Directive pour la réalisation des chaussées en béton de ciment, Paris, mai, 1968.
30. BORDONADO, G., Rezultate obținute asupra dalei groase de beton, pe A₂₆, Traducere din: Revue Générale des Routes et des Aerodromes, Franța, nr. 599, 1982, pag. 4-6.
31. CZERNIN, W., Revue des Materiaux de Construction et de Travaux Publics, nr. 545, 1961.
32. CYROT, D., Les banques de données routieres, Routes et Aerodromes, nr.493, 1973, Paris.
33. COQUAND, R., Drumuri, vol. II, Construcție și întreținere, Editura Tehnică, București, 1968.
34. CATANA, N., Caraș-Severin, Editura Sport Turism, Timișoara, 1981.
35. COLOMBIER, C., Caractérisation de la qualité des laitiers granulés par le coefficient d'activité. Bull. liaison. Lab. Ponts et Chaussées, Special Q, 1970.
36. Dorobanțu, S. ș. a. Drumuri, Editura Tehnică, București, 1980.
37. DEHBI, C. E., A researcher Looks at Maintenance Management in a System Context. Highway Research Board, Special Report, 1968, Washington.
38. DORSAY, V. L., Approach to Maintenance Management. In H.R.B., 1968, Washington.
39. DEHBI, C. E., Noue - produse industriale, XVI-le Congres Mondial de la Ruté, Question I, Rapport R.F. d'Allemagne, Vienne, 1979.
40. DIGNAT, P., COLOMBIER, G., Etudes sur le phénomène de prise des laitiers granulés. Bull. liaison Lab. P. et Ch., Special Q, 1970.
41. DUMITRU, L., NADU, F., ș. a., Valorificarea zgurelor de oțelărie, Sesiunea științifică a ICM, București, sept., 1979.
42. DUTRON, P., Sels et routes en beton de ciment. Bull. liaison, Lab. P. et Ch. nr. 3/1968, Paris.

43. DUTRON, P., Béton de ciment et technique routiere. Bull. liaison, Lab. P. et Ch, nr.9/1969, Paris.
44. EISENMANN, J., Anflügen einer Fahrspur aus Beton. In: Strasse und Autobahn, 1/1986, Bonn.
45. FAGERLUND, G., Materaux et Constructions, 4. p.271, (1971)
46. FODOR, G., ANGHELUTA, C., Raza de curbură a suprafeței deformate sub solicitarea sarcinii unui autovehicul, criteriu în aprecierea calității complexului rutier, A V-a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri, Vol.2, Timișoara, 1978.
47. FODOR, G., Metodă de dimensionare la oboseală a sistemelor rutiere nerigide, Revista Transporturilor și Telecomunicațiilor, nr.1, 1981.
48. FODOR, G., PADURE, F., DUDA, I., Considerații asupra stării de efort și deformație sub solicitarea traficului a structurilor rutiere nerigide, Sesiunea științifică jubiliară a I.P. Cluj-Napoca, Vol. Fundații Drumuri, 1978.
49. FODOR, G., IONESCU, N., UDVARDY, L., LUCACI, G., Cunoscerea stării tehnice a drumului, necesitate stringentă pentru întreținerea eficientă și economică a acestuia. Comunicare științifică la Simpozionul Filialei din Timișoara, a Academiei R.S.R., mai 1986.
50. GRUDEMO, A., Cement and concrete Reserch. 9(1).p. 19, anul 1979.
51. GNIHARD, G., LAVAND, J., Une méthode de colmatage des fissures. Bull. liaison, Lab. P. et Ch., nr. 99, 1979.
52. HERTTINGER, M., La propriété des granulats. Le calcaire dur dans les assises de chaussées. Revue Générale des Routes et Aerodromes, nr.459, 1970.
53. HANIZIN, K. Z., ș.a., Cercetarea dependenței activității betoanelor de calcar cu ciment și cenuză. Din: Kompleksnoe ispolzovanie mineralnogo sirii, U.R.S.S., 1983, nr.7. p. 58-61.

54. HELLENBROICH, TH., Dranarea apei la îmbrăcămințile de beton de ciment, aplicate pe straturi impermeabile. Traducere din: *Strassen und Tiefbau*, 38, nr. 6, 1984, p. 5-17.
55. HEINRICH, P., O nouă metodă de testare pentru determinarea comportării la dilatație al metalelor de colmatare a rosturilor. Din: *Die Strasse, R.D.G.*, 22, nr.12, dec. 1971, p. 416-418.
56. BOBB, D. W., *Materiaux et Constructions*.4(20), p.108, 1971.
57. ILIESCU, D., *Statistici și toleranțe*, Editura Tehnică, București, 1979.
58. IVANOV, E. M., *Beton și Jelezobeton*, 22(5) p.20-22, Moscova, 1976.
59. JORGENSEN, R. E., *Designing and Installing a Highway Maintenance Management System - Highway Research Circular*, nr. 42, august 1966, Washington.
60. JABLONSKI, K., *Sous - produits industriels*, XVI-e Congrès Mondial de la Route, Vienne, 1979, Question I, Rapport Pologne.
61. JEUFFROY, G., *Conception et construction des chaussées*. Tome I. Ed. Eyrolles, Paris, 1967, p.204-222.
62. JONEAUX, R., *Utilisation des matériaux locaux non traditionnels pour la construction des chaussées* Rapport France, Question VII, XIV - e Congrès Mondial de la Route, Prague, 1971.
63. KURT, M., *Beton rutier cu plastifiant*. Din: *Drogownictwo*, R.P.P., nr. 4-5, 1983, p. 103-105.
64. KOVALEV, N. S., *Cu privire la tratarea îmbrăcăminților din beton de ciment*. Traducere din: *Stroitelstvo i Arhitektura*, U.R.S.S., Nr. 3, 1982, p. 126-129.
65. L'HERMITE, R. G., *Fourth Inter. Simp. Chemistry of Cement*, Washington, Vol. II, p. 659 (1960).
66. LANORE, R., MICHEL, J., *Les renforcements coordonnés vers de la D D E*. Din: *Revue Generale des Routes et des Aerodromes*, Franța, nr. 615, 1985, p. 47-52.

67. LUCACI, G., Contribuții la studiul și realizarea unor
turi asfaltice și îmbrăcămînți bitumi-
noase cu consum redus de energie. Teză
Doctorat, Timișoara, 1986.
68. KOVALEV, N. S., Cu privire la tratarea îmbrăcămînților din
beton de ciment. Din: Stroitelstvo i
Arhitektura, U.R.S.S., nr. 3, 1982, p.
126-139.
69. MUNTEANU, V., Considerații privind strategia rutieră. Teză
doctorat, I.P. Timișoara, 1984.
70. MANESCU, M., Cibernetica economică, Editura Academiei RSR,
București, 1979.
71. MANESCU, M., Viziunea spațio-temporală asupra sistemelor
cibernetic-economic. In: Cibernetica.
Aplicații în economie. Editura Academiei
R.S.R., București, 1982.
72. MAYHEW, H. C., Analysis of the Performance of Experimental
Concrete Roads in Britain Workshop on
the theoretical Design of Concrete Pa-
vements. Epen, 1986.
73. MURESAN, V., Valorile și criteriile eficienței, Editura
Politică, București, 1986.
74. MIHOȘ, G., Bazele matematice ale teoriei fiabilității. Edi-
tura Daota, Oluș-Nașoara, 1976.
75. MIHOȘ, G., MICU, N., Teoria probabilităților și statistica
matematică. Editura Didactică și Pedago-
gică, București, 1980.
76. MOLDOVAN, V., Aditivi în betoane, Editura Tehnică, Bucu-
rești, 1978.
77. MÜLLER, W., Aspecte cu privire la analiza rezistenței be-
toanelor de ciment, cu ajutorul statis-
ticii matematice. Din: Die Strasse, nr. 9,
cap. 25, pag. 23-25, 1985.
78. McCULLOUGH, B. F., Selection of Pavement Joint Sealant Ma-
terial. In: Transportation Engineering
Journal of ASCE, SUA, 108, nr. TE₂, mar.
1982, p. 137-155.
79. NEVILLE, A. M., Proprietățile betonului, Editura Tehnică,
București, 1979.
80. NICOARĂ, L., PAUNESCU, M., BOB, C., BILTUIU, A., Indrumăto-
rul laboratorului de drumuri. Editura
Tehnică, București, 1985.

81. NICOARA, L., MUNTEANU, V., IONESCU, N., Intreținerea și exploatarea drumurilor. Editura tehnică București, 1979.
82. NICOARA, L., UDVARDY, L., Unele considerații privind evaluarea eficienței economice și sociale a construcției și întreținerii drumurilor - In: A VI-a consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri, Tugnad, decembrie, 1982, Ediția M.T.T.c., vol. I, București, 1984.
83. NOVAK, Z., Symposium on Fly Ash Utilization, 3 d, Pittsburg 1973.
84. NICOARA, L., UDVARDY, L., BROLA, E., Previziuni privind necesitatea execuției ranforsării complexelor rutiere nerigide - In: Bulletin rutier, M.T.T.c., D.D., nr. 3-4, 1977, București.
85. NICOARA, L., Curs de drumuri, I.P.T.V., Timișoara, 1987.
86. NICULESCU, D., Calitate, Fiabilitate, Mentenanță. A.M.C., vol.18-19, Editura Tehnică, București, 1975.
87. NICOARA, L., ș.a., Curs. Proiectarea și construcția drumurilor, vol. II. Tehnologii neconvenționale, I.P.T.V., Timișoara, 1988.
88. NICOARA, L., BILTIU, A., Imbrăcămintă rutiere moderne, Editura Tehnică, București, 1983.
89. NITU, V. I., IONESCU, C., Fiabilitate în energetică, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
90. NICOLAEV, A. A., Utilization des materiaux locaux non - traditionnels pour la construction des chaussées. Rapport U.R.S.S., Question VII.XIV-e Congrès Mondial de la Route, Prague, 1979.
91. NICOLAS, H-J., Sous-produits industriels. Rapport Grande-Bretagne, Question I, XVI-e Congrès Mondial de la Route, Vienne, 1979.
92. PANAITI, V., MUNTEANU, R., Control statistic și fiabilitate. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
93. POPESCU, E.M., Materiale de construcții din deșeuri industriale, Editura Tehnică, București, 1974.

TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

94. PRANDI, E., Traitement des graves, au ciment et au laitier granule. Bull. Liaison. Routiers P. et. ch. nr. 25, 1967.
95. PAREY, Ch., Les centrales de béton routier. Contrôles en cours de fabrication et contrôles a posteriori. Bull. Liaison. P. et Ch. nr. 30, 1986.
96. PFFIFER, L., Prelucrarea prescripțiilor pentru construcția drumurilor din beton. Din: Die Strasse, cap. 26, nr. 10, 1986.
97. PFTFIS, H., Utilizarea cenușilor volante. Betonstein Zeitung, 1957, nr. 1, 1955.
98. POPOLOV, A. S., Betoane pentru drumuri, din materiale locale. Traducere din: Avtomobilnie darogi, U.R.S.S., nr. 10, 1982, pag. 14-15.
99. PIER, F. T., Autostrada și siguranța circulației, Traducere din: Autostrade, nr. 1, 1986, p. 4-10.
100. PFFIFER, L., Mișcările marginilor la drumurile din beton fără rosturi. Din: Die Strasse, 27 ian 1982, p. 15-18.
101. RAČANEL, I., Contribuții privind studiul comportării și calitățile îmbrăcăminților din beton de ciment la acțiunea factorilor climaterici. Rezumat teză de doctorat. Institutul de Cercetări, București, 1980.
102. ROBER, H., RYAN, W.G., Colloque Inter. Rilem. Retrait des bétons hydrauliques. Madrid IV-D, 1968.
103. RUMSISKI, L. Z., Prelucrarea matematică a datelor experimentale. Indrumar. Traducerea din limba rusă. Editura Tehnică, București, 1974.
104. RUFFORD, P. G., Analiză a îmbrăcăminților rutiere și procedeul de proiectare structurală bazat pe deflexiuni, U.S.A., 1984.
105. RUI, L., Utilizarea difracției de raze X în mineralogia argilelor. Lucrare de diplomă, Catedra de Fizică atomică și nucleară, 1984.
106. RAY, M., La composition des bétons. Bull. Liaison, Labo. P. et Ch. nr. 84, 1976.
107. RAY, M., O nouă structură de zonă, Dala grossă din beton calcaros. Revue Générale des Routes et des Aerodromes, Franța, nr. 581, dec. 1981, p. 21-31.

108. HAY, M., Panorama des chaussées françaises en béton de ciment. Revue Générale des Routes et des Aerodromes, nr. 582, dec. 1981, Paris.
109. RENAULT, D., Dégradations de la route et barrières de dégel. Din: Ingenieurs de l'Automobile, Franța, nr. 2, febr. 1982, p. 11-15.
110. STELEA, L., UDVARDY, L., Metode și tehnici cibernetico-informatică aplicată în conducerea activităților de modernizare a drumurilor publice din sud-vestul țării. În: Cea de a IV-a Conferință națională de cibernetică, București, 1987.
111. STANCIULESCU, Fl., Dinamica sistemelor mari. Editura Academiei R.S.R., București, 1982.
112. STELIAN, M., Mașini de construcții și pentru prelucrarea agregatelor. Editura Tehnică și pedagogică București, 1980.
113. SAUTERFY, R., Allocution d'ouverture. Colloque Int. Sous-produits et déchets dans le genie civil. Vol. III, Paris, 1978.
114. SOKOLOV, I. B., Filtrația și protivodavlenie vodi v betone. Moskva, Energhia, 1977.
115. SOFOCLI, S., Contribuții la determinarea solicitărilor din trafic. Din: Die Strasse, R.D.G, 22, nr. 12, dec. 1982, pag. 419-422.
116. SEVCENKO, V. I., Tratarea energetică a rezistenței la sfărâmare a betonului de ciment. Din: Beton și Jelezobeton, URSS, 358, nr.1, ian. 1985, p. 35...36.
117. SESTOPEROV, S. V., Tehnologia beton. Moskva, 1977.
118. SOMMER, H., Materiale noi pentru tratamentul suplimentar al betonului și folosirea lor în construcția de drumuri în Austria. Din: Strasse und Autobahn, RFG, nr. 4, 1985, p. 152...154.
119. TEORIANU, I., Durabilitatea betonului, Editura Tehnică, București, 1982.
120. TIRON, M., Prelucrarea statistică și informațională a datelor de măsurare, Editura Tehnică, București, 1976.
121. TODOR, D., Analiza termică a mineralelor, Editura Tehnică, București, 1972.

122. TULLIU, D., TURCU, M., Posibilități de obținere a unor agregate artificiale din zgură brută de furnal. Revista Transp. și Telecomunicațiilor, nr. 3, 1981.
123. TEOREANU, I., Bazele tehnologiei lianților. Editura Tehnică, București, 1975.
124. UDVARDY, L., Propuneri cu privire la o nouă definiție și metodologie de evaluare a duratei de exploatare a drumurilor. In: Comportarea în situ a construcțiilor, Vol.5., Constanța, 1986.
125. UDVARDY, L., Asupra necesității și posibilității dezvoltării sistemului băncii de date rutiere - In: Cercetarea în transporturi la al 6-lea deceniu de activitate, vol. 2., București, 1981.
126. UDVARDY, L., PONORAN, M., Unele propuneri privind caracterizarea drumurilor prin indicatori globali funcționali, statici și dinamici ai calității suprafeței de rulare, Revista Transporturilor, București, 1981.
127. UDVARDY, L., Aplicația informatică OEDIP-R pentru dimensionarea sistemelor rutiere rigide. Sistemul informatic al unităților de direcției Drumurilor din M.T.T.c., 1981.
128. UDVARDY, L., Spre un model cibernetic de optimizare a strategiei rutiere, Referat cercetare aplicată, nr. 6/277, 1986.
129. VOINA, N., Teoria și practica utilizării cenușilor de la centralele termoelectrice, Editura Tehnică, București, 1979.
130. VOINA, N., I-a Conferință privind valorificarea cenușilor de la C.T.F. Deva, 1973.
131. VOINA, N., Procedeu de valorificare complexă și integrată a cenușilor și a altor subproduse similare, Brevet OSIM, 1981.
132. VOINA, N., Use of Thermal analysis for coal and ashes. Symposium, Atlanta, Georgia, SUA, 1981.
133. VOINA, N., Rezistența la gelivitate a betoanelor cu cenușă. Deva, 1973.

134. VASILE, M., Aditivi în betoane, Editura Tehnică, București, 1978.
135. VOINA, N., Materiale de Construcții, Editura Tehnică, București, 1979.
136. VOINA, N. I., Unele metode de cercetare a caracteristicilor cenușilor. Leeds University Conference, 1979.
137. WERNER, W., Măsurii în vederea ameliorării calității în construcția de drumuri din beton de ciment. Traducere din: Bauplanung-Bautechnik, anul 36, caietul 5, mai 1982, pag. 205...208.
138. WERNER, W., BIEDEK, P., SCHULZE, H., Handbuch des Straßenbaus. Berlin-Heidelberg, Springer Verlag, 1979.
139. ZAROIANU, H., Drumuri, Suprastructura. Iași, Institutul Politehnic, 1973, Editura Tehnică.
140. ZANKER, B., Bedeutung der Zwängungsspannungen für das Rissverhalten von Betondecken. In Straße und Autobahn, 10/1986, p. 446, Bonn.
141. x x x Rigidizarea betonului. Raportul cercetării de studii V D Z, Betonni proupratti v Beton, RFG, nr. 4, apr. 1985, p.115-155.
142. x x x Construction nr. 6, 1967. Autoroute A.6 Paris-Lyon.
143. x x x Construction, nr. 7/1967. Réfection partielle de la piste 3 de l'aéroport d'Orly.
144. x x x Revue generale des routes et des aerodromes, nr. 543, 1978. Experimentation d'une nouvelle structure de chaussée en beton sur un chantier d'autoroute.
145. x x x Revue generale des routes et des aerodromes, nr. 581/1976. Le calcaire dur du Tournaisin-Son application dans les Bétons.
146. x x x Economic Comision for Europe-Symposium on the use of Ash in production of concrete, Ankara, 1980.
147. x x x First International Ash Marketing Conference London, 1979.

- | | | | | |
|------|---|---|---|---|
| 148. | x | x | x | Conferința națională de valorificare a cenugilor, Deva, 1973. |
| 149. | x | x | x | I.C.P.M.C. București. Experimentări la scară industrială a folosirii cenușii de sist bituminos de la C.T.F. Anina ca adaos la prepararea betoanelor. Contract 2800/1985. |
| 150. | x | x | x | Cercetări privind executarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment cu adaos de cenușă de la C.T.F. Anina, Facultatea de Construcții, Catedra de drumuri; contract nr. 142/1987, Beneficiar D.D.P. Timișoara. |
| 151. | x | x | x | Instrucțiuni tehnice departamentale privind determinarea stării tehnice a drumurilor moderne, indicativ CD-155/86. |
| 152. | x | x | x | INCERTRANS. Studiu de circulație rutiere pe rețeaua semnificativă de drum din RSR, București, 1988. |
| 153. | x | x | x | Chaussées en béton. Problemes poses par la présence d'eau dans leur structure. In Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées. L.C.P.C., Paris, Numéro Special VIII, Juillet, 1979. |
| 154. | x | x | x | Chaussées en beton. La transfer de charge aux joints transversaux de retrait-flexion et la conception des chaussées en béton. In: Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées L.C.P.C., Paris. Nr. Special, IX, septembre 1979. |
| 155. | x | x | x | A.I.P.C.R. Comité technique des routes en beton. Raport la Congresul Mondial al drumurilor, Bruxelles, 1987. |
| 156. | x | x | x | Calculul energiei implobate în produc. Traducere Institutul Național de Informare și documentare. 04.004., 1989, București. |

EXPLICARE SCURTĂ ȘI ACTIVITATEA DE CERCETARE

	TITLUL DE CERCETARE	Baza de calcul
COMPLUT	Controlul statistic al calității prin măsurare, după principiul "nivelului de calitate acceptabil" AQL.	STAS-3160 = 1,2,3/84
COMPLUT	Calculul corecțiilor liniare și neliniare (prin transformarea de funcții)	Colecția STAS de statistică matematică.
4	Calculul rezistenței elastice al structurilor cu pereți suple și a indicatorilor de capacitate pentru aceste structuri.	Instrucțiuni tehnice INCERTRANS - 1988 și indicatorul ID - 86.
4	Calculul indicatorilor și parametrilor fiabilității experimentale și ai fiabilității teoretice operaționale.	STAS 10307-75 cu adaptări la specificul drumurilor.
4	Calculul regresțiilor liniare și neliniare (prin transformarea de funcții)	Colecția STAS de statistică matematică.
STAS	Trucarea datelor privind recensământurile periodice ale traficului rutier, indicatori etalon, prognoze evoluție ș.a.	Instrucțiuni metodologice MTTC și INCERTRANS CD-31/1984
T.M.C.	Calculul indicatorilor statistici ai vectorilor (momente centrale de ordinul 1...4; dispersii; coeficient de variație, de boltire, de asimetrie, etc.)	Colecția STAS de statistică matematică.
T.M.C.	Determinarea indicelui de planitate a suprafeței de rulare a drumurilor asfaltate, în profil longitudinal.	Instrucțiuni: INCERTRANS-1984 Indicatorul ID-155/86

Rezultatele încercărilor fizico-mecanice pe
epruvete din calcar de la C. Daicoviciu

Caracteristici fizico-mecanice	U.m.	Valori medii
Densitate	g/cm^3	2,787
Densitate aparentă:		
- prin tamponatori		2,741
- prin volum de apă	g/cm^3	2,762
- medie		2,751
Compresivitate	%	98,71
Porozitate totală	%	1,29
Porozitate aparentă	%	0,82
Aborbție de apă		
- în condiții normale	%	0,31
- prin înecare	%	0,33
Coefficientul de saturație	-	0,91
Coefficientul de gelivitate	%	0
Rezistență la compresie		
- în stare uscată		87,0
- în stare naturală	N/mm^2	70,0
- după îngheț-dezghet		66,0
Coefficientul de înmuiere după înmuiere cu apă	%	19,54
Coefficientul de înmuiere după îngheț-dezghet	%	24,14
Conductivitate la rece medie	W/m	1,7
Rezistență la uzură prin frecare pe cale uscată cu nisip natural	J/cm^2 cm^3/cm^2 mm	0,851 0,091 0,91

Rezultatele încercărilor fizico-mecanice efectuate pe agregate din calcar concant provenit de la cariera C. Daicoviciu

(valori medii)

Nr. crt.	Caracteristici fizico-mecanice	U.M.	Cribluri, sort:		Limite valori medii
			7 - 15	15-30	
0	1		2	3	4
1.	Densitatea	(g/cm^3)	2,774	2,774	2,669... 2,88
2.	Densitate aparentă	(g/cm^3)	2,721	2,716	2,464... 2,704
3.	Compactitate	(%)	97,760	97,870	90,890... 98,830
4.	Porozitatea totală	(%)	2,240	2,130	1,170... 9,110
5.	Densitate în gaze				
-	în stare afînată	(kg/m^3)	1358	1337	1252... 1410
-	în stare îndesată	(kg/m^3)	1595	1568	1252... 1810
6.	Absorbție de apă	(%)	0,73	0,68	0,218... 2,20
7.	Coefficient de gravitație	(%)	0	0	0
8.	Valori de goluri				
-	în stare afînată	(%)	49,93	50,77	45,490... 55,00
-	în stare îndesată	(%)	41,19	42,77	45,490... 55,00
9.	Impurități (corpuri străine)		0	0	0
10.	Fracțiuni fine $0...0,075$	(%)	0,5	0,3	0,500... 0,700
11.	Forma surselor	$\frac{h}{r}$	0,69	0,67	c/u: 0,30... 0,630
-			0,42	0,41	c/u: 0,38... 0,700
12.	Rezistența la comprimare prin compresiune în stare afînată	(%)		68,78	63,50... 75,28
13.	Rezistența la comprimare prin compresiune în stare îndesată	(%)		66,67	61,00... 75,00
14.	Rezistența la comprimare prin	(%)		80,33	81,66... 84,00

	1	2	3	4
15. Unghi cu margini top Angulat	(%)	24,00	16,10...	5,80
16. Unghi cu margini Drept	(%)	4,90	4,20...	7,40
17. Coeficient de calitate	(%)	8,19	5,40...	9,52

CAIET DE SARCINI (EXTRAS)

Criblură de natură calcaroasă pentru betoane rutiere de ciment

1. Obiect și domeniu de aplicare

1.1. Prezentul Caiet de sarcini stabilește condițiile tehnice generale de calitate ale criblurilor de natură calcaroasă destinate preparării betoanelor de ciment rutiere, ~~impuse la un trafic greu, mediu, ușor sau foarte ușor.~~

1.2. Criblurile de natură calcaroasă destinate betoanelor rutiere de ciment se produc prin dubla concasare și selecționare a pietrei în sorturile: 8-16 și 16-25.

2. Condiții tehnice de calitate

2.1. Condiții tehnice de calitate pentru rocă.

2.1.1. Caracteristici petrografice-mineralogice.

- a) aspect: omogen, fără urme de degradare fizică, chimică sau mecanică;
- b) natură: calcare organogenă, de precipitație chimică, cristalină, detritice;
- c) textura: compactă;
- d) componente mineralogice: calcit, min. 50 %, lipsă silice, microcristalină sau amorfă care să reacționeze cu alcaliile din ciment.

2.1.2. Caracteristici fizico-mecanice

2.1.2.1. Caracteristici determinate pe epruvete

- a) Rezistența la compresiune în stare uscată pe cuburi: min 80 N/mm²;
- b) Rezistența la îngheț-dezghet pe cuburi (coeficient de înmuiere): max 25 %.

2.1.2.2. Caracteristici fizico-mecanice determinate pe agregate (cribluri)

Caracteristici	Limite de admisibilitate	STAS
1	2	3
Densitatea	min 2 800 kg/m ³	4606-80

1	2	3
Densitatea aparentă	min 2450 kg/m ³	4606-80
Densitatea în grămadă	min 1,2 t/m ³	4606-80
Porozitatea totală	max 5 %	4606-80
Absorbția de apă	max 1,5 %	4606-80
Voluim de goluri	max 55 %	4606-80
Rezistența la sfărâmare prin comprimare pe piatră spartă în stare saturată și la presiune normală.	min 60 %	730-84
Rezistența la sfărâmare prin șoc pe piatră spartă.	min 60 %	730-84
Îzura cu mieșina (os Ang. les)	max 25 %	730-84

2.2. Condiții tehnice de calitate pentru cribluri

- a) corpuri străine: nu se admit;
- b) argilă: max 0,25 %;
- c) părți levigabile: max 1 %.

2.3. Caracteristicile geometrice și granulozitate

Sortul	Dimensiuni mm	% de granule ce trec prin ciurul		Piatră necoresp. % din masă, max	Forma granulelor
		sup.,	inf.		
8-16	8...16	95...100	0...10	15	C/A 0,66
16-25	16...25	95...100	0...10	15	C/A 0,33

CAIET DE SARCINI (EXTRAS)

pentru experimentarea îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment cu agregate din calcar concasat

1. Prevederi generale

1.1. Prezentul caiet de sarcini se referă la executarea experimentală în cadrul D.D.P. Timișoara pe DN 6, la Caransebeș, a îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment de marcă B35e - B40e, cu agregate din calcar concasat și cuprinde condițiile tehnice, prescripțiile de execuție și verificarea calității acestor tipuri de betoane.

1.2. Pe parcursul execuției lucrărilor experimentale, se pot aduce completări sau modificări la prezentul caiet de sarcini.

2. Condiții tehnice

2.1. Elementele geometrice ale îmbrăcămintei ce se va experimenta, vor fi cele indicate în proiectul de execuție al lucrărilor respective, cu excepția cazurilor în care pe un tronșon din sectorul experimental va fi realizată cu 10% față de prevederile din proiect.

2.2. Compoziția betoanelor cu agregate calcarease trebuie să fie următoarea:

- dozajul mediu de ciment P₄₀ va fi de 340 kg/m³ pentru betoanele de marcă B 40e și 320 kg/m³ pentru betoanele de marcă B 35e;

- factorul A/C : max. 0,45 ;

- dozaj aditiv DISAN A : 0,3 % din masa cimentului.

2.2.1. Granulozitatea agregatului total se va înscrie în treptele de granulozitate prevăzute de Normativul C.22-84.

2.2.2. Caracteristicile betoanelor în stare proaspătă vor fi:

- densitatea aparentă: 2400 ± 40 kg/m³;

- lucrabilitatea : max. 3 cm ;

- conținutul de aer oclos : 3 ± 0,5 % .

2.2.3. Caracteristicile betoanelor în stare întărită trebuie să fie următoarele:

- rezistența medie la compresiune la 28 de zile :

- min. 40 N/mm² pentru B 400;
- min. 35 N/mm² pentru B 350;
- Rezistența medie la încovoiere la 28 zile:
 - min. 6,4 N/mm² pentru B 400;
 - min. 6,0 N/mm² pentru B 350.

2.3. Materiale

2.3.2. Se va utiliza nisipul natural de râu în sorturile 0-3, 3-7 sau 0-7 care trebuie să îndeplinească condițiile tehnice de calitate prevăzute de STAS 662-82.

2.3.3. Calcarul concasat de la cariera Ctin. Dăicevicu va fi sub formă de criblură în sorturile: 7-15 și 15-30.

2.4. Din punct de vedere al caracteristicilor fizice - mecanice, grăzele din calcar concasat trebuie să îndeplinească următoarele condiții tehnice:

- rezistența la compresiune: min. 80 N/mm²;
- rezistența la sfărâmare : min. 60 % ;
- uzura cu mazărea Los Angeles: max. 25% ;
- rezistența la îngheț - dezgheț: max. 25%.

Caracteristicile cimentului

1. Fabricat: C.I.A. Deva.
2. Starea de conservare: bună.
3. Finețea de măcinare:
 - suprafața specifică Blaine: 3540 cm²/g.
4. Timpul de priză:
 - apa de amestecare pentru prepararea pastei de consistență normală: 25 %;
 - priza începe după: 1 oră și 15 minute;
 - priza se sfârșește după: 2 ore și 30 minute.
5. Constanța de volum:
 - determinată pe turtă: bună;
 - determinată cu inele Le Chatelier: 1 mm.
6. Rezistențe mecanice

Caracteristica	U.M.	La vârsta de:	
		2 zile	28 zile
Rezistența la compresiune	(N/mm ²)	28,7	47,6
Rezistența la încoviere	(N/mm ²)	5,33	7,97

