

UNIVERSITATEA TEHNICA TIMISOARA  
FACULTATEA DE CONSTRUCTII

Ing. JIPELEAN EUGEN

CONTRIBUTII  
LA REALIZAREA BETOANELOR SI MORTARELOR CU  
ADITIVI SUPERPLASTIFICIANTI

- Teză de doctorat -

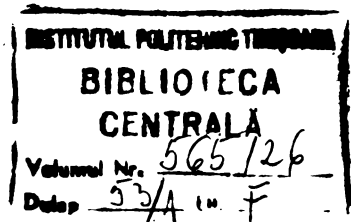
CONDUCATORI STIINTIFICI :

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMISOARA

Prof.emerit ing.  
CONSTANTIN AVRAM  
M.c.al Academiei române

Prof.dr.doc.ing.  
IOAN FILIMON

- 1991 -



## C U P R I I S

CAP.1. INTRODUCERE.....	1
1.1. Principalele avantaje ale betoanelor clasice.....	1
1.2. Tendințe actuale în tehnologia betoanelor.....	2
1.2.1. Îmbunătățirea performanțelor betonului greu obișnuit pentru domenii specifice de folosire.....	2
1.2.2. Crearea de noi tipuri de betoane cu proprietăți fizico-mecanice specifice....	4
1.3. Stadiul actual al cercetărilor în domeniul betoanelor cu aditivi superplastifianți.....	5
1.3.1. Studii și cercetări pe plan mondial.....	5
1.3.2. Studii și cercetări în țară.....	10
1.4. Obiectul tezei de doctorat.....	14
CAP.2. ADITIVII ÎN TEHNOLOGIA BETOANELOR.....	17
2.1. Aditivi clasici pentru betoane.....	17
2.1.1. Considerații generale. Istoric.....	17
2.1.2. Clasificări ale aditivilor.....	19
2.1.3. Mecanismul de acțiune al aditivilor plastifianți.....	23
2.1.4. Aditivi clasici produși și utilizați în România.....	27
2.2. Aditivi moderni pentru betoane: Superplas- tifiantii.....	32
2.2.1. Considerații generale. Istoric, concep- tul de aditiv superplastifiant.....	32
2.2.2. Clasificări ale aditivilor superplas- tifianti.....	33
2.2.3. Considerații teoretice privind mecanis- mul de acțiune al aditivilor superplas- tifianti în beton.....	35
2.2.4. Aditivi superplastifianti produși și utilizați în România.....	39
2.2.4.1. Aditivii superplastifianti VIMC 11 și VIMC 22.....	39
2.2.4.2. Aditivul superplastifiant FLUBET.....	41

CAP.3. PROPRIETATI ALE BETOANELOR SI MORTARELOR CU ADITIVI SUPERPLASTIFIANTI.....	45
3.1. Peste de ciment și mortare cu aditivi superplastifianți.....	45
3.1.1. Influența aditivilor superplastifianți asupra proprietăților pastelor de ciment în stare proaspătă și întărită.....	45
3.1.1.1. Consistența.....	45
3.1.1.2. Timpul de priză.....	55
3.1.1.3. Căldura de hidratare.....	56
3.1.1.4. Constanța de volum.....	56
3.1.2. Influența aditivilor superplastifianți asupra proprietăților mortarelor în stare proaspătă și întărită.....	57
3.1.2.1. Consistența.....	57
3.1.2.2. Timpul de priză.....	59
3.1.2.3. Densitatea aparentă.....	60
3.1.2.4. Volumul de aer oclus.....	60
3.1.2.5. Rezistența la compresiune.....	60
3.1.2.6. Rezistența la tracțiune.....	63
3.2. Betoane grele cu aditivi superplastifianți.....	64
3.2.1. Influența aditivilor superplastifianți și a altor factori de compoziție asupra proprietăților betoanelor în stare proaspătă.....	64
3.2.1.1. Aditivul superplastifiant.....	64
3.2.1.2. Cimentul.....	66
3.2.1.3. Agregatele.....	72
3.2.1.4. Lucreabilitatea.....	74
3.2.1.5. Variație în timp a lucreabilității.....	78
3.2.1.6. Temperatura mediului ambient.....	84
3.2.1.7. Dozarea repetată (redozarea).....	86
3.2.1.8. Intervalul de timp dintre prepararea betonului și adăugarea aditivului superplastifiant.....	90
3.2.1.9. Tratamentele termice.....	92
3.2.1.10. Densitatea aparentă.....	94
3.2.1.11. Volumul de aer oclus.....	94

3.2.1.12. Tendința de segregare.....	95
3.2.1.13. Timpul de priză.....	96
3.2.2. Influența aditivilor superplastifianți asupra proprietăților betoanelor în stare întărită.....	98
3.2.2.1. Rezistența la compresiune.....	99
3.2.2.2. Rezistența la întindere.....	102
3.2.2.3. Rezistența la încovoiere.....	104
3.2.2.4. Aderența.....	106
3.2.2.5. Rezistența la îngheț-dezghet.....	107
3.2.2.6. Modulul de elasticitate static și coeficientul lui Poisson.....	113
3.2.2.7. Alte determinări efectuate asupra betoanelor în stare întărită.....	115
3.2.3. Durabilitatea betoanelor cu aditivi superplastifianți.....	115
CAP.4. STUDII SI CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND IDENTIFICAREA UNUI NOU TIP DE ADITIV SUPERPLASTIFIANT PENTRU BETOANE SI MORTARE.....	119
4.1. Considerații teoretice privind betoanele cu aditivi superplastifianți. Conceptul de beton cu aditiv superplastifiant, definiții, clasificări.....	119
4.2. Condiții de realizare a cercetărilor.....	129
4.3. Scopul programului experimental și etapele de desfășurare.....	131
4.4. Cercetări experimentale privind identificarea unui nou tip de aditiv superplastifiant pentru betoane și mortare.....	132
4.4.1. Testarea preliminară și selecționarea aditivilor pe criterii de optimizare.....	132
4.4.1.1. Materiale componente.....	132
4.4.1.2. Incercări experimentale și rezultatele obținute.....	133
4.4.2. Testarea finală a aditivilor selecționați și definitivarea compoziției aditivului superplastifiant SP4.....	149
4.4.2.1. Incercări experimentale pe betoane grele cu aditivi P4 și P5 și rezultatele obținute.....	149

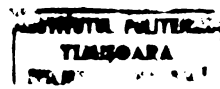
4.4.2.2.	Definitivarea compoziției aditivului superplastifiant SP4. Mod de obținere și caracteristici tehnice.....	156
4.5.	Considerații teoretice și cercetări experimentale privind mecanismul de acțiune al aditivului superplastifiant SP4.....	159
4.5.1.	Considerații teoretice.....	159
4.5.2.	Cercetări experimentale privind mecanismul de acțiune al aditivului superplastifiant SP4.....	160
4.5.2.1.	Cercetări experimentale pe probe de ciment.....	160
4.5.2.2.	Cercetări experimentale pe betoane grele.....	170
4.5.3.	Concluzii privind mecanismul de acțiune al aditivului superplastifiant SP4.....	174
CAP.5.	CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND REALIZAREA BETOANELOR SI MORTARELOR CU ADITIV SUPERPLASTIFIANT SP4.....	176
5.1.	Cercetări experimentale privind tipurile de betoane grele și mortare cu aditiv superplastifiant SP4.....	176
5.1.1.	Betonul fluid.....	176
5.1.2.	Betonul cu raport a/c redus.....	179
5.1.3.	Betonul cu dozaj de ciment redus.....	182
5.1.4.	Concluzii privind utilizarea aditivului superplastifiant SP4 la realizarea betoanelor și mortarelor.....	183
5.2.	Cercetări experimentale privind proprietățile betoanelor grele și mortarelor cu aditiv superplastifiant SP4.....	188
5.2.1.	Influența aditivului superplastifiant SP4 și a altor factori de compoziție asupra proprietăților betoanelor și mortarelor în stare proaspătă.....	188
5.2.1.1.	Aditivul superplastifiant SP4....	188
5.2.1.2.	Cimentul.....	192
5.2.1.3.	Agregatele.....	192
5.2.1.4.	Lucrabilitatea.....	193

5.2.1.5.	Variația în timp a lucrabilității...	198
5.2.1.6.	Temperatura mediului ambiant.....	199
5.2.1.7.	Dozarea repetată(redozarea).....	200
5.2.1.8.	Intervalul de timp dintre prepara- rec betonului și adăugarea aditi- vului SP4.....	202
5.2.1.9.	Densitatea aparentă.....	204
5.2.1.10.	Volumul de aer oclus.....	205
5.2.1.11.	Tendința de segregare.....	206
5.2.2.	Influența aditivului superplastifiant SP4 asupra proprietăților betoanelor și morta- relor în stare întărită.....	206
5.2.2.1.	Rezistența la compresiune.....	207
5.2.2.2.	Rezistența la întindere.....	209
5.2.2.3.	Rezistența prismatică.....	210
5.2.2.4.	Aderența.....	211
5.2.2.5.	Rezistența la îngheț-dezghet.....	212
5.2.2.6.	Densitatea aparentă.....	213
5.2.2.7.	Modulul de elasticitate static.....	215
5.2.2.8.	Modulul de elasticitate dinamic.....	215
5.2.3.	Durabilitatea betoanelor cu aditiv super- plastifiant SP4.....	216

## CAP.6. TEHNOLOGIA BETOANELOR SI MORTARELOR CU ADITIV SUPER-

PLASTIFIANT SP4. APLICATII IN PRODUCTIE.....	225
6.1. Domeniul de utilizare.....	225
6.2. Condiții tehnice pentru materialele componente.....	225
6.2.1. Ciment.....	225
6.2.2. Agregate.....	225
6.2.3. Apă.....	226
6.2.4. Aditiv superplastifiant SP4.....	226
6.3. Stabilirea compoziției betonului cu aditiv super- plastifiant SP4.....	229
6.4. Prepararea și transportul betonului.....	233
6.5. Punerea în operă și controlul calității betonului.....	234
6.6. Măsuri de protecția muncii.....	234
6.7. Domenii de aplicare în producție a aditivului superplastifiant SP4.....	234
6.7.1. Mortare (Sape pentru pardoseli).....	235
6.7.2. Betoane de monolitizare.....	242
6.7.3. Betoane pentru fundații.....	246

6.7.4. Betoane pentru elemente prefabricate.....	247
6.8. Concluzii privind utilizarea aditivului superplastifiant SP4 în tehnologia betoanelor și mortarelor.	248
CAP.7. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUTII SI VALORIFICAREA CERCETĂRIILOR.....	253
7.1. Sinteza studiilor teoretice și a cercetărilor r experimentale din literatura de specialitate .....	253
7.2. Sinteza studiilor teoretice și a cercetărilor ex- perimentale proprii.....	255
7.3. Concluzii finale cu privire la betoanele și mor- tarele cu aditiv superplastifiant SP4.....	257
7.4. Contribuții originale ale tezei de doctorat și va- lorificarea cercetărilor.....	273
BIBLIOGRAFIE.....	277



## CAPITOLUL 1. INTRODUCERE

Remura construcțiilor, care reprezintă una dintre cele mai vechi activități tehnice ale omului și care cuprinde atât industria construcțiilor cât și pe cea a materialelor de construcții, se dezvoltă atât la noi în țară cât și în întreaga lume, în ritm continuu.

Îmbunătățirea performanțelor actualelor materiale de construcție și creerea de noi materiale cu caracteristici tehnico-economice superioare, reprezintă una din căile cele mai eficiente pentru asigurarea progresului tehnic în acest domeniu și a certitudinii realizării unui volum de construcții din ce în ce mai mare. Cercetările în domeniul realizării betoanelor și mortarelor cu aditivi superplastifianți reprezintă o astfel de cale.

### 1.1. Principalele avantaje ale betoanelor clasice

Principalele avantaje ale betonului, cunoscut de peste 2000 de ani și în forma actuală de peste 100 de ani, care îl fac să fie competitiv în comparație cu celelalte materiale de construcții, sînt următoarele /5/, /6/, /7/, /9/, /10/, /30/, /39/, /63/, /118/, /155/:

- materii prime necesare preparării cimentului și agregatelor ieftine și practic nelimitate în toate regiunile globului ; utilizarea materialelor lăoale ; în plus, unele deșeuri industriale sînt folosite tot mai mult în producția de beton ;
- durabilitate mare și cheltuieli de întreținere foarte reduse ; armăturile se conservă bine în beton ;
- rezistențe la compresiune ridicate ;
- rezistență la foc sporită față de celelalte materiale de construcții ;
- posibilitatea de industrializare a lucrărilor de beton și de folosire a tehnologiilor moderne de mare productivitate (cum ar fi, în primul rînd, prefabricarea) ; betonul este apt pentru producția industrială de masă ;
- posibilitate ușoară de a executa elemente și structuri de forme complexe, care să țină seama de necesitățile funcționale, estetice, etc ;
- energie înglobată și preț de revenire mai reduse față de alte materiale de construcție ;
- betonul poate fi folosit în mod practic în toate domeniile construcțiilor, în primul rînd ca material pentru realizarea structu-



rilor de rezistență.

Au apărut comenii noi de folosire a betonului cum ar fi : recipienți de presiune pentru centrale nucleare, rezervoare submarine pentru gaze și produse petroliere, platforme marine flotante, cu diferite destinații, platforme fixe pentru explorarea și exploatarea resurselor submarine de gaze și petrol, vase fluviale și maritime etc.

Ca orice material, betonul greu obișnuit (sau betonul clasic, cum mai este denumit) prezintă și unele dezavantaje, dintre care cele mai importante sînt rezistența redusă la întindere, situație care a dus la "armarea" sa cu bare de oțel (raportul  $R_t/K_c$  variază între 1/6 pentru B50 ( $B_c$  3,5) și 1/15 pentru B600 ( $B_c$  50), densitate aparentă mare și valoare redusă a raportului  $K_c/S_p$ , conductivitate termică  $\lambda$ , ridicată și deci capacitate de izolare ( $1/\lambda$ ) redusă, permeabilitate la apă, coroziune la anumite condiții de mediu și de exploatare.

## 1.2. Tendințe actuale în tehnologia betoanelor

Menținerea competitivității betonului ca principal material de construcție a condus la două căi de dezvoltare /5/ :

- îmbunătățirea performanțelor betonului greu obișnuit ;
- crearea de noi tipuri de betoane cu proprietăți fizico-mecanice sau chimice specifice.

### 1.2.1. Îmbunătățirea performanțelor betonului greu obișnuit pentru domenii specifice de folosire

Această cale de dezvoltare se referă la realizarea unor betoane de înaltă rezistență (rezistență la compresiune de 60-100 N/mm<sup>2</sup> sau chiar mai mult) și a unor betoane speciale pentru domenii specifice de folosire cum ar fi: betoane hidrotehnice, betoane în mediu marin, betoane rutiere, betoane rezistente la diferite agresivități chimice, betoane rezistente la temperaturi înalte, betoane de protecție împotriva radiațiilor, betoane aparente-decorative etc.

Obținerea unor asemenea betoane este legată de mărirea și diversificarea performanțelor materialelor componente (în special a cimenturilor și aditivilor) și de perfecționarea tehnologiilor de preparare și punere în operă.

Astfel, se stipulează realizarea următoarelor tipuri de cimenturi :

rilor de rezistență.

Au apărut comenii noi de folosire a betonului cum ar fi : recipienți de presiune pentru centrale nucleare, rezervoare submarine pentru gaze și produse petroliere, platforme marine flotante, cu diferite destinații, platforme fixe pentru explorarea și exploatarea resurselor submarine de gaze și petrol, vase fluviale și maritime etc.

Ca orice material, betonul greu obișnuit (sau betonul clasic, cum mai este denumit) prezintă și unele dezavantaje, dintre care cele mai importante sînt rezistența redusă la întindere, situație care a dus la "armarea" sa cu bare de oțel (raportul  $R_t/k_c$  variază între 1/6 pentru B50 ( $B_c$  3,5) și 1/15 pentru B600 ( $B_c$  50), densitate aparentă mare și valoare redusă a raportului  $k_c/\rho_b$ , conductivitate termică  $\lambda$ , ridicată și deci capacitate de izolare ( $1/\lambda$ ) redusă, permeabilitate la apă, coroziune la anumite condiții de mediu și de exploatare.

## 1.2. Tendințe actuale în tehnologia betoanelor

Menținerea competitivității betonului ca principal material de construcție a condus la două căi de dezvoltare /5/ :

- îmbunătățirea performanțelor betonului greu obișnuit ;
- crearea de noi tipuri de betoane cu proprietăți fizico-mecanice sau chimice specifice.

### 1.2.1. Îmbunătățirea performanțelor betonului greu obișnuit pentru domenii specifice de folosire

Această cale de dezvoltare se referă la realizarea unor betoane de înaltă rezistență (rezistență la compresiune de 60-100 N/mm<sup>2</sup> sau chiar mai mult) și a unor betoane speciale pentru domenii specifice de folosire cum ar fi: betoane hidrotehnice, betoane în mediu marin, betoane rutiere, betoane rezistente la diferite agresivități chimice, betoane rezistente la temperaturi înalte, betoane de protecție împotriva radiațiilor, betoane aparente-decorative etc.

Obținerea unor asemenea betoane este legată de mărirea și diversificarea performanțelor materialelor componente (în special a cimenturilor și aditivilor) și de perfecționarea tehnologiilor de preparare și punere în operă.

Astfel, se stipulează realizarea următoarelor tipuri de cimenturi :

- cimenturi cu rezistențe inițiale și finale mari și cu proprietăți corespunzătoare unor domenii specifice de folosire (impermeabilitate, rezistențe ridicate la îngheț-dezghet repetat, la medii agresive, la temperaturi ridicate, la variații mari de temperatură, la radiații etc) ;

- cimenturi cu priză reglabilă și cimenturi cu priză normală și întărire foarte rapidă ;

- cimenturi expansive pentru reducerea sau eliminarea efectului contracției sau pentru realizarea de betoane cu autoprecompri-mare ;

- cimenturi cu comportare bună la tratamente termice, pentru industria prefabricatelor ;

- cimenturi cu comportare bună la vibrare și revibrare ;

- cimenturi cu adaosuri active cu proprietăți superioare, pentru reducerea consumului de energie și a prețului de revenire.

Agregate de calitate se pot obține prin concasare de roci dure, de mare rezistență ; cel mai bun agregat fin rămâne nisipul silicios de carieră. În domeniul tehnologiilor betonului, în afara celor cunoscute, îmbunătățiri substanțiale se vor putea aduce, printre altele, prin :

- realizarea hidratării prealabile a unei părți însemnate de ciment, care conduce la grăbirea procesului de întărire și la obținerea unor rezistențe mai mari ;

- folosirea malaxării mecanice, asociate cu utilizarea ultrasunetelor, rezultând o creștere însemnată a rezistențelor mecanice (de aproape trei ori) ;

- folosirea, pentru compactare, a vibratoarelor electronice, care funcționează la frecvența de rezonanță a betonului proaspăt ;

- folosirea revibrării betonului în perioada de priză, atunci când tehnologia de execuție o permite, rezultând o creștere a rezistențelor mecanice și a compactității, precum și o reducere a deformațiilor din contracție și curgere lentă ;

- folosirea căldurii și presiunii pentru întărirea foarte rapidă a betonului ;

- folosirea de cofraje pierdute cu pereți subțiri din polimeri armați sau cu fibre de sticlă, mortare de polimeri sau alte materiale, rezultând elemente mai subțiri, rezistente, durabile și mai economice.

### 1.2.2. Crearea de noi tipuri de betoane cu proprietăți fizico-mecanice specifice

Si această cale a dus la rezultate bune ; s-au studiat, realizat și folosit în practica următoarele tipuri de betoane /5/, /15/, /20/, /22/, /44/, /63/, /100/ :

- betoane ușoare: cu agregate ușoare poroase, naturale sau artificiale ; macroporoase ; celulare autoclavizate ;

- betoane cu armare dispersă (armare cu fibre de oțel, de sticlă etc) ;

- betoane cu polimeri (cu adaos de polimeri la ciment ; numai cu polimeri ; betoane de ciment impregnate cu monomeri care se polimerizează în masa betonului) ;

- betoane cu aditivi superplastifianți.

Betoanele ușoare au căpătat o mare dezvoltare în prezent datorită unor caracteristici tehnice deosebit de apreciate, în comparație cu betonul greu clasic. Cele mai folosite pentru structurile de rezistență sînt betoanele cu agregate ușoare minerale, naturale (diatomit, scorii bazaltice, tufuri vulcanice etc) sau artificiale (argilă expandată și granulată denumită granulit, zgură de furnal expandată, perlit expandat, etc). Pondereea principală ca agregat ușor, pe plan mondial și la noi în țară o are argila expandată; totuși în ultimul timp producția ei a scăzut avînd în vedere consumul ridicat de energie necesară la fabricare.

Betoanele cu agregate ușoare, în comparație cu betoanele grele, au o densitate aparentă cu 1/4-1/3 mai mică, rezistențe mecanice comparabile, capacitate de izolare termică ridicată și rezistență la foc sporită. Domeniul optim de folosire a betoanelor cu agregate ușoare poroase este cel al construcțiilor civile și industriale și cel al podurilor precomprimate.

Betoanele cu armare dispersă sînt materiale relativ noi (cu excepția azbocimentului) și se obțin prin înglobarea în masa betonului (a mortarului sau a pastei de ciment) a unei anumite cantități de fibre discontinue. Se pot folosi fibre anorganice artificiale (de oțel, sticlă, carbon etc) sau organice artificiale (din polimeri), iar uneori organice naturale (bumbac, in, sisal, cocos etc). Cea mai mare utilizare au căpătat-o betoanele armate cu fibre de oțel și de sticlă.

Betoanele cu armare dispersă au o rupere ductilă, rezistențe la întindere sporită, o foarte bună comportare la șoc, acțiuni dinamice

ce și oboseală, precum și o rezistență sporită la uzură.

Betoanele cu polimeri, care nu au cunoscut pînă în prezent o folosire prea largă datorită prețului de revenire relativ ridicat, prezintă, față de betonul clasic, avantaje deosebit de importante, printre care rezistențe sporite la întindere, uzură și atacuri chimice, precum și impermeabilitate ridicată.

Se pot realiza trei tipuri de betoane cu polimeri :

- Betoanele (mortarele) cu ciment și cașos de polimeri au rezistențe la întindere de 2-3 ori mai mari decît betoanele obișnuite. Ele se pot utiliza la tencuieli, pardoseli și reparare sau consolidarea unor elemente de beton degradate.

- Betoanele cu polimeri, fără ciment, folosesc ca liant, rășinile de sinteză. Se obțin rezistențe mecanice foarte mari ( $60-100 \text{ k/mm}^2$  la compresiune și  $17-35 \text{ k/mm}^2$  la întindere din încovoiere), aderență foarte bună la oțel și betoane vechi, absorbție de apă foarte redusă, impermeabilitate practic completă, rezistență foarte bună, stabilitate la diferite tipuri de agresivități chimice etc.

- Betoanele impregnate și polimerizate se obțin prin uscarea elementelor de beton de ciment, impregnarea lor cu monomer (la care se adaugă și un inițiator de polimerizare), după care se face polimerizarea monomerului. Față de betoanele de ciment martor, betoanele impregnate și polimerizate au rezistențe mecanice de 3-4 ori mai mari, rezistență la uzură de circa trei ori mai mare, absorbția de apă de circa șase ori mai mică, comportarea la îngheț-dezghet și la atacul sulfatilor și acizilor cu mult mai bună, permeabilitate foarte redusă.

Betoanele cu aditivi superplastifianți sînt materiale noi, care constituie obiectul prezentei teze de doctorat.

### 1.3. Stadiul actual al cercetărilor în domeniul betoanelor cu aditivi superplastifianți

#### 1.3.1. Studii și cercetări pe plan mondial

Primele cercetări în domeniul obținerii unor noi tipuri de aditivi pentru betoane - aditivi superplastifianți - au început în anii 1958-1960 în Japonia /50/, /51/, /85/, realizîndu-se în 1964 primul aditiv superplastifiant pentru betoane, denumit MIGHTY, de Kao Soap Company. Tot din anul 1964 se folosesc aditivi superplastifianți și în Germania /43/, /104/. După aceste date, noile tipuri de aditivi pentru betoane cunosc o extindere tot mai mare. Astfel,

în Japonia, în primii 14 ani de utilizare a aditivilor superplastifianți, s-au folosit 25 milioane m<sup>3</sup> beton în fabricile de prefabricate și pe șantier, în Germania circa 2 milioane m<sup>3</sup> anual, în Anglia 130-140.000 m<sup>3</sup> /50/, /53/, /104/.

Utilizarea lor s-a extins și în Canada, SUA, Australia, Italia, Franța, precum și în alte țări, bețoanele cu superplastifianți fiind folosite la cele mai diverse lucrări de construcții ca poduri, tunele, autostrăzi, conducte, clădiri de locuit, social-culturale etc. /2/, /24/, /55/, /57/, /91/, /103/, /112/, /123/, /139/.

Interesul deosebit acordat acestor bețoane, în special în ultimii 10-15 ani, a făcut să apară în literatura de specialitate numeroase articole, să fie publicate norme interne și instrucțiuni tehnice în Japonia, Germania, Anglia, Franța, Canada, SUA etc. /53/, /85/, /99/, /103/, /104/, /123/, /185/.

De asemenea, au avut loc și mai multe simpozioane internaționale între care în mai 1978 /2/, /3/, și iulie 1981 /1/ la Ottawa, în Canada.

Cercetările efectuate în domeniul bețoanelor cu aditivi superplastifianți au cuprins o gamă largă de domenii, și anume:

- realizarea unor noi tipuri de aditivi pentru bețoane, aditivi superplastifianți ;
- mecanismul de acțiune a aditivilor superplastifianți ;
- tehnologia bețoanelor cu aditivi superplastifianți ;
- proprietățile bețoanelor proaspete și întărite și factorii care le influențează ;
- deformațiile bețoanelor cu superplastifianți ;
- durabilitatea bețoanelor cu superplastifianți.

Aceste domenii de cercetare se tratează în capitolul 2 "Aditivii în tehnologia bețoanelor", al prezentei lucrări de doctorat.

Referirile care se fac asupra tehnologiei bețoanelor cu aditivi superplastifianți includ stabilirea compoziției, dozarea materialelor componente, prepararea, transportul, punerea în operă, traterea după turnare a betonului.

Compoziția bețoanelor cu aditivi superplastifianți se stabilește asemănător cu cea a bețoanelor clasice. Bețoanele de ciment frecvent utilizate au constat din un beton greu obișnuit preparat cu diferite tipuri de cimenturi portland, agregate naturale grele, apă și aditivi superplastifianți.

Sînt și cercetători care au realizat:

- bețoane cu agregate ușoare /24/, /85/, /161/.

- betoane cu ciment aluminos /130/.
- betoane cu cenușă zburătoare /92/, /139/, /161/.
- betoane rutiere /104/, /122/, /124/, /140/.
- betoane cu fibre de sticlă /50/, /107/, /161/.
- betoane cu fibre de oțel /50/, /120/, /134/.
- betoane cu azbociment /3/, /114/.
- betoane cu fibre compozite tip Kevlar /161/.
- betoane cu cimenturi rezistente la sulfatați /53/, /138/.

De asemenea s-au efectuat studii pe mortare : /92/, /96/, /122/, /123/, /124/, /129/, /161/.

Aditivii superplastifianți se adaugă în proporție de 0,5-3% soluție din cantitatea de ciment. Pe lângă efectele principale, de mărire a lucrabilității și de reducere a raportului a/c, unii pot avea efect de întârziere a prizei /4/, /31/, /53/, /95/, /105/, /114/, /131/.

Dozarea materialelor componente s-a efectuat gravimetric, iar amestecarea materialelor componente mecanic. Timpul de amestecare pentru o mai uniformă repartizare a aditivului este mai ridicat fiind cuprins între 2-8 minute /4/, /85/, /95/, /99/, /104/, /112/, /114/, /124/, /133/, /142/, /161/.

Utilajele folosite, atât la prepararea mecanică cât și pentru transport, sînt cele folosite la betoanele obișnuite.

Punerea în operă a betonului s-a făcut în funcție de condițiile de lucru și de lucrabilitatea betonului, betoanele fluide turnîndu-se prin pompare, înlăturîndu-se parțial sau total vibrarea. /24/, /43/, /52/, /53/, /44/, /785/, /92/, /139/, /161/, /167/.

Pe lângă întărirea obișnuită, unii cercetători au studiat întărirea accelerată a betoanelor prin tratament termic în încercările de laborator și în fabricile de prefabricate /4/, /18/, /24/, /52/, /55/, /57/, /91/, /92/, /105/, /122/, /124/, /133/, /137/, /139/, /142/, /161/.

Temistica celor mai multor cercetări cuprindî influența aditivilor superplastifianți asupra proprietăților betoanelor proaspete și întărite. Principalele caracteristici ale betoanelor studiate au fost :

- lucrabilitatea - apreciată prin diferite metode: tesare, grad de compactare, V.B., răsîndire: /1/, /4/, /24/, /31/, /34/, /43/, /49/, /52/, /53/, /54/, /55/, /85/, /91/, /92/, /95/, /99/, /104/, /105/, /112/, /113/, /114/, /122/, /124/, /126/, /131/, /133/, /139/, /142/, /145/, /161/, /167/.

- densitatea aparentă /4/, /24/, /92/, /95/, /99/, /125/, /133/, /142/, /145/, /161/.

- volumul de aer occlus /4/, /24/, /54/, /85/, /92/, /95/, /99/, /105/, /112/, /122/, /124/, /133/, /142/, /145/, /161/, /167/.

- tendința de segregare /24/, /53/, /92/, /99/, /122/, /144/.

- timpul de priză /92/, /99/, /112/, /122/, /124/.

Principali factori care influențează aceste proprietăți au fost cercetați după cum urmează :

- mecanismul de acțiune al aditivilor superplastifianți /25/, /31/, /43/, /50/, /51/, /99/, /101/, /104/, /122/, /123/.

- tipul și doza aditivului superplastifiant /4/, /24/, /31/, /50/, /53/, /54/, /85/, /91/, /92/, /95/, /99/, /102/, /104/, /105/, /113/, /114/, /123/, /124/, /125/, /126/, /133/, /139/, /142/, /157/, /161/, /167/.

- tipul, compoziția mineralogică, finețea de macinare și dozașul cimentului : /4/, /24/, /31/, /43/, /50/, /52/, /53/, /54/, /91/, /92/, /95/, /104/, /105/, /112/, /114/, /122/, /124/, /139/, /142/, /161/.

- adaosurile de materiale compozite în masa cimentului: cenușă zburătoare /92/, /139/, /161/, fibre de oțel /50/, /120/, /134/, fibre de sticlă /50/, /107/, /161/, fibre poliamidice aromatice tip Kevlar /161/.

- granulozitatea agregatelor (părți fine,  $d_{max}$ ), tipul, dozașul, caracteristici fizico-mecanice : /24/, /43/, /104/, /114/, /139/, /142/, /161/, /167/, /85/.

- temperatura mediului în momentul preparării și turnării betonului /52/, /85/, /95/, /104/, /132/, /133/, /139/.

- momentul (timpul) de adăugare a aditivilor superplastifianți în beton: în timpul amestecării, la sfârșitul amestecării sau la diferite intervale de timp de la preparare: /53/, /85/, /95/, /105/, /112/, /123/, /124/, /132/, /161/.

- variația în timp a tasării /4/, /31/, /54/, /85/, /92/, /99/, /104/, /112/, /114/, /126/, /133/, /139/, /145/.

- efectul dozării repetate /54/, /95/, /104/, /142/.

Incercările experimentale privind betoanele întărite se referă la principalele caracteristici fizico-mecanice (densitate aparentă, porozitatea, permeabilitatea etc. și rezistențele mecanice), deformării și durabilitatea betoanelor cu superplastifianți.

În cadrul cercetărilor privind rezistențele mecanice și unele caracteristici fizice au fost studiate:

- rezistența la compresiune /1/, /4/, /17/, /18/, /24/, /26/, /34/, /50/, /52/, /53/, /54/, /55/, /57/, /85/, /91/, /92/, /95/, /99/, /104/, /105/, /112/, /113/, /114/, /124/, /125/, /133/, /139/, /142/, /145/, /161/.



- rezistența la încovoiere /4/, /24/, /50/, /85/, /99/, /112/.
- rezistența la întindere /17/, /50/, /85/, /112/, /161/.
- rezistența la șoc /125/.
- aderența /24/, /50/, /85/.
- rezistența la îngheț și dezgheț /4/, /18/, /50/, /53/, /85/, /88/, /92/, /99/, /105/, /112/, /121/, /124/, /133/, /138/, /145/.
- densitatea aparentă /55/, /92/, /99/, /133/.
- permeabilitatea /2/, /55/.
- porozitatea /99/, /105/, /112/, /124/, /138/, /145/.
- viteza ultrasunetelor /17/, /99/, /133/.

Deformațiile sub încărcări și durabilitatea în timp a betoanelor cu aditivi superplastifianți au fost mai puțin studiate. Cercetările efectuate se referă la :

- deformația de contracție și umflare /4/, /17/, /18/, /26/, /50/, /54/, /85/, /92/, /112/, /122/, /123/, /124/, /139/, /157/.
- deformația din dilatarea termică /50/, /157/.
- deformația elastică și de curgere lentă /3/, /17/, /18/, /54/, /122/, /123/.
- modulul de elasticitate static /17/, /18/, /50/, /85/, /92/, /112/, /133/ și modulul de elasticitate dinamic /17/.
- coeficientul contracției transversale (Poisson) /50/.

Durabilitatea în timp a betoanelor cu aditivi superplastifianți e constituit subiect de cercetare în lucrările /4/, /17/, /23/, /53/, /85/, /92/, /99/, /112/, /124/, /133/, /145/.

Principalele probleme studiate au fost: sistemul de pori, rezistența la îngheț-dezgheț, umezirea alternantă, cristalizarea sărurilor, coroziunea biochimică etc.

Avantajele tehnico-economice ce se obțin prin utilizarea superplastifianților în tehnologia betoanelor prin prisma prețului de cost, a creșterii productivității, a eficienței economice (prin posibilitatea reducerii tratamentului termic, a consumului de materiale energointensive), a reducerii duratei de folosire a cofrajelor, etc., au fost studiate în mai multe lucrări /43/, /54/, /57/, /91/, /103/, /104/, /161/.

Utilizarea superplastifianților în practică, în tehnologia betoanelor și prefabricatelor, în intervalul relativ recent ce a trecut de la începerea producției acestora de către industria chimică de sinteză din diferite țări, a făcut să crească neconținut domeniile lor de utilizare. Din studiul bibliografic, rezultă că betoanele cu aditivi superplastifianți se utilizează în mai multe domenii și enumerate:

- în industria prefabricatelor, la realizarea elementelor de beton armat și precomprimat /28/, /57/, /55/, /91/, /97/, /122/, /139/, /161/, în construcții civile, social culturale, industriale etc. la realizarea betoanelor monolite în fundații și elemente de rezistență /43/, /50/, /53/, /85/, /139/, de asemenea la poduri, șosele, autostrăzi, piste aeroporturi, stadioane, baraje, tuneluri, silozuri, conducte etc /21/, /43/, /50/, /53/, /55/, /57/, /104/, /145/.

### 1.3.2. Studii și cercetări în țară

În România, cercetările în domeniul producției și utilizării superplastifianților în tehnologia betoanelor au început în anii 1972-1973, la ICPMC - Laboratorul de cercetare Tehnologia Betoanelor prin obținerea primelor date documentare /59/.

În anul 1977 ICPMC a început colaborarea cu CCICH - Laboratorul Victoria în direcția obținerii de aditivi superplastifianți /42/, care a pregătit 24 de tipuri de aditivi pe bază de melamină formaldehidă sulfonată (MFS) și naftalină - formaldehidă sulfonată (NFS). Prin cercetările efectuate pe betoane, în anii 1978-1979, au fost selecționați, pe baze unor criterii de optimizare, aditivii superplastifianți notați convențional VIMC 11 (MFS) și VIMC 22 (NFS) pentru omologare (omologați la finele anului 1980) și introducere în producție /58/, /59/, /65/, /173/, /174/.

Din anii 1979-1980 în activitatea de experimentare a noilor tipuri de superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22 alături de I.C.P.M.C. L.P.B - și C.C.I.Ch. - Laboratorul Victoria au fost asociate colective de cercetare de la Institutul Politehnic București, INCERC - București, Institutul de Construcții București și colective din unități de prefabricate și construcții, precum Intreprinderile de Materiale de Construcții Brașov, Deva și Iași, Trusturile de Antrepriză Generală Construcții Montaj din Timișoara, Ploiești și Tîrgu Mureș și Intreprinderea de prefabricate din Beton-Giurgiu. Aspectele teoretice și experimentale ale cercetărilor au fost publicate în reviste de specialitate /46/, /68/, /140/, /151/, /153/.

Tot în scopul producerii în țară a unor aditivi superplastifianți s-a inițiat un program comun de cercetare ICECHIM-INCERC. Aspectele legate de alegerea materiilor prime de bază și stabilirea tehnologiei de producere au fost studiate de ICECHIM- Centrul de Chimie Fizică, Colectivul de Coloizi unde s-a sintetizat un produs naftalen sulfonic cu acțiune de superfluidifiere a pastelor, morta-

relor și betoanelor de ciment, folosind materii prime indigene reziduale ale industriei cocschimice.

Incercările pe pastele și mortarele de ciment au fost efectuate de către Centrul de Coloizi /128/ iar cele pe betoane de INCERC pe mai multe variante de aditivi, denumiți FLUBET /32/, /33/.

Cercetările efectuate în cadrul INCERC București au permis elaborarea în anul 1982 a Instrucțiunilor tehnice C 211-82 de utilizare a aditivului FLUBET la betoanele de ciment /175/.

În cadrul Catedrei de Construcții Civile, Industriale și Agricole a Facultății de Construcții, din Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, începând din anul 1979 s-au efectuat primele încercări experimentale privind realizarea unor noi editivi pentru betoane și mortare. Studiile și cercetările privind betoanele cu aditivi superplastifianți au fost inițiate de prof.em.ing. Constantin Avram, M.C. al Academiei Române /72/.

La programele de cercetări au participat Laboratorul de Cercetări ICECHIM - Întreprinderea de Betergenți - Timișoara, Trustul de Antrepriză Generală Construcții Montaj-Timiș, ICCPDC-București, Filiala Timișoara, Trustul de Antrepriză Generală Construcții Industriale Timișoara.

La baza cercetărilor efectuate au stat contractele de cercetare științifică ale catedrei CCIA, IPTV-Timișoara cu următorii beneficiari : TAGCM Timișoara /183/, /195/, /196/, ICCPDC-București, Filiala Timișoara /169/ și TAGC Ind. Timișoara /179/.

Studiile și cercetările efectuate în cadrul catedrei CCIA, se referă, în principal, la obținerea unui nou tip de editiv superplastifiant, precum și la utilizarea lui la realizarea betoanelor și mortarelor cu aditivi superplastifianți. Totodată au fost efectuate și aplicații ale editivului superplastifiant indigen P4 la realizarea șapelor și a betoanelor. Prezentarea extinsă a rezultatelor obținute este făcută în prezenta lucrare de doctorat. Rezultatele obținute au fost folosite la elaborarea a două propuneri de brevete de invenție care au fost înaintate la OSIM București, obținându-se 1 brevet de invenție /83/.

De asemenea cercetările au fost valorificate prin elaborarea unor recomandări de utilizare a aditivului superplastifiant P4 la prepararea mortarelor și betoanelor /169/, prin participarea la mai multe simpozioane și publicarea de articole în revistele de specialitate /72-83/.

Studiile teoretice și experimentale întreprinse în țară, în domeniul betoanelor cu aditivi superplastifianți au cuprins următo-

rele direcții:

- obținerea de aditivi superplastifianți indigeni pentru mortare și betoane /32/,/42/,/58/,/72/,/128/.

- mecanismul de acțiune al aditivilor superplastifianți /33/,/58/,/63/,/72/,/151/,/153/.

- acțiunea aditivilor superplastifianți asupra : a) proprietăților pastelor de ciment și mortarelor /59/,/65/,/128/,/151/,/153/. b) proprietăților betoanelor grele și ușoare /32/,/33/,/59/,/65/,/69/,/72/,/76/,/133/,/153/,/146/.

- utilizarea aditivilor superplastifianți în întreprinderile de prefabricate /46/,/68/,/135/,/141/.

- a durabilității în timp /60/.

- utilizarea aditivilor superplastifianți la obținerea de betoane de înaltă rezistență /61/,/67/,/69/.

Tematica celor mai multe cercetări experimentale se referă la proprietățile betoanelor proaspete și întărite și a factorilor care le influențează.

Caracteristicile betonului proaspăt cercetat au fost:

- lucrabilitatea, determinată prin mai multe metode: tasare, grad de compactare Walz, grad de remodelare VE-BE /32/,/33/,/46/,/59/,/72/,/76/,/140/,/148/,/149/.

- densitatea aparentă /46/,/59/,/60/,/65/,/72/,/76/,/140/,/148/,/153/.

- volumul de aer occlus /33/,/65/,/76/,/149/,/153/.

Factorii care influențează proprietățile betonului au fost studiiți după cum urmează:

- aditivul superplastifiant, prin tip și dozaj /32/,/33/,/46/,/59/,/60/,/65/,/68/,/72/,/127/,/135/,/140/,/153/.

- cimentul, prin tip, compoziția mineralogică, finețe de măcinare și dozaj /32/,/33/,/59/,/60/,/65/,/68/,/153/, precum și prin adăsurii în masă sa, de cenușă, zgură, etc./59/,/60/,/64/,/65/,/148/,/149/.

- agregatele, prin compoziția granulometrică, dozaj,  $\phi_{max}$ , părți fine, caracteristici mecanice, densitatea în grămsă (grole și ușoare) /32/,/46/,/59/,/60/,/64/,/72/,/149/.

- temperatura mediului la prepararea betonului /65/,/135/.

- variația tasării betonului proaspăt în timp /33/,/59/,/65/,/127/,/148/,/149/.

- intervalul de timp între prepararea betonului și adăugarea aditivului superplastifiant /65/,/127/.

- efectul adăugării repetate a aditivului superplastifiant /33/,/65/,/127/,/149/.

- efectul tratamentului termic la întărirea accelerată a betonului /59/,/65/,/68/,/71/,/135/,/140/.

Incălcările experimentale privind caracteristicile betonului întărit se referă la:

a) rezistențe mecanice și caracteristici fizice ;

- rezistența la compresiune /32/,/33/,/46/,/59/,/64/,/65/,/68/,/72/,/148/,/149/.

- rezistența la întindere /32/,/148/,/149/.

- rezistența la întindere din încovoiere /32/.

- rezistența la îngheț-dezghet /33/,/59/,/60/,/71/.

- aderența /32/,/59/.

- permeabilitatea /33/,/59/,/60/,/148/,/149/,/153/.

- porozitatea /33/,/151/.

- densitatea aparentă /64/,/72/,/148/,/149/.

b) deformații din contracție /32/,/33/,/60/ și modulul de elasticitate static /32/,/65/ ;

c) durabilitatea în timp ca de altfel și deformațiile betonului au constituit obiectul unui număr redus de cercetări. Comportarea în timp a betoanelor cuprinde raportări ale rezultatelor experimentale de maximum 2-3 ani /33/,/59/,/60/ și se referă la variația rezistențelor mecanice, a rezistenței la îngheț-dezghet, a permeabilității, a contracției, a porozității, a carbonatării betonului și a protecției armăturilor în beton.

Studiile efectuate în țară au cuprins și unele considerații tehnico-economice privind efectele ce se obțin prin utilizarea aditivilor superplastifianți în tehnologia betonului. S-au studiat :

a) reducerea consumurilor energetice prin :

- reducerea tratamentului termic /65/,/68/,/70/,/71/,/135/,/140/.

- reducerea timpului de vibrație /140/.

- reducerea consumului de ciment și utilizarea de ciment de calitate inferioară /65/,/68/,/71/.

b) reducerea duratei de folosire a cofrajelor /63/,/65/,/71/,/140/.

Studiile teoretice și experimentale întreprinse în țară în domeniul betoanelor cu aditivi superplastifianți au fost prezentate la diverse manifestări științifice, dintre care amintim:

- Discuții tehnice CNIT : Aspecte tehnice și practice ale rea-

lizării unor elemente prefabricate din betoane de înaltă rezistență"; Brașov, 9 iunie 1978.

- Dezbateri tehnice CNIT "Aspecte actuale ale utilizării superplastifiantilor în tehnologia betonului și prefabricatelor"; București, 7 decembrie 1979.

- Simpozion de Chimia Coloizilor și Suprafetelor, București, 13-14 mai 1983.

- Seminar Național de Chimie Coloidală, Centrul de Chimie Fizică, București, 12-14 mai 1983.

- CONSILOX IV, Cluj-Napoca, 6-8 septembrie 1984.

- Simpozion TAGCM-Timiș, Timișoara, 25-26 septembrie 1986.

- Simpozion ICCPDC-Timișoara, 14-15 noiembrie 1986.

- Simpozion Tîrgu Mureș, 26-27 martie 1987.

- CONSILOX V, Timișoara, 8-10 septembrie 1988.

- Simpozion III de Chimia Coloizilor și Suprafetelor, Timișoara, 11-14 septembrie 1989.

#### 1.4. Obiectul tezei de doctorat

Betonul, sub forma betonului simplu, armat sau precomprimat, constituie și va constitui pentru mult timp, cu puține excepții, principalul material de construcție, datorită marilor sale avantaje tehnice și economice. În studiul de prognoză /171/, /172/, se arată că "betonul a devenit un material de construcție indispensabil, care se utilizează în prezent într-un volum mai mare decât oricare alt material de construcție, realizat de mîna omului". Ponderea lucrărilor de beton, în volumul total al lucrărilor de construcții a crescut continuu depășind 20% din acest volum. Menținerea competitivității betonului ca principal material de construcție a dus la cele două căi de dezvoltare menționate la începutul capitolului, iar realizarea betoanelor cu aditivi superplastifianți ca una din posibilitățile de dezvoltare a celei de-a doua oăi.

Subiectul prezentei lucrări de doctorat îl constituie realizarea de betoane și mortare cu aditivi superplastifianți indigeni, problemă care a început să fie studiată pentru prima dată în cadrul Catedrei de Construcții Civile, Industriale și Agricole Facultatea de Construcții, din cadrul Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara, începînd din 1979.

La baza cercetărilor efectuate stau 5 contracte de cercetare cu 9 feze încheiate între catedra CCIA în calitate de executant și

TAGCM Timiș, ICCPDC București, filiale Timișoara și TAGCInd-Timișoara, în calitate de beneficiari, în perioada 1982-1988, după cum urmează:

- Contract IPTVT nr. 129/1982, Testarea unor noi tipuri de aditivi plastifianți pentru prepararea mortarelor și betoanelor, beneficiar TAGCM-Timiș /195/ ;

- Contract IPTVT, nr. 181/1982, Extinderea domeniului de utilizare a aditivilor în betoane. Aditivi indigeni pentru betoane grele și ușoare, beneficiar ICCPDC-București, Filiale Timișoara cu fazele : Faza I/1983/169/ ; Faza II/1984/169/ și Faza III/1984/169/ Recomandări privind utilizarea aditivului P4 la prepararea betoanelor de ciment ;

- Contract IPTVT nr. 154/1985, Testarea unor noi tipuri de aditivi plastifianți pentru mortare și betoane. Faza de experimentare în producție, beneficiar TAGCM-Timiș cu fazele: Faza I/1983/169/ și Faza II/1985/196/ ;

- Contract IPTVT nr. 121/1985, Procedee și soluții noi pentru reducerea prețului de cost al construcțiilor industriale și agricole din beton armat. Tema I. Noi materiale eficiente utilizate la prepararea betoanelor. Beneficiar TAGCInd Timișoara, Faza II/1986/179/ ;

- Contract IPTVT nr. 8/1987, Procedee și soluții noi pentru reducerea consumului de materiale și pentru mărirea gradului de industrializare a lucrărilor de construcții civile. Tema I. Folosirea superplastifianților indigeni la prepararea mortarelor și betoanelor, beneficiar TAGCM Timiș, cu fazele : Faza I/1987/183/ și Faza II/1988/183/. Asistență tehnică la aplicarea în producție a superplastifianțului SP 4.

Autorul cuprinde în teză studiile teoretice și experimentale privind utilizarea aditivilor superplastifianți în tehnologia betonului, existente până în acest moment pe plan mondial și în țară, precum și contribuțiile proprii privind realizarea betoanelor și mortarelor cu aditivi superplastifianți din perioada 1979-1988.

Lucrarea de doctorat este structurată pe 7 capitole.

Capitolul 1, cuprinde o introducere cu privire la principalele avantaje ale betoanelor clasice, tendințele actuale în tehnologia betoanelor precum și stadiul actual al cercetărilor în domeniul betoanelor cu aditivi superplastifianți pe plan mondial și în țară.

Capitolul 2, cuprinde o sinteză despre aditivii clasici pentru betoane precum și despre aditivii moderni pentru betoane, aditivii superplastifianți. Se prezintă date despre conceptul de aditiv superplastifiant, clasificări precum și principalii aditivi utilizați

pe plan mondial și în țară.

Capitolul 3, sintetizează principalele proprietăți ale pastelor de ciment, mortarelor și betoanelor cu aditivi superplastifianți. Se prezintă influența aditivilor superplastifianți asupra principalelor proprietăți ale acestora, stăt în stare proaspătă cit și întărită, precum și unele aspecte legate de durabilitatea betoanelor cu aditivi superplastifianți.

Capitolul 4, cuprinde studii teoretice și cercetări experimentale proprii privind identificarea unui nou tip de aditiv superplastifiant. Sînt prezentate definiții, propuneri de clasificări, tipuri de betoane cu aditivi superplastifianți precum și etapele de desfășurare ale programului experimental. Se descriu cercetările privind identificarea aditivului superplastifiant SP 4 și unele considerații teoretice și cercetări experimentale privind mecanismul de acțiune al aditivului în beton.

Capitolul 5, cuprinde cercetările experimentale efectuate pe betoanele fluide, cu raport a/C redus și CU dozaș de ciment redus, precum și principalele proprietăți ale betoanelor și mortarelor cu aditiv superplastifiant SP 4. Se prezintă de asemenea încercările experimentale privind durabilitatea betoanelor cu aditiv SP 4.

Capitolul 6, prezintă tehnologia betoanelor și mortarelor cu aditiv superplastifiant SP 4 precum și principalele domenii de utilizare a aditivului în producție.

Capitolul 7, cuprinde contribuțiile autorului la sistematizarea materialului bibliografic din țară și străinătate studiat, cu privire la aditivii clasici, aditivii superplastifianți, precum și a proprietăților betoanelor și mortarelor cu aditivi superplastifianți. Se prezintă apoi contribuțiile proprii aduse prin studiile teoretice și cercetările efectuate în cadrul programului experimental cu privire la realizarea betoanelor și mortarelor cu aditiv superplastifiant SP 4 și utilizarea lor în producție.

Teză de doctorat se extinde pe un număr de 300 pagini, cuprinzînd un număr de 115 figuri, 53 tabele și 196 titluri bibliografice în țară și străinătate.



## CAPITOLUL 2. ADITIVII ÎN TEHNOLOGIA BÊTOANELOR

### 2.1. Aditivi clasici pentru betoane

#### 2.1.1. Considerații generale. Istoric

Aditivii, sînt substanțe sau produse tehnice, care, introduse în proporții mici (sub 5%) în compoziție suspensiilor mortarelor și betoanelor de ciment, produc o modificare dorită a proprietăților amestecurilor ca urmare a unor acțiuni fizico-dinamice. /10/, /15/, /48/, /63/, /109/, /155/, /165/.

Aditivii se introduc în momentul preparării amestecurilor sau pot fi încorporați în ciment.

Adaosurile se utilizează în proporții mai mari și se introduc frecvent în ciment sau la prepararea betonului în scopuri economice, al corectării unei compoziții granulometrice sau pentru a se obține proprietăți dorite (exemplu: zgură, tras, calcar, cenușă de termocentrală, pulberi minerale variate). Unele produse utilizate ca și aditivi sînt mai cunoscute prin utilizarea lor ca adaosuri în compoziție betonului (exemplu: pulberile minerale).

Ideea modificării proprietăților mortarelor și betoanelor este veche. Românii au utilizat grăsimile și sîngele de porc în betonul de var cu puzzolane pentru îmbunătățirea consistenței și durabilității acestuia. Odată cu apariția betonului de ciment (1875-1880) s-au utilizat aditivi cu scopul reglării prizei și întăririi, adăugîndu-se în acest scop gipsul ca regulator de priză și apoi clorura de calciu pentru accelerarea întăririi (1885). Condlot (Franța) a făcut încercări și a publicat o serie de date în 1888, menționînd acțiunea de întîrziere a clorurii de calciu cînd este folosită în doze mici și de accelerare, cînd este folosită în doze mari. Sînt de menționat și primele încercări cu adaos de var gras în ciment, pentru îmbunătățirea plasticității acestuia, făcute în 1895 de Candlot în Franța și de Dyckerhoff în Germania.

În scopul îmbunătățirii impermeabilității și a durabilității betonului utilizat în mediu umed s-au utilizat aditivi care măresc gradul de impermeabilitate, studiîndu-se acțiunea uleiurilor de in, a săpunurilor, a pulberilor minerale (argilă, kieselgur). Waltham (SUA) în 1906 a folosit la construcția unui rezervor de 13 m înălțime, un adaos de 5% var gras în beton, în scopul obținerii unui beton mai e-

taș, iar în 1910 s-au utilizat aditivi hidrofugi la construcția unor rezervoare de apă, piscine. Înainte ca R. Feret să arate influența și necesitatea obținerii unei compactități maxime în mortare și betoane datorită unui dozaj riguros al materialelor componente (1926), cercetătorii au avut ideea de a folosi unele produse pentru închiderea capilarelor. Aceste produse puteau avea o acțiune fizică, cum sînt pulberile inerte, o acțiune chimică prin formarea precipitatului insolubil în interiorul porilor sau o acțiune fizico-chimică prin încorporarea adesoșurilor spumante (încercate pentru prima dată în 1907, cînd s-au folosit uleiul de in și uleiul pentru mașini). Pe de altă parte, criteriul de compactitate maximă a betoanelor a dus la descoperirea plastifiantilor sau fluidifiantilor, iar primul raport asupra acestui tip de aditivi a fost publicat în 1934 de către Ross M. Comercializarea lor a început după 1935 în SUA iar în Europa după 1947.

Aditivii antrenorii de aer s-au utilizat la construcția unei șosele de beton în SUA în anul 1939, în timp ce în Europa antrenorii de aer s-au folosit pe scară largă după al doilea război mondial. În ceea ce privește folosirea întîrziătorilor și comercializarea lor, ea s-a petrecut tot după ultimul război mondial, primele studii efectuîndu-se în Germania privind utilizarea acidului fosforic ca întîrziător de priză.

Grupele actuale de aditivi cu influență asupra proprietăților betonului proaspăt și întărit, au apărut și s-au dezvoltat aproximativ în fiecare deceniu astfel /58/ :

- 1930-1940, aditivi pe bază de lignosulfonat de calciu ;
- 1940-1950, aditivi pe bază rășinilor de conifere prin tratare cu sodă (rășinile de tip Vinsol) ;
- 1950-1960, aditivi pe bază de acizi hidrocarboxilici ;
- după 1960, aditivi pe bază de rășini sintetice obținute prin polimerizare și policondensare.

Progresele realizate în ultimii ani, în studiul și utilizarea aditivilor în betoane sînt mari, datorită dezvoltării industriei chimice, a producerii unor aditivi variați a căror utilizare s-a extins odată cu dezvoltarea tehnologiilor betonului. Unele tehnologii moderne de punere în operă a mortarelor și betoanelor de ciment sînt condiționate de folosirea unor aditivi potriviți (tehnologiile de injectare în special) și toate procedeele tehnologice sînt îmbunătățite prin folosirea științifică a aditivilor.

Posibilitățile de modificare în limite largi a tehnicilor de punere în operă și a proprietăților betonului a determinat intensificarea activității de cercetare științifică și tehnologică în acest domeniu. Complexitatea fenomenelor proceselor de priză și întărire a cimentului, dependența acțiunii aditivilor de compoziția betonului și de tehnologia de punere în operă, au îngreunat stăpânirea acțiunii lor, rezultatele obținute conținând încă multe contradicții.

### 2.1.2. Clasificări ale aditivilor

Rezultatele numeroase acumulate în domeniul cercetării aditivilor a determinat organizarea simpozionului internațional "RILEM" cu tema : "Aditivi în betoane" (Bruxelles 1967) /184/ în cadrul căruia s-a propus o clasificare a aditivilor în nouă grupe, după modificările pe care le aduc asupra betonului.

Grupa 1. - Aditivi modificatori ai proprietăților reologice ale mortarelor și betoanelor cu următoarele subgrupe :

- reducători de apă ;
- antrenori de aer ;
- reducători de apă - antrenori de aer ;
- pulberi minerale plastifiante ;
- agenți floculanți sau "rigidizatori";
- reținători de apă.

Grupa 2. - Aditivi modificatori ai conținutului de aer al mortarelor și betoanelor, cu subgrupele :

- antrenori de aer ;
- antispumănți ;
- generatori de gaze ;
- generatori de spumă.

Grupa 3. - Aditivi modificatori de priză și întărire, cu subgrupele :

- întârziatori de priză ;
- acceleratori de priză ;
- acceleratori de întărire.

Grupa 4. - Aditivi generatori de expansiune ai mortarelor și betoanelor, cu subgrupele :

- aditivi care provoacă ei înșiși expansiunea ;
- aditivi care reacționează cu constituenții minereologici ai cimentului producând expansiuni.

Grupa 5. - Aditivi care îmbunătățesc rezistența la acțiuni fizice, cu subgrupele :

- aditivi care îmbunătățesc rezistența betonului la îngheț-dezghet (antrenori de aer, acceleratori de priză și întărire) ;
- aditivi antigel ;
- aditivi hidrofugi.

Grupa 6. - Aditivi care îmbunătățesc rezistența la acțiuni mecanice (exemplu: carborundum, corindon etc)

Grupa 7. - Aditivi care îmbunătățesc rezistența la acțiuni agresive chimice, cu subgrupele :

- inhibitori de coroziune ;
- modificatori ai reacției alcalii - agregat ;
- rezistenți la agenți agresivi.

Grupa 8. - Aditivi care îmbunătățesc rezistența la acțiuni biologice, cu subgrupele :

- substanțe fungicide ;
- substanțe germicide ;
- substanțe insecticide.

Grupa 9. - Aditivi coloranți care modifică culoarea mortarelor și betoanelor.

Utilizarea pe scară tot mai largă în industria construcțiilor a unui număr tot mai mare de aditivi a făcut ca în numeroase țări să se creeze organisme de lucru și instituții specializate în sarcinate cu studiul acțiunii aditivilor și utilizarea lor în betoane.

#### Clasificarea americană

Comitetul ACI 212 /109/ clasifică aditivii în :

- antrenori de aer ;
- acceleratori ;
- reducători de apă și modificatori de priză ;
- pulberi minerale ;
- diverși.

ASTM 1980 /185/ face următoarea clasificare :

- tipul A : reducători de apă ;
- tipul B : întârziatori ;
- tipul C : acceleratori ;
- tipul D : reducători de apă cu efect întârziator ;
- tipul E : reducători de apă cu efect accelerator ;
- tipul F : superreducători de apă ;
- tipul G : superreducători de apă cu efect întârziator.

### Clasificarea franceză

Propunerea de clasificare în normele franceze este /103/ :

- acceleratori de priză ;
- antrenori de aer ;
- antigel ;
- hidrofugi ;
- plastifianți - reducători de apă ;
- fluidifianți - superfluidifianți ;
- întârziatori ;
- produse pentru tratament termic ;
- anticontrație ;
- generatori de gaze ;
- coloranți ;
- inhibitori de coroziune.

### Clasificarea germană /109/

Clasificarea germană propune următoarele tipuri de aditivi :

- antrenori de aer ;
- hidrofugi ;
- întârziatori ;
- acceleratori ;
- aditivi pentru injectări.

Recomandările Comitetului " Deutscher Ausschuss für Stahlbeton " mai 1974 /104/ conțin indicații privind aditivii superplastifianți și proprietățile betoanelor fluide.

În România, Oficiul de stat pentru Standarde a acordat o atenție deosebită acestei probleme. Un număr al revistei Standardizarea din 1957 /15/ a fost dedicat în întregime agenților de suprafață arătându-se între altele și marea importanță pe care o prezintă clasificarea acestor substanțe. Clasificarea conform STAS F 5586/57-H30 este:

- aditivi plastifianți-dispersanți ;
- aditivi plastifianți-antrenori de aer ;
- aditivi cu efect mixt.

O încercare de clasificare a aditivilor după natura proceselor fizico-chimice care stau la baza acțiunii lor în betoanele de ciment aparține lui V.Moldovan /109/, care consideră că aditivii se pot clasifica în următoarele categorii :

Modificatori ai proceselor de priză și întărire, substanțe solubile în apă care modifică proprietățile termodinamice ale solu-

țiilor, modificând astfel procesele de hidratare și hidroliză ale cimenturilor. Aditivii antiigel acționează tot după un astfel de mecanism, dar cărora li se cere în primul rând, coborîrea accentuată a temperaturii de îngheț a apei.

Aditivi tensioactivi, a căror acțiune principală este modificarea tensiunii superficiale la limită de separare a fazelor solid-lichid-gaz.

Materiale pulverulente care, fie că au proprietăți coloidale, fie că reacționează cu produsele de hidratare ale cimentului, modifică în special proprietățile reologice și structura cimentului întărit.

Alți aditivi care prin proprietățile lor (polimeri organici, substanțe insecticide, fungicide), prin reacții chimice (generatori de gaze, aditivi de expansiune) sau prin reacții electrochimice (inhibatori de coroziune), modifică esențial unele proprietăți ale betonului.

C.Bob, P.Velica, M.Roșu, și I. Buchmann clasifică aditivii /10/, /162/, /163/ în :

- electroliți ;
- plastifianți : dispersanți, superplastifianți, antrenori de aer, micști ;
- antiigel.

Clasificarea după Teoreanu I., Moldovan V., Nicolescu L./155/:

- aditivi modificatori ai proceselor de priză și întărire ;
- aditivi impermeabilizanți ;
- aditivi tensioactivi : aditivi fluidifianți, aditivi superfluidifianți (superdispersanți), aditivi antrenori de aer, aditivi micști.

Ionescu I., și Ispas T./63/ clasifică aditivii clasici în :

- aditivi plastifianți reducători de apă ;
- aditivi antrenori de aer ;
- aditivi întârziatori de priză și întărire ;
- aditivi acceleratori ;
- aditivi antiigel.

Aditivii produși în țară, în funcție de efectul lor principal conform Normativului C.140-79 /180/ se clasifică după cum urmează :

- reducători de apă (LSC) ;
- antrenori de aer (DISAN) ;

- întîrziator (REPLAST) ;
  - pentru betonare pe timp friguros (CLORURA DE CALCIU, ANTIIGERO) ;
  - impermeabilizatori pentru mortare (APASTOP P).
- Conform Normativului C 140-86 /181/, tipurile uzuale de aditivi utilizați în țară sînt :
- reducător de apă și antrenor de aer (DISAN A) ;
  - intens reducător de apă - superplastifiant (FLUBET)
  - întîrziator de priză și întărire (REPLAST) ;
  - accelerator pentru betoane pe timp friguros (CLORURA DE CALCIU) ;
  - impermeabilizator pentru mortare (APASTOP P).

### 2.1.3. Mecanismul de acțiune al aditivilor plastifianți (tensioactivi).

Rezultatele practice obținute pînă în prezent cît și cercetările întreprinse arată că folosirea aditivilor în tehnologia modernă a betonului este unu din căile cele mai eficiente de îmbunătățire a proprietăților acestuia, iar dezvoltarea tehnologiilor moderne este condiționată în tot mai mare măsură de folosirea aditivilor care treptat devin cel de-al patrulea component în compoziția betonului.

Dintre aditivii prezentați, folosirea celor tensioactivi în betoane, urmare a consecințelor pozitive pe planul tehnologiei, a reducerii consumului de ciment și a îmbunătățirii calității betoanelor, a cunoscut și cunoaște o extindere deosebită. În prezent, sînt țări care utilizează aditivi tensioactivi, la peste 70-80% din betoanele preparate. Aditivii tensioactivi sînt substanțe care se adsorb pozitiv la limita de separare a fazelor S-L-G și micșorează tensiunea superficială. Astfel de substanțe se mai numesc și agenți activi de suprafață. Substanțele tensioactive introduse în compoziția mortarelor și betoanelor de ciment produc modificări esențiale ale proprietăților acestora, iar după mecanismul lor de acțiune se deosebesc :

- aditivi fluidifianți (fluidizanți, dispersanți) ;
- aditivi mioști ;
- aditivi antrenori de aer.

Unii aditivi pot să aparțină în totalitate uneia din categoriile de mai sus, dar unele substanțe și mai ales produsele folosite industriai exercită efecte combinate, iar acțiunea lor principală

depinde și de procentul utilizat (la procente mici un aditiv poate fi fluidizant iar la procente mai mari poate antrena cantități mai mari de aer sau invers).

e) Aditivii fluidifianți sînt substaterțe tensioactive, care, introduse în proporție mică, îmbunătățesc lucrabilitatea mortarelor și betoanelor de ciment, în condițiile menținerii constante a raportului a/c, sau permit reducerea acestui raport, în condițiile păstrării aceleiași lucrabilități. În clasificarea propusă de RILEM se numesc "reducători de apă" (Water-reducing admixture" în engleză și Betonverflüssiger în germană)/109/.

Datorită reducerii tensiunii superficiale a apei, acești aditivi pot antrena și cantități mici de aer, de aceea reducerea apei trebuie să fie mai mare de 5%. Utilizarea lor în compoziția betonului prezintă o mare importanță dacă se ține seama de dependența rezistenței mecanice a betonului de porozitatea sa capilară, care poate fi micșorată prin reducerea raportului a/c.

Succesul folosirii constă în faptul că pentru betoanele compacte sporul rezistențelor mecanice depinde în mai mare măsură de raportul a/c decît de dozaajul de ciment.

Din punct de vedere structural aditivii fluidifianți sînt substanțe tensioactive fie cu mai multe grupări polare ionice în structura lor, fie substanțe neionice dar cu polaritate în moleculă sau substanțe ionice avînd polaritate și în lanțul moleculei (fig.2.1.a,b,c) /109/.

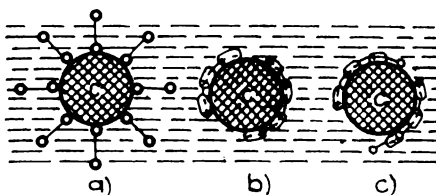


Fig.2.1.a,b,c. Mecanismul de adsorbție a aditivilor tensioactivi fluidizanți la suprafața granulelor de ciment/109/.

- a) substanțe tensioactive ionice cu mai multe grupări polare ;
- b) substanțe tensioactive neionice ;
- c) substanțe tensioactive ionice cu polaritate în lanțul moleculei.

Influența lor este un rezultat al adsorbției la suprafața particulelor solide, cu consecințe determinînd fenomene ca : dispersarea, hidratarea cimentului și influența asupra formării struc-



turii de rezistență.

În pastele de ciment fără aditivi tensioactivi, granulele fine de ciment și neoformațiunile hidratate au tendințe de a se aglomera la suprafața granulelor mai mari sau între ele prin forțe libere, ale electrovalențelor sau covalențelor, rezultate în procesul de măcinare-formând structuri de coagulare afinate în care este reținută o cantitate mare de apă interstițială a cărei evaporare creează pori capilari.

Aditivii fluidifianți, ca urmare a adsorbției lor la suprafața granulelor de ciment sau a noilor formațiuni de hidratare, cu grupările lor mai puțin polare și cu alte grupări polare spre apă, împiedică formarea aglomerărilor menționate anterior. Prin împiedicarea fenomenului de aglomerare, crește gradul de dispersie a cimentului și a noilor formațiuni hidratate, ceea ce face sistemul mai fluid și permite reducerea raportului a/c. Prezența straturilor adsorbite și a sarcinilor electrice la suprafața particulelor reduce frecările interne, modificând comportarea reologică a sistemului; tendința de separare a apei și de sedimentare este mai mică, omogenitatea și stabilitatea pastei de ciment (mortarului, betonului) este mai mare și se păstrează în timp.

Acțiunea aditivilor fluidifianți asupra proceselor de hidratare hidroliză a cimenturilor este și depinde, în primul rând, de natura aditivului și de proporția acestuia. Sînt astfel fluidifianți tipici întîrziatori de priză, după cum sînt și fluidifianți acceleratori de priză, care intensifică notabil procesele de hidratare - hidroliză și întărire a cimentului. Chiar în cazul unor aditivi întîrziatori de priză, nu rezultă implicit că procesul de hidratare - hidroliză este frînat. .

Folosirea aditivilor fluidifianți conduce la modificări nu numai în comportarea reologică și în procesul de hidratare-hidroliză a pastelor de ciment (mortarelor, betoanelor), ci și în procesul de structurare a acestora atît la nivel microscopic cît și macroscopic.

Aditivii antrenori de aer sînt substanțe tensioactive, care modificînd tensiunea superficială a apei, acționează la limite de separație a fazelor, antrenînd bule mici de aer în produsele pe bază de ciment (mortare, betoane), repartizate uniform și capabile să determine o structurare a maselor în care sînt introduse. Cantitatea de aer antrenat nu trebuie să depășească 5-6% din volumul total.

Efectul lor principal, este acela al îmbunătățirii lucrabilității și dureabilității betonului (rezistenței la îngheț-dezghet) -

.-consecință a modificărilor structurale induse atât în betonul proaspăt cât și întărit.

În diferite clasificări ei sînt cuprinși la aditivi modificatori ai proprietăților reologice sau aditivi antigelivi.

Aditivii antrenori de aer sînt constituiți dintr-o grupare hidrofilă, polară (avînd un anumit moment electric și o mare afinitate chimică) și o grupare hidrofobă, nepolară (constituită dintr-un lanț hidrocarbonat lung, cu sfinitate chimică scăzută). Ei se orientează cu gruparea polară spre granulele de ciment (cu caracter ionic) și spre agregate (cu caracter hidrofil) iar cu gruparea hidrofobă către exterior (spre faza aer) (fig.2.2) /109/, /155/.

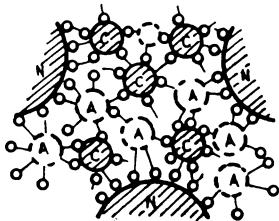


Fig.2.2. Mecanismul antrenării aerului în beton /109/, /155/.

N - granule de nisip  
C - granule de ciment  
A - bule de aer

de aer, ci de proprietățile straturilor superficiale de substanță tensioactivă care alcătuiesc structuri stratificate, cu planuri de alunecare după poziția grupărilor hidrocarbonate (fig.2.3) /109/, /155/.

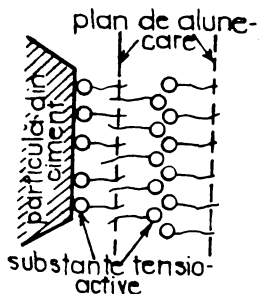


Fig.2.3. Mecanismul de "lubrifiere" în beton determinat de substanțele tensioactive hidrofobiante /109/, /155/.

Din acest motiv aditivii antrenori de aer acționează ca substanțe hidrofobizante. Suprafața particulelor solide primind un caracter hidrofob, bulele de aer aderă la suprafața granulelor de ciment și de agregat exercitînd un efect de dispersare ordonată a sistemului, cu creșterea lucrabilității sale. Unii cercetători consideră că îmbunătățirea lucrabilității nu este determinată de prezența bulilor

Structura sistemului, ca urmare a aderenței la suprafața particulelor solide a bulilor de aer, cum și existența membranelor structurate ale acestora, imprimă o stabilitate sporită sistemului, caracterizat printr-o coeziune ridicată, cu tendință scăzută de segregare a spei. Toate acestea, alături de scăderea apei necesare pentru obținerea unei anumite consistențe, conduc în ansamblu, la îmbunătățirea

lucrabilității. Efectul asupra lucrabilității, consecință atât a volumului de aer antrenat, cât și a distribuției dimensionale a porilor în beton, este determinat esențial de natură și proporția aditivului precum și de compoziția betonului.

Aditivii micști sînt substanțe tensioactive care exercită atât acțiune fluidificatoare cât și de antrenare de aer. Chiar dacă unele substanțe au o acțiune mixtă (funcție de proporție în care sînt utilizate), de cele mai multe ori aditivii din această categorie sînt amestecuri de substanțe compatibile, cu efect de fluidifiant și antrenor de aer, dozate în proporții judicioase.

Ele acționează astfel încît se îmbină efectul favorabil al celor două acțiuni determinante, evitînd în mai mare măsură influența negativă a unei anumite supradozări.

#### 2.1.4. Aditivi clasici produși și utilizați în România

Aditivii produși și utilizați în țară precum și clasificările lor sînt prezentate în Normativul pentru executarea lucrărilor din beton armat, indicativ C 140-79 /180/ și C 140-86 /181/, precum și în diferite lucrări de specialitate./10/,/14/,/63/,/109/,/155/. O clasificare a lor în funcție de efectul principal la utilizare este prezentată în tab.2.1.

Aditivi clasici pentru betoane și mortare produși în România /10/,/63/,/180/,/181/

tabelul 2.1

Nr. crt.	Produsul	Efectul principal la utilizare
1	Lignosulfonat de calciu	-reducător de apă
2	Disan A	-reducător de apă -antrenor de aer
3	Replast	-întîrziător de priză și întărire
4	Clorură de calciu tip C	-accelerator de priză și întărire
5	Antigero	-accelerator de întărire -antigel - coboară punctul de îngheț al apei pînă la -10°C.
6	Apastop P	-impermeabilizator pentru mortare
7	Retargol	-întîrziător pentru mortare

LIGNOSULFONATUL DE CALCIU (LSC) este un aditiv cu efect de reducător de apă. Aditivul este produs de Combinatul de Celuloză și Hârtie Zărnești-Brașov.

Utilizarea lui asigură îmbunătățirea lucrabilității, reducerea tendinței de segregare, creșterea gradului de impermeabilitate și a rezistenței la îngheț-dezghet repetat.

Se livrează în saci sub formă de pulbere de culoare cafeniu închisă, fiecare lot fiind însoțit de certificatul de calitate. Transportul se efectuează cu mijloace de transport acoperite iar depozitarea se face în încăperi închise, ferite de umezeală.

Aditivul se recomandă a se utiliza la prepararea betoanelor grele, simple, armate sau precomprimate cu tasarea maximă de 11 cm. La lucrabilitate egală se obține o reducere a apei de preparare cu 10%. Se poate utiliza tratamentul termic.

La prepararea betoanelor aditivul se folosește sub formă de soluție având o concentrație de  $20 \pm 1\%$  substanță uscată, în unități de masă. Pentru prepararea soluției se dizolvă aditivul în cantitate de 25 kg/100 l apă, ceea ce conduce la obținerea unui volum de cca 115 l soluție, care se păstrează în butoaie metalice sau din PVC închise, pentru a evita eventualele impurificări sau modificarea concentrației datorită evaporării apei.

Proporția de soluție de aditiv de concentrație 20% utilizată la prepararea betoanelor va fi de 0,750-1,00 l/100 kg ciment (cu pînă la 15 adaos), ceea ce corespunde la 0,15-0,20% substanță uscată, în unități de masă, față de ciment sau de 1,00-1,25 l/100 kg ciment (cu peste 15% adaos) ceea ce corespunde la 0,20-0,25% substanță uscată în unități de masă față de ciment.

DISAN\_A face parte din categoria aditivilor cu efect de reducător de apă și antrenor de aer. Este produs de Combinatul de Celuloză și Hârtie Zărnești-Brașov.

Utilizarea aditivului asigură îmbunătățirea lucrabilității, reducerea tendinței de segregare, creșterea gradului de impermeabilitate și a rezistenței la îngheț-dezghet.

Se livrează în saci sub formă de pulbere de culoare cafeniu închisă (sau cu acordul părților sub formă de soluție), fiecare lot fiind însoțit de certificatul de calitate. Transportul se efectuează cu mijloace de transport acoperite, iar depozitarea se face în încăperi închise, ferite de umezeală.

Aditivul se recomandă a se utiliza la prepararea betoanelor grele simple, armate sau precomprimate cu tasarea maximă de 9 cm.

La lucrabilitate egală se obține o reducere a apei de preparare cu 10%. Se poate utiliza și la betoanele tratate termic, dar numai pe bază de încercări preliminare.

La prepararea betoanelor aditivul se folosește sub formă de soluție, avînd o concentrație de 20<sup>+</sup>-1% substanță uscată în unități de masă. Pentru prepararea soluției se dizolvă aditivul în cantitate de 25 kg/100 l apă, ceea ce conduce la obținerea unui volum de cca. 115 l soluție, care se păstrează în butoaie metalice sau din PVC bine închise, pentru a evita eventualele impurificări sau modificarea concentrației datorită evaporării apei.

Proporția de soluție de aditiv de concentrație 20% utilizată la prepararea betoanelor va fi de 0,750-1,500 l/100 kg ciment, ceea ce corespunde la 0,15-0,30% substanță uscată în unități de masă față de ciment (pentru cimenturi tip portland fără adaos sau cu max. 30% adaos).

REPLAST este un aditiv cu efect de întîrziator a timpului de priză și întărire pentru betoane, putîndu-se obține o întîrziere de maximum 18 ore. Este produs de Intreprinderea de Microproducție și lucrări Experimentale în Construcții (IMEC) București, șos-Pantelimon nr.266.

Se utilizează la betoane de orice clasă, cu lucrabilitatea de minimum 5 cm țesare în scopul evitării rosturilor de lucru la întreruperea betonării, a menținerii proprietăților betonului proaspăt pe perioada necesară în cazul transportului la distanțe mari, sau pe timp călduros. Folosirea la temperaturi sub + 10 °C nu este justificată decît în cazuri speciale. La lucrabilitate egală, cantitatea de apă se poate reduce cu cca. 10%.

Se livrează în stare lichidă, cu conținut de substanță uscată 9-10%, însoțit de certificat de calitate. Depozitarea și păstrarea aditivului se face în ambaleje închise din PVC în locuri ferite de acțiunea directă a soarelui și înghețului.

Cantitatea de aditiv utilizată la prepararea betonului este de 1,7<sup>+</sup>0,7 l/100 kg ciment indiferent de clasă betonului.

CLORURA DE CALCIU tehnică tip C este un aditiv accelerador de priză și întărire.

Se utilizează la betoane simple și armate, grele și ușoare, preparate cu orice fel de ciment pe bază de clincher portland, cu lucrabilitatea L<sub>2</sub> și L<sub>3</sub> pentru betonări pe timp friguros sau pentru betonarea elementelor de construcții la care urmează a se face o decofrare timpurie.

Este o substanță solidă, de culoare albă-gălbuie sau cenu-

șie și se livrează ambalată în butoaie de tablă de oțel, închise ermetic, cu un conținut net de 100 kg. Fiind foarte higroscopică, butoaiile se transportă în vehicule acoperite și se depozitează în încăperi cu umiditate redusă.

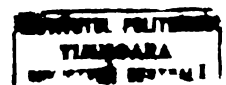
Folosirea clorurii de calciu este interzisă la betoane cu cimenturi cu peste 15% adaos, construcții la care apariția unor pete pe suprafață nu este admisă, construcții de beton armat care în cursul exploatării se vor afla în mediu umed, construcții care se află situate la mai puțin de 100 m de cabluri de înaltă tensiune, elemente armate cu plase sudate, elemente din beton precomprimat și betoane cu permeabilitate redusă. Clorura de calciu se folosește sub formă de soluție de concentrație 20% care se adaugă odată cu ape de amestecare la prepararea betoanelor, procentul optim determinându-se pentru fiecare tip de ciment. Cantitatea de clorură de calciu optimă este cea care reduce timpul de începere a prizei la minimum 1 oră, fără a depăși însă 3% din masa cimentului pentru betoane simple și 2% din masa cimentului pentru betoane armate.

ANTIGERO este un aditiv accelerator de întărire care coboară punctul de îngheț al apei pînă la  $-10^{\circ}\text{C}$ , asigurînd executarea lucrărilor de betonare pe timp friguros și evitînd degradarea structurii betonului sub acțiunea înghețului la începutul perioadei de întărire. Are efect secundar de antrenor de aer și conține ioni de clor în proporție redusă (0,3%) fără să aibă efect de corodare a armăturii.

Se produce de Întreprinderea de Microproducție și Lucrări Experimentale în Construcții (IMEC) București, șos. Pantelimon nr.266 în formă lichidă. Se livrează în butoaie metalice sau PVC cu capacități de 50-200 l, însoțite de certificatul de calitate. Se păstrează în spații închise în care temperatura nu va coborî sub  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Aditivul se recomandă a se folosi la prepararea betoanelor grele destinate elementelor și structurilor de beton armat executate pe timp friguros. Lucreabilitatea betonului va corespunde unei grosărimi de maximum 5 cm iar la aceeași lucreabilitate cu amestecul fără aditiv, apa de amestecare se poate reduce cu cca.5%.

Nu se utilizează la elemente și structuri din beton precomprimat, construcții masive, betoane cu dozaj de ciment sub  $380\text{ kg/m}^3$ , lucrări de beton sau beton armat expuse la medii agresive sau lucrări de beton armat situate permanent în apă.



Nu se recomandă utilizarea de cimenturi cu mai mult de 15% adaos.

La prepararea betoanelor aditivul se utilizează în cantitate de  $6,5 \pm 0,2$  l/100 kg ciment.

APASTOP P este un aditiv impermeabilizator pentru mortare de ciment. Mortarul cu adaos de Apastop P se aplică în mai multe structuri și constituie o hidroizolație rigidă. Aditivul este produs de Intreprinderea produse chimice Victoria, București, și se prezintă sub formă de pulbere de culoare albă sau gri. Este ambalat în saci de hârtie de 25 kg, depozitat în spații închise și uscate și este garantat maximum 6 luni de la livrare.

Aditivul se utilizează în proporție de 3% substanță uscată din masa cimentului la prepararea mortarelor folosite la realizarea structurilor intermediare (2 și 3 sau 2,3 și 4) de tencuieli de ciment pentru protejarea elementelor de construcții contra umidității (tencuieli exterioare la pereți în subteran și socluri la clădiri, stratul orizontal de rupere a capilarității la zidării, tencuieli interioare în încăperi cu umiditate ridicată ca băi publice, spălătorii, etc) și pentru etanșarea construcțiilor ce vin în contact direct cu apa (cuve, bazine, rezervoare, castele de apă la care presiunea apei să nu depășească 2 atm.). În cazul construcțiilor ce vin în contact cu ape agresive, utilizarea se face pe bază de indicații tehnice elaborate de un institut de specialitate.

Nu se admite aplicarea mortarelor cu Apastop P la construcții supuse vibrațiilor.

- RETARGOL este un aditiv întârziător pentru mortare, asigurând menținerea lor în stare proaspătă timp de 6-18 ore.

Se livrează sub formă de lichid de culoare brun-închisă și se ambalează în canistre de PVC cu capacitatea de 50 l. Transportul se face cu mijloace obișnuite, iar depozitarea se face în locuri ferite de acțiunea directă a razelor solare și a înghețului. Aditivul se folosește numai la prepararea mortarelor de marcă M25, M50 și M 100 realizate cu toate tipurile de ciment, cu excepție celor aluminose și colorate.

Limitile în care poate să varieze cantitatea de aditiv, în funcție de marca mortarului, sînt de  $2,4 \pm 0,3$  l/100 kg ciment pentru mortare M25,  $2,1 \pm 0,3$  l/100 kg ciment pentru mortare M50 și  $1,5 \pm 0,3$  l/100 kg ciment pentru mortare M 100.

## 2.2. Aditivi moderni pentru betoane: Superplastifianții

### 2.2.1. Considerații generale. Istoric, conceptul de aditiv superplastifiant

Acești aditivi moderni, cunoscuți sub denumirea generică de superplastifianți, reprezintă noi tipuri de aditivi pentru betoane care au apărut pentru prima dată în Japonia /50/, /51/, în 1964 când s-a realizat primul aditiv superplastifiant pentru betoane denumit MIGHTY 150. Tot din 1964 se folosește și în Germania /104/ iar după această dată utilizarea lor s-a extins și în alte țări: Anglia, SUA, Canada, URSS, Australia, Italia, Franța etc /24/, /53/, /123/, /133/, /139/, /161/.

Utilizării superplastifiantilor în practică, în intervalul relativ recent ce a trecut de la începerea producției acestora, i-au fost consacrate două simpozioane internaționale în Canada în mai 1978 /2/, /3/ și iunie 1981 /1/.

Studiile teoretice și cercetările experimentale efectuate în domeniul aditivilor superplastifianți, atât pe plan internațional cât și în țară, au fost prezentate în detaliu în capitolul 1, paragrafele 1.3.1. și 1.3.2.

Din studiul întreprins rezultă că acești aditivi poartă diverse denumiri în literatura de specialitate, neajungându-se până în prezent la un consens privind numele lor. În continuare se prezintă câteva dintre denumirile mai des folosite : SUPERPLASTICIZER /2/, /17/, /24/, /42/, /53/, /54/, /55/, /85/, /91/, /92/, /99/, /104/, /112/, /124/, /133/, /139/, (SUPER) FLUIDIFIER /99/, /104/, /161/, SUPERVER - FLUSSIGER /99/, /104/, FLIESSMITTEL /104/, SUPERPLASTIFIANT, (SUPER) FLUIDIFIANT /103/, /123/, SUPERPLASTICIZING ADMIXTURE /112/, /139/, /142/, SUPER WATER REDUCER (SWR) /99/, /112/, SUPER WATER-REDUCING ADMIXTURE (SWR-ADMIXTURE) /50/, /145/, HIGH-RANGE WATER REDUCER (HRWR) /99/, /161/, HIGH-RANGE WATER-REDUCING ADMIXTURE (HR-ADMIXTURE) /52/, /105/, /122/, /161/, FUNCTIONAL WATER REDUCER /161/.  
La noi în țară se folosesc denumirile : (ADITIV) SUPERPLASTIFIANT /33/, /42/, /58/, /59/, /63/, /71/, /72/, /74/, /83/, /90/, /146/, /149/, /153/, /173/, /174/, /175/, /181/, (ADITIV) (SUPER) FLUIDIFIANT /59/, /63/, /151/, /153/ , ADITIV INTENS REDUCATOR DE APA /181/, (ADITIV) (SUPER) REDUCATOR DE APA /59/, /63/.

Se constată că cercetătorii au denumit acești noi aditivi în principal, fie după efectul lor de superplastifiere (superfluidi-



Tipuri de aditivi superplastifianți utilizați în tehnologia betoanelor.

Tabelul 2.3

Nr. crt.	Denumirea comercială a aditivului (codul)	Tipul aditiv. (grupa) Dozajul utilizat (% s.d. din cantitatea de ciment)	Tara unde se utilizează
0	1	2	3
1	ACOSAL FLUID	$\frac{\text{LSCM (III)}}{0,35 - 0,40}$	Anglia [53]
2	BETON LIQUIDOL	$\frac{\text{NFS (II)}}{1,00 - 1,50 *}$	Germania [128]
3	CONPLAST M1	$\frac{\text{MFS (I)}}{0,31 - 0,36}$	Anglia [53]
4	CORMIX SP1	$\frac{\text{NFS (II)}}{0,55 - 0,63}$	
5	CRODA 3 R	$\frac{\text{NFS (II)}}{0,45 - 0,46}$	
6	FLUBET	$\frac{\text{NFS (II)}}{1,50 - 2,50 *}$	
7	HIGH FLUID	$\frac{\text{NFS (II)}}{0,50 *}$	
8	HIGH FLUID R	$\frac{\text{NFS (II) + Acid hidro-carboxilic (IV)}}{0,40 *}$	România [32], [33], [153], [175], [181]
9	HRWR - BR	$\frac{\text{NFS (II)}}{0,40 - 4,00 *}$	SUA [105]
10	HRWR - C	$\frac{\text{NFS (II)}}{0,40 - 4,00 *}$	
11	L	$\frac{\text{LSCM (III)}}{0,75 - 2,00 *}$	Canada [142]
12	LIGNIN SULFONATE	$\frac{\text{LSCM (III)}}{0,25 - 1,00}$	Japonia [50], [51]
13	LOMAR D	$\frac{\text{NFS (II)}}{1,50 *}$	SUA [51], [133]
14	M	$\frac{\text{MFS (I)}}{2,00 - 3,00 *}$	Canada [142]
15	MELMENT L10	MFS(I) 2,50-5,00 *	Germania [2]
		MFS(I) 2,50-2,80 *	Canada [55]
		MFS(I) 0,75 - 3,60 *	SUA [57]

0	1	2	3	
		1,50-4,00 *	Australia [139]	
		0,91-1,75 *	Canada [95]	
		1,00-3,00 *	Canada [99]	
		0,33-0,42	Anglia [53]	
16	MELMENT N	$\frac{MFS(I)}{1,00-1,50 *}$	Japonia [122]	
17	MIGHTY 100	$\frac{NFS(II)}{0,25-1,00}$	Japonia [50],[51]	
18	MIGHTY 150	NFS(II)	0,25-1,00	Japonia [50],[51]
			0,60-2,40 *	Japonia [85]
			0,60-0,80	Anglia [17]
			1,20-1,80 *	SUA [91]
			0,49-0,56	Anglia [53]
			0,50-1,50 *	Canada [99]
19	MIGHTY FD	$\frac{NFS(II)}{0,60 *}$	Japonia [85]	
20	MIGHTY 150R	$\frac{NFS(II)}{0,40 *}$		
21	MIGHTY 150 RA	$\frac{NFS(II)}{0,40 *}$		
22	MIGHTY 150 RD2	$\frac{NFS(II)}{0,30-0,50 *}$	SUA [4]	
23	MULCOPLAST CF	LSCM (III)	1,875 *	SUA [133]
			1,00-3,00 *	Canada [99]
24	M-SWR	$\frac{MFS(I)}{1,00}$	SUA [145]	
25	N	$\frac{NFS(II)}{1,20-1,50 *}$	Canada [142]	
26	N-SWR	$\frac{NFS(II)}{1,20-1,50 *}$	SUA [145]	
27	POLFINE 510 N	$\frac{NFS(II)}{1,00-3,00 *}$	Japonia [85]	
28	POLFINE 510 C	$\frac{NFS(II)}{2,00 *}$		

0	1	2	3	
29	POZZITE MR1	$\frac{MFS(I)}{1,5 *}$	Canada [95]	
30	POZZOLITH NL 4000	$\frac{MFS(I)}{2,00 - 4,00 *}$	Japonia [85]	
31	POZZOLITH NL 4000 P	$\frac{MFS(I)}{2,00 - 4,00 *}$		
32	POZZOLITH NF 10	$\frac{NFS(II)}{0,4 *}$		
33	POZZOLITH NF 20	$\frac{MFS(I)}{0,7 *}$		
34	RHEOMAC 716	$\frac{NFS(II)}{0,4}$	Italia [24]	
35	RHEOMAC 877	$\frac{NFS(II)}{0,4}$		
36	SEALOPLAZ SUPER	$\frac{MFS(I)}{0,48 - 0,63}$	Anglia [53]	
37	SUPAFLO	$\frac{NFS(II)}{0,52 - 0,63}$		
38	SIKAMENT	$\frac{NFS(II)}{0,41}$	Anglia [53]	
		$\frac{NFS(II)}{2,5 *}$	SUA [91]	
39	SP4	Polietilen - poliamide ale acidului sulfosuccinic (IV) $0,02 - 0,10 *$	România [72],[76],[83]	
40	VIMC 11	MFS (I)	$1,0 - 5,0 *$	[65], [174]
			$1,0 - 4,0 *$	[173] România
			$1,5 - 3,0 *$	[46],[59],[69],[90],[111]
41	VIMC 22	NFS (II)	$0,8 - 2,0 *$	[173] România
			$1,1 - 1,8 *$	[46], [90]
			$1,5 - 1,7 *$	[59],[69],[140]

\* % solutie din cantitatea de ciment

fiere) a betonului proaspăt, fie după efectul lor de superreducători (reducători) a cantității de apă folosită la prepararea betonului. De aici rezultă de fapt și direcțiile principale în care se recomandă utilizarea acestor aditivi și anume fie la creșterea considerabilă a lucrabilității betonului proaspăt la raport a/c egal cu al betonului martor, fie la reducerea drastică a raportului a/c la lucrabilitate egală cu a betonului martor. Mai există și posibilitatea intermediară, de îmbunătățire limitată a lucrabilității betonului proaspăt prin reducerea moderată a raportului a/c față de betonul martor.

Aditivii superplastifianți se utilizează de regulă în stare lichidă, sub formă de soluții de diverse concentrații (20, 30, 40, 50% substanță activă superplastifiant) sau în stare solidă (praf), în proporție de cca 0,1-1,0% substanță activă (uscată) superplastifiant din cantitatea de ciment.

Sintetizând rezultatele studiului întreprins, se poate afirma că aditivii superplastifianți sînt aditivi produși de industria chimică, de sinteză, care adăugați la prepararea betonului în proporții de cca 0,1-1,0% substanță activă (uscată) superplastifiant din cantitatea de ciment, permit în principal fie creșterea considerabilă a lucrabilității betonului proaspăt la raport a/c egal cu al betonului martor fie reducerea drastică a raportului a/c la lucrabilitate egală cu a betonului martor.

### 2.2.2. Clasificări ale aditivilor superplastifianți

Aditivii superplastifianți utilizați în prezent în lume în tehnologia betoanelor se pot clasifica astfel :

a) după substanțele chimice din care sînt produși se pot încadra în patru grupe (tabelul 2.2) /42/, /53/, /54/, /58/, /59/, /63/, /104/, /153/.

În cadrul fiecărei grupe de produse pot exista subgrupe foarte largi de aditivi superplastifianți, cu caracteristici proprii diferite în funcție de masa moleculară, de natură și compoziția diferitelor substanțe folosite în fabricația acestora (deoarece în producția unui superplastifiant oarecare sînt utilizate de regulă mai multe tipuri de substanțe organice și anorganice), de particularitățile tehnologiei de fabricație care influențează sensibil proprietățile și comportarea superplastifianților la utilizare. Compozițiile și tehnologiile de fabricație detaliate, pentru fiecare superplastifiant sînt cunoscute numai de producători și sînt protejate prin brevetare.

Clasificarea aditivilor superplastifianți după substanțele chimice din care sînt produși /42/, /53/, /54/, /58/, /59/, /63/, /140/, /153/.

tab. 2.2

Grupa	Clasificare
I	Produse de condensare pe bază de melamină - formaldehidă sulfonată (tip MFS)
II	Produse de condensare pe bază de naftalină - formaldehidă sulfonată (tip NFS)
III	Produse pe bază de lignosulfonat de calciu modificat (tip LSCM)
IV	Produse pe bază de esteri ai acidului sulfonic, alți esteri carbohidrați, pe bază de acizi aminici și zaharați etc. (tip DIVERSI)

În tabelul 2.3 se prezintă principalele tipuri de aditivi superplastifianți utilizați în tehnologia lucrărilor de construcții, cunoscuți din literatura de specialitate din străinătate și din țară.

b) După efectele la utilizare se pot clasifica, asemănător ca și aditivii clasici, în mai multe clase (tabelul 2.4) /4/, /53/, /59/, /63/, /95/.

Pe baza datelor de care se dispune, în prezent, ponderea cea mai importantă în producția superplastifianților o dețin cei din prima clasă, adică reducătorii sau superreducătorii de apă și superfluidifianții pentru beton, datorită faptului că majoritatea produselor livrate actualmente prezintă la utilizare o universalitate mai mare, ceea ce permite folosirea aceluiași superplastifiant pentru producerea betonului fluid, a betonului cu rezistență superioară, la realizarea de construcții prefabricate și monolite, pentru reducerea tratamentului termic la prefabricate, pentru reducerea consumului de ciment în betoanele de egală rezistență etc. În cadrul acestei mari clase de superplastifianți sînt folosite, în prezent în lume, zeci sau sute de produse, în principal condensate, pe bază de melamină-formaldehidă sulfonată (MFS) sau naftalină-formaldehidă sulfonată (NFS).

nată (MFS) și într-o măsură mai limitată aditivii din celelalte grupe (LSCM, alți aditivi).

Clasificarea aditivilor superplastifianți după efectele la utilizare /4/, /53/, /59/, /63/, /95/.

tab. 24

Clasa	Clasificare.
1	Reducători sau superreducători de apă și fluidifianți
2	Micsti, cu efect de reducători sau superreducători de apă și efect de antrenori de aer moderati (2-4% în raport cu betonul maritor)
3	Acceleratori de priză și întărire fără cloruri
4	Impermeabilizatori în masă și la suprafața betonului
5	Antrenori de aer
6	Întirzietori de priză și întărire

Studiile japoneze /50/, /51/, /85/, /122/ precum și cele întreprinse în Canada /55/, /95/, /99/, /142/, /161/, Anglia /17/, /53/, /54/, Germania /2/, /104/, /129/, SUA /4/, /57/, /91/, /105/, /114/, /133/, /145/, Australia /139/, Italia /24/ au arătat că dozejul utilizat pentru aditivii superplastifianți de tip MFS și NFS este mai mare de 0,25% substanță activă din cantitatea de ciment iar pentru atingerea performanțelor de superreducători de apă, dozejul este cuprins între 0,50-1,0% ș.a. Pentru aditivii de tip LSCM și DIVERSI (Ex: acid hidrocarboxilic, esteri ai acidului sulfonic etc) dozejul utilizat este de cel puțin 0,25% ș.a., respectiv 0,1% ș.a. din cantitatea de ciment.

### 2.2.3. Considerații teoretice privind mecanismul de acțiune al aditivilor superplastifianți în beton.

Aditivii superplastifianți acționează în beton îndeosebi prin procese fizico-chimice de adsorbție la suprafața granulelor anhidre și a produșilor de hidratare cu modificări esențiale asupra proprietăților betonului /25/, /31/, /33/, /43/, /50/, /58/, /63/, /72/, /51/, /99/, /101/, /104/, /122/, /123/, /151/, /153/.

Substanțele care acționează prin adsorbție la limita de separare a fazelor modifică sensibil limita de curgere și vâscozitatea plastică, îmbunătățind lucrabilitatea betonului. Micșorarea limitei de curgere are ca rezultat o fluidifiere a pastelor și deci posibilitatea reducerii necesarului de apă pentru aceeași lucrabilitate a betonului, de unde și denumirea întâlnită în literatura de specialitate de reducători sau superreducători de apă.

Aditivii superplastifianți pot aparține, așa după cum s-a arătat în paragraful 2.2.2. ureia din cele patru grupe.

În figura 2.4. sînt prezentate formele chimice pentru fiecare din cele patru grupe de aditivi superplastifianți /42/,/99/, /153/.

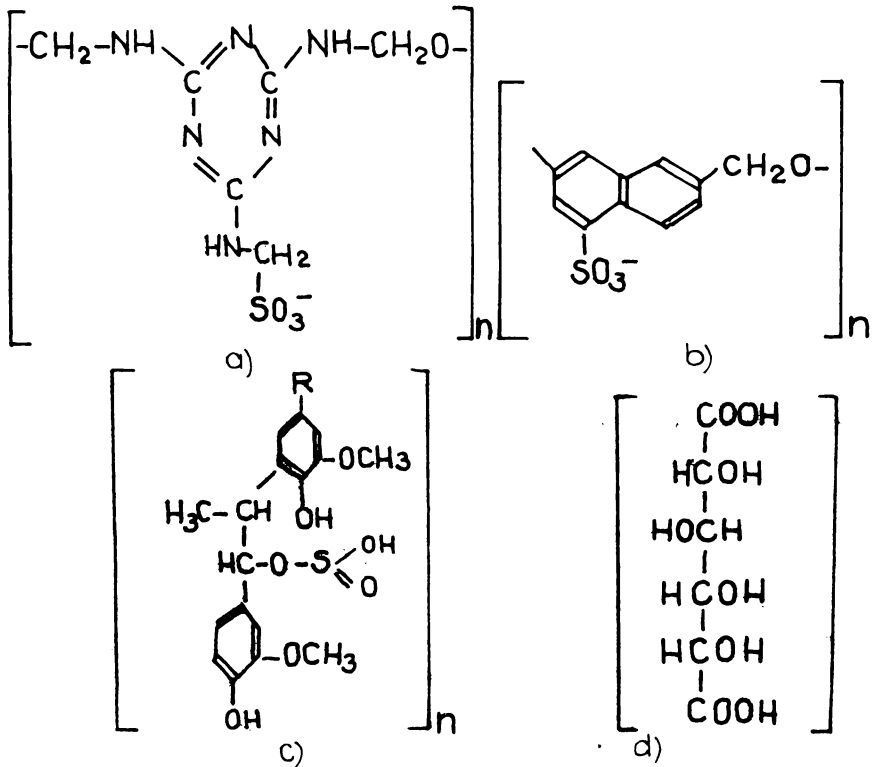


Fig.2.4.a,b,c,d. Formule chimice pentru diferite grupe de aditivi superplastifianți /42/,/99/,/153/.

- a) editiv superplastifiant grupa I (tip MFS)
- b) editiv superplastifiant grupa II (tip NFS)
- c) editiv superplastifiant grupa III (tip ISCM)
- d) editiv superplastifiant grupa IV (tip DIVERSI, ex. acid polihidrocarboxilic)

Gradul de policondensare al produselor din grupele 1 și 2 variază în anumite limite, recomandându-se o masă moleculară relativă variind între  $10^3$  și  $10^4$ . Scrierea simplificată este prezentată în fig.2.4. formulele a și b.

Structura lignosulfonaților - grupa 3 - nu este bine cunoscută iar scrierea simplificată, dată în fig.2.4. formula c vrea să sublinieze structura arborescentă tridimensională cu prezența grupărilor polare :  $-SO_3$  ;  $-O-CH_3$  ;  $-OH$  , unele ionizabile. Masa moleculară relativă a lignosulfonatului de calciu trebuie să fie cuprinsă între 14.000 și 16.000 pentru a avea o bună acțiune fluidifiantă, aproximativ în aceleași limite cu a condensatoarelor din grupele 1 și 2.

Prezența unor grupe  $-CH_3$  cu caracter hidrofob (sau a altor hidrocarbonați) dau posibilitatea antrenării de aer în beton.

Scrierea simplificată a unui aditiv din grupa 4 este prezentată în fig.2.4. formula d.

Aditivii superplastifianți prezentați se adsorb din soluție fie la suprafața lichid-aer, producând o scădere a tensiunii superficiale, fie se adsorb la suprafața particulelor solide, intensitatea adsorbției depinzând de volumul soluției și fiind influențată de natura solventului. Mecanismul adsorbției este puternic influențat de structura aditivului. Aditivii superplastifianți aromatici având mai multe grupări polare au o adsorbție în strat ca în fig.2.5. a, față de adsorbția moleculelor cu structură simplă polar - nepolară care se adsorb atât la interfața lichid-aer cât și la suprafața particulelor solide după mecanismul din figura 2.5.b /153/.

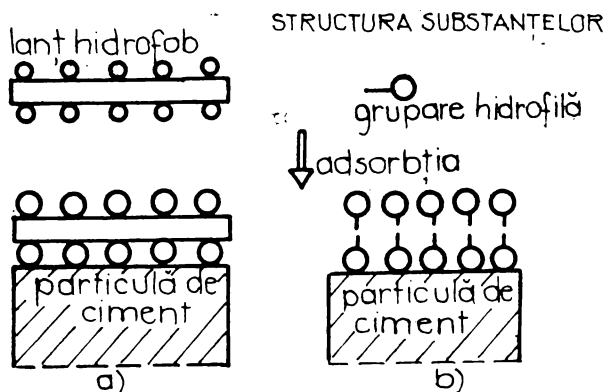


Fig.2.5. a,b. Mecanismul adsorbției substanțelor tensioactive la suprafața granulelor de ciment/153/.

- a) substanțe cu molecule mare ;
- b) substanțe cu molecule simplă.



În caz că astfel de substanțe au mai multe grupări polare adsorbția se face astfel încât există o trecere continuă între faze cu polarități diferite în sensul scăderii acestora. Aditivii superplastifianți, ce produse unitare cu formulele date simplificat în figura 2.4., sînt substanțe cu o mare polaritate a moleculei (dipoli permanenți), momentul de dipol fiind determinat de suma vectorială a moleculelor electrice ale tuturor legăturilor din moleculă, iar în cazul de față este determinat mai ales de natura grupărilor polare  $\text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{NH}_2^-$ ,  $\text{OH}^-$  etc. și de asimetria lor din moleculă. Momentul maxim de dipol a unei molecule aromatice corespunde cu așezarea în poziția  $\beta$  a unui nucleu aromatic (formula a din fig.2.4). Înlocuirea unei grupări metilenice -  $\text{O-CH}_2$  - cu gruparea -  $\text{OH}$  duce la creșterea momentului de dipol de la 1,25 debye la 1,65 debye în cazul lignosulfatilor (formula c din fig.2.4.)

Polaritatea moleculei dă posibilitatea ca astfel de aditivi să se adsorbă puternic atât la suprafața compușilor anhidri (cu încărcare electropozitivă) cât și la suprafața produșilor de hidratare (hidrosilicații și hidroaluminații de calciu fiind electronegativi). Agitația termică ce se opune orientării și adsorbției are o influență mult mai slabă asupra acestor substanțe cu masă moleculară mare față de moleculele cu structură simplă.

Aceste polarități structurale și de compoziție fac ca aditivii superplastifianți să interacționeze puternic cu suprafețele solide (electropozitive sau electronegative) adsorbția fiind ireversibilă, ireversibilitate atribuită și formării unor compuși chelatici. Polaritatea indusă, determinată de suprafețele solide ale compușilor din ciment, crește cu greutatea moleculară a substanței adsorbite.

Natura grupelor funcționale din compoziția unor astfel de substanțe prezintă importanță și prin efectele secundare pe care le produc. Astfel, gruparea  $\text{OH}^-$  exercită o puternică acțiune de adsorbție a apei și în raport cu fazele hidratate ale cimentului, determinînd atât o fluidifiere cât și o stabilizare a fazelor hidratate. Gruparea funcțională -  $\text{NH}_2$  (aminică) poate funcționa ca peptizator sau floculator, funcție de concentrație. Grupările funcționale -  $\text{SO}_3^{2-}$ , -  $\text{COO}^-$ ,  $\text{CHO}$  - pot intra în reacții chimice cu produsele de hidratare ale cimentului, cu formarea unor produși chelatici cu influență asupra proceselor de priză și întărire.



Fig.2.6. Imagine electronomicros-  
copică a cimentului în curs  
de întărire : a/c = 1 ;  
7000 X /153/.

a) ciment-apa la 1 h.



b) ciment-apă  
+ FLUBET (2%)  
la 1 h.



*a'*

a') ciment - apă  
la 2 h de la hidratare



*b'*

b') ciment - apă + FLUBET(2%)  
la 2 h de la hidratare.

Prezența grupărilor polare disociabile electrolitic, creînd un potențial electric (potențial electrocinetic) la suprafața particulelor, determină o dispersare foarte avansată și o creștere a mobilității (lucrabilității) amestecurilor.

Dintre cercetările experimentale asupra hidratării și întăririi cimenturilor cu aditivi superplastifianți se prezintă influența aditivului superplastifiant FLUBET, urmărită la microscopul electronic, pe suspensii și paste. Din fig.2.6. /153/ se constată influența aditivului asupra formării și nucleației neformațiunilor de hidratare.

#### 2.2.4. Aditivi superplastifianți produși și utilizați în România

În țara noastră se produc și se utilizează în producție la prepararea betoanelor aditivi superplastifianți VIMC 11, VIMC 22, și FLUBET.

##### 2.2.4.1. Aditivii superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22

Cercetările efectuate în colaborare de Laboratorul Tehnologiei Betoanelor ICPMC - București și Laboratorul Victoria din cadrul CCICh-ICECHIM, au permis ca din 24 formule de superplastifianți în laborator și în stația pilot, să fie selecționați pe diferite criterii de optimizare în vederea producerii în țară, superplastifianții VIMC 11 (MFS) și VIMC 22 (NFS) care au fost omologați la finele anului 1980 /42/, /58/, /59/, /68/, /69/.

Principalele caracteristici ale aditivilor VIMC 11 și VIMC 22, domeniile de utilizare precum și modul de utilizare la prepararea betoanelor sînt prezentate în Instrucțiunile tehnice provizorii pentru folosirea superplastifianților VIMC 11 și VIMC 22 la prepararea betoanelor și realizarea elementelor prefabricate /173/, Instrucțiunile tehnice provizorii pentru folosirea superplastifianților VIMC 11 la prepararea betoanelor și realizarea elementelor prefabricate, indicativ CD 137-81. /174/, și în Instrucțiunile tehnice și tehnologice pentru prepararea betoanelor utilizate la realizarea elementelor prefabricate, indicativ CD 137/1-89 /177/.

Condițiile tehnice pe care trebuie să le îndeplinească aditivii sînt prezentate în tabelul 2.5. /42/, /65/, /173/, /174/.

Aditivii sînt produși de Combinatul Chimic Victoria.

Se livrează sub formă de soluție apoasă cu un conținut de substanță activă (uscată) de 20<sup>±</sup>1% la VIMC 11 și de 40<sup>±</sup>2% la VIMC 22.

Fiecare lot de aditiv trebuie să fie însoțit de certificatul de calitate eliberat de producător.

Caracteristicile tehnice ale aditivilor superplastifianți  
VIMC 11 și VIMC 22/42/, /65/, /173/, /174/.

tab.25

nr. crt.	proprietăți	VIMC 11	VIMC 22
1	aspect	soluție apoasă transparentă, ușor lăptoasă	soluție apoasă brun roșcată
2	densitate la 20°C [g/cm <sup>3</sup> ]	1,11 ± 0,02	1,22 ± 0,02
3	conținut substanță activă [%]	20 ± 1	40 ± 2
4	vâscozitate la 20°C [cP]	2-3	5-20
5	pH	6,5-8,5	4,5-5,5
6	cloruri	lipsă	lipsă

Transportul se face de regulă cu vagoane cisternă și autocisterne din oțel inoxidabil iar depozitarea în rezervoare placcate cu polimeri, oțel inoxidabil sau din beton impermeabilizat, bidoane de plastic.

Temperatura mediului de păstrare poate să varieze între - 5 °C + 30 °C.

Calitatea aditivului VIMC 11 este garantată de producător timp de 12 luni iar a aditivului VIMC 22 timp de 2 luni.

Aditivii superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22 se folosesc la prepararea betoanelor grele utilizate la realizarea elementelor prefabricate și monolite din beton în condiții obișnuite de execuție precum și la betoanele turnate la execuția unor lucrări speciale : construcții hidrotehnice, rezervoare pentru diferite lichide, poduri, îmbrăcăminti rutiere, betoane pentru rosturi și monolitizări, betoane puse în operă prin tehnologii speciale, betoane care în timpul exploatarei sînt supuse unor condiții severe de îngheț-dezghet repetat.

Aditivii se adaugă în ape de preparare a betoanelor. Nu se permit abateri la dozarea soluției de superplastifiant mai mari de ± 0,050 litri/litru.

Superplastifiantul VIMC 11 se adaugă în proporție de 1-5% din cantitatea de ciment, iar ca procent optim între 2,0-2,5% iar superplastifiantul VIMC 22 se folosește în proporție de 0,8-2,0% din cantitatea de ciment, cu proporție optimă de 1,3-1,5%.

Efectele tehnico-economice principale realizate prin utilizarea superplastifiantilor VIMC 11 și VIMC 22 la prepararea betoanelor sînt :

- îmbunătățirea sensibilă a lucrabilității betonului proaspăt, la cantitate de apă de preparare egală cu betonul martor în vederea obținerii unor caracteristici fizico-mecanice cel puțin egale pentru betonul întărit, fără majorarea dozajului de ciment ;

- îmbunătățirea limitată a lucrabilității betonului proaspăt și ameliorarea caracteristicilor betoanelor întărite la dozaaje de ciment egale cu betonul martor, prin reducerea cantității de apă de preparare cu 6-12% ;

- creșterea rezistențelor mecanice ale betoanelor și obținerea de betoane cu rezistențe superioare, în vederea reducerii tratamentului termic în unitățile de prefabricate și a timpului de decofrare în construcții la dozaaje de ciment egale cu betonul martor, prin reducerea cantității de apă de preparare cu 12-15% ;

- reducerea dozajelor de ciment cu 12-30% la betoane cu lucrabilitate și caracteristici fizico-mecanice egale cu ale betoanelor martor, prin reducerea cantității de apă de preparare cu 12-25% ;

- extinderea folosirii cimentului cu adaosuri de tipul Pa35 la realizarea elementelor de construcții prefabricate și monolite din beton armat și precomprimat și a celor de tipul M30 la realizarea elementelor de construcții monolite din beton armat la mărcile B200-B300 în vederea reducerii consumului de energie înglobată în realizarea elementelor de construcții, ca urmare a creșterii vitezei de întărire și obținerii de caracteristici superioare pentru betoanele cu astfel de cimenturi la dozaaje de ciment și lucrabilitate egală cu betonul martor prin reducerea cantității de apă de preparare a betoanelor cu cimenturi cu adaosuri cu 12-25%.

#### 2.2.4.2. Aditivul superplastifiant FLUBET

Aditivul superplastifiant FLUBET s-a obținut în urma programului comun de cercetare ICECHIM-Centrul de Chimie Fizică, Colectivul Coloizi - București, și INCERC - București /128/.

Cercetările efectuate pe betoane la INCERC - București au permis omologarea lui în anul 1982 /32/,/33/.

Aditivul superplastifiant FLUBET are un efect de intens reducător de apă și este de tip NFS. Principalele caracteristici, domeniile de utilizare precum și modul de utilizare la prepararea betoanelor sînt prezentate în Instrucțiuni tehnice pentru utilizarea superplastifiantului FLUBET la prepararea betoanelor de ciment, indicativ C 211-82 /175/ și în Normativ pentru executarea lucrărilor din beton și beton armat, C 140-86, Anexa V.3.2./181/

Intreprinderea producătoare pentru producția industrială a aditivului este Combinatul Chimic Giurgiu.

El este produs pe baza NTR MICH Nr. 10663-82 și trebuie să îndeplinească condițiile tehnice prezentate în tabelul 2.6 /175/, /181/.

Caracteristicile tehnice ale aditivului superplastifiant  
FLUBET /175/,/181/

tab. 2.6

nr. crt.	proprietăți	Flubet
1	aspect	soluție limpede culoare brun roșcată
2	densitate la 20°C [g/cm <sup>3</sup> ]	1,13 - 1,16
3	conținut în substanță activă [%]	30 ± 3
4	viscozitate dinamică la 20°C [cP]	6 - 20
5	pH, soluție 1%	7 - 8
6	conținut în sulfat de sodiu (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) [%]	max. 3,5

Fiecare lot de aditiv trebuie să fie însoțit de certificatul de calitate eliberat de producător.

Depozitarea aditivului se va face în spații închise, ferite de umezeală, la o temperatură de minimum + 5 °C.

Înainte de utilizare, constructorul va verifica îndeplinirea condițiilor tehnice pe baze datelor din certificatul de calitate. Nu se admite utilizarea loturilor de aditiv pentru care nu există certificatul de calitate. Termenul de garanție al produsului este de 12 luni.

Aditivul superplastifiant FLUBET se utilizează în cazul betoanelor de marcă cel puțin egală cu E200 (Bc.15) și cu tasare de minimum 7 cm, destinate realizării elementelor sau structurilor de beton simplu, armat sau precomprimat, executate morolit sau prefabricate.

Se folosește în soluție de  $30 \pm 3\%$  substanță uscată (activă) și se adaugă în apa de preparare. Cantitatea de aditiv este de 1,5/100 kg ciment în cazul cimenturilor cu adăos și de 2,0/100 kg ciment în cazul cimenturilor fără adăos.

Aditivul se recomandă în special în următoarele cazuri :

- betoane pentru elemente subțiri și cu armături dese ;
- betoane puse în lucrare cu pompă ;
- betoane de rezistență superioară.

Se poate utiliza și în cazul betoanelor hidrotehnice, rutiere și celor supuse mediilor cu agresivitate chimică, precum și în cazul elementelor prefabricate tratate termic, dar numai pe bază de prescripții speciale sau cu asistența unui institut de specialitate.

Utilizarea aditivului impune asigurarea următoarelor condiții :

- folosirea a maximum 2 sorturi de nisip : 0/3 și 3/7 mm ;
- realizarea la prepararea betoanelor a gradului de omogenitate I sau II ;
- respectarea strictă a prevederilor Normativului C 140-86 în ceea ce privește condițiile tehnice pentru materialele componente, stabilirea compoziției, prepararea, punerea în operă, traterea ulterioară și controlul calității betonului.

Prin utilizarea aditivului superplastifiant FLUBET la prepararea betoanelor se asigură următoarele avantaje tehnico-economice:

- reducerea cantității de apă de preparare cu 20-30%, ceea ce conduce la adoptarea unor rapoarte a/c scăzute, cu consecințe favorabile asupra structurii și proprietăților mecanice ale betonului ;

- îmbunătățirea caracteristicilor betonului proaspăt în ceea ce privește lucrabilitatea, coeziunea amestecului și reducerea tendinței de segregare ;

- sporuri de rezistență de circa 50% în primele 3 zile și de circa 20% la rezistențele finale ;

- îmbunătățirea gradului de impermeabilitate și a durabilității betonului ;

- extinderea domeniului de utilizare a diferitelor mărci de ciment prin creșterea raportului dintre rezistența maximă a betonului



lui și mărca cimentului de la 1,2 la 1,5 ( de exemplu, cu ciment P<sub>a</sub>35 se poate asigura obținerea betoanelor B500 (BC 40) în condițiile unei lucrabilități sporite.

### CAPITOLUL 3. PROPRIETATI ALE BETCANELOR SI MORTARELOR CU ADITIVI SUPERPLASTIFIANTI

#### 3.1. Paste de ciment și mortare

Cercetările efectuate în acest domeniu în țară și în străinătate, /59/,/63/,/92/,/122/,/124/,/128/,/129/,/151/,/161/ au avut ca obiectiv punerea în evidență a influenței aditivilor superplastifianți asupra principalelor proprietăți ale pastelor și mortarelor de ciment în stare proaspătă și întărită, inclusiv utilizarea unor metode rapide prin folosirea în acest scop a aparaturii existente cât și realizarea de noi aparate și dispozitive./107/,/124/,/129/.

##### 3.1.1. Influența aditivilor superplastifianți asupra proprietăților pastelor de ciment în stare proaspătă și întărită

###### 3.1.1.1. Consistențe

Testele calitative de verificare a fluidității pastelor de ciment de consistență normală cu aditiv, la cantitate de apă de preparare egală cu a pastelor de ciment mortar, indică în mod calitativ, prin procedee rapide și ușor de verificat efectul de fluidificare-lichefiere a pastelor de ciment portland. /50/,/51/,/59/,/63/,/127/.

În fig.3.1. se prezintă determinarea fluidității pastelor de ciment :

- Prin deformarea și curgerea pastelor de ciment din pahare înclinat sub unghi de  $45^{\circ}$  (fig.3.1. a,b,/50/,/51/; c,d /59/,/63/).

- Prin lungimea de curgere a picăturilor egale din paste de ciment pe un plan înclinat la  $45^{\circ}$ , realizat dintr-o placă de sticlă (fig.3.1. e,f,g,/127/).

Unele cercetări au urmărit efectul aditivilor superplastifianți asupra raportului a/c prin determinarea cantității de apă de amestecare (respectiv soluție de aditiv) necesară obținerii pastei de ciment de consistență normală.

În lucrarea /128/ se prezintă rezultatele obținute pe paste de ciment realizate cu aditivi clasici și pe bază de rășini de tip naftalansulfonic și melaminic. S-a constatat o scădere a raportului

s/c pînă la o concentrație de aditivi de maxim 5%, raportată la cantitatea de ciment. La concentrații mai mari de aditivi, raportul s/c rămîne constant sau înregistrează ușoare creșteri.



Fig.3.1. a,b Fluidifierea pastelor de ciment cu aditivi superplastifianți.

Determinarea efectului de fluidifiere prin deformarea și curgerea pastelor de ciment din pahare înclinate sub un unghi de  $45^\circ$  /50/; /51/

- a) Pastă de ciment preparată cu 25% apă (mător) ;
- b) Pastă de ciment preparată cu 25% apă în care s-a introdus aditiv superplastifiant MIGHTY (1,0% s.e).

La experimentările cu aditivii superplastifianți de tip VIMC 11 (MFS) și VIMC 22 (NFS) s-a constatat reducerea accentuată a cantității de apă de preparare a pastelor de ciment de aceeași consistență, cu creșterea procentului de substanță activă din superplastifiant în intervalul 0,2-0,8% pentru tipul MFS și 0,2-1,2% pentru tipul NFS. /63/ (fig.3.2).



d)

Fig.3.1. c,d Fluidifierea pastelor de ciment cu aditivi superplastifianți

Determinarea efectului de fluidifiere prin deformarea și curgerea pastelor de ciment din pahare înclinate sub un unghi de  $45^\circ$  /59/, /63/.

- c) Pastă de ciment preparată cu 30% apă (martor) ;
- d) Pastă de ciment preparată cu 30% apă, în care s-au introdus aditivii superplastifianți VIMC 11 (3,0% sol.) și VIMC 22 (1,5% sol.).

Tot pentru a urmări eficiența aditivilor din punctul de vedere al capacității lor de fluidifiere s-au efectuat determinări de vâscozitate a pastelor de ciment /128/. Concentrațiile la care se înregis-

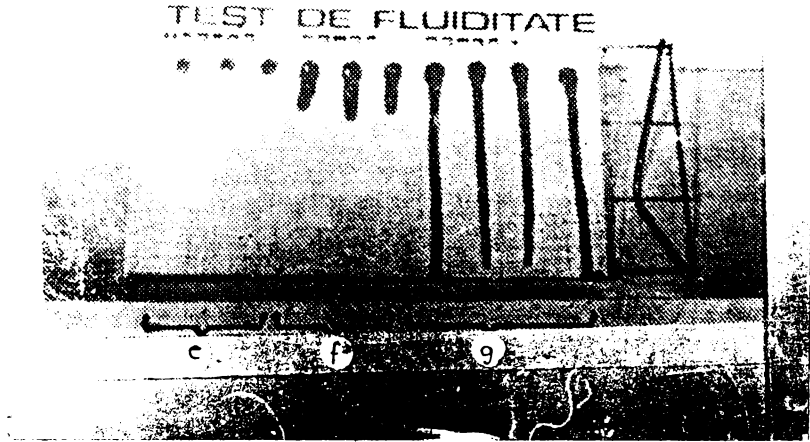


Fig.3.1 e,f,g. Fluidifierea pastelor de ciment cu aditivi superplastifianți.

Determinarea efectului de fluidifiere prin lungimea de curgere a picăturilor egale din paste de ciment pe un plan înclinat la  $45^\circ$  /127/

- e) Pastă de ciment preparată cu apă pentru pasta de consistență normală (mărtor) ;
- f) Pastă de ciment preparată cu apă pentru pasta de consistență normală în care s-a introdus aditiv superplastifiant VIMC 11 cu malaxare 3-4 minute după dozarea aditivului ;
- g) Pastă de ciment cu apă pentru pasta de consistență normală în care s-a introdus aditiv superplastifiant VIMC 11 după 2-3 minute de malaxare, cu malaxare încă 5 minute.

trează minimul de vâscozitate constituie procentul optim de exploatare a aditivului. În încercările efectuate cu vâscozimetrul Rheotest tip RV s-a constatat, în general, o scădere pronunțată a vâscozității pastei de ciment cu creșterea proporției de aditiv, obținându-se un minim la concentrații de aditiv cuprinse între 2-3%.

La utilizarea aditivilor superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22 s-a constatat reducerea vâscozității pastelor de ciment în funcție de raportul a/c și procentul de substanță activă /63/ (fig.3.3).

Efectul diferitelor tipuri de aditivi superplastifianți asupra vâscozității pastelor de ciment în funcție de timp a fost studiat în lucrarea /123/.

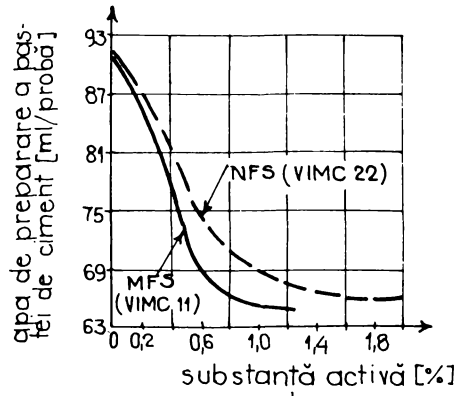


Fig.3.2. Variația cantității de apă de preparare din pasta de consistență normală în funcție de procentul de substanță activă din superplastifiant /63/.

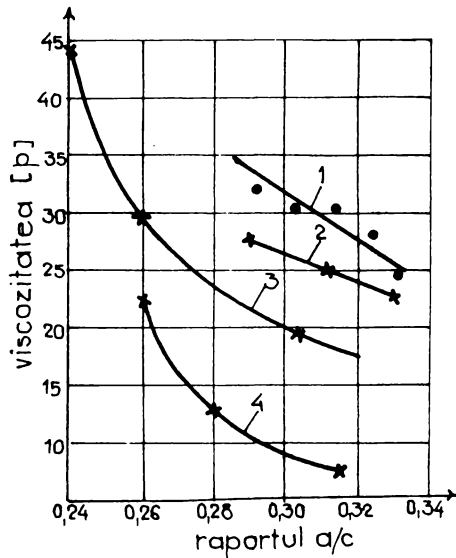


Fig.3.3. Variația vîscozității pastelor de ciment în funcție de raportul a/c /63/.  
1 - pastă de ciment etalon (fără aditivi) ;  
2 - pastă cu 0,2% substanță activă NFS (VIMC 11);  
3 - pastă cu 0,4% substanță activă NFS (VIMC 22);  
4 - pastă cu 0,4% substanță activă MFS (VIMC 11).

În fig.3.4 se prezintă rezultatele experimentale ale cercetărilor efectuate pe 9 tipuri de aditivi cu compoziții chimice diverse. Se constată că vâscozitatea pastelor crește în timp și este funcție directă de natura chimică a aditivilor. Cea mai mică vâscozitate s-a obținut la aditivii de tip NFS (nr.2,8) și MFS (nr.1) iar cea mai mare la aditivii de tip lignosulfonat de sodiu modificați (nr.3,6,9).

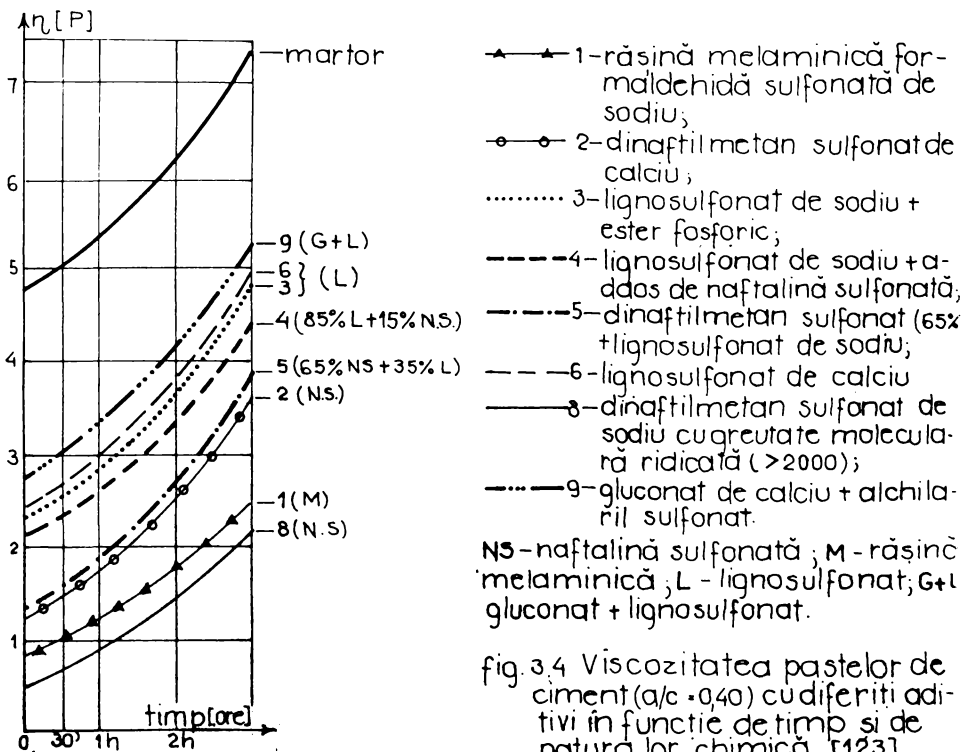


fig. 3.4 Vîscozitatea pastelor de ciment (a/c = 0,40) cu diferiți aditivi în funcție de timp și de natura lor chimică. [123].

În aceeași lucrare tot pe paste de ciment s-a studiat și efectul aditivilor superplastifianți în funcție de granulăția cimentului. S-au utilizat trei tipuri de aditivi superplastifianți (MFS, NFS, LSCM) iar cimentul s-a fracționat în următoarele clase granulometrice :

0-10  $\mu$ , 5-25  $\mu$  ; 20-80  $\mu$  . S-a constatat că deflocularea granulelor de ciment este cu atât mai mare cu cât dimensiunile lor sînt mai mici, ajungînd ca la dimensiunile mari să nu existe diferențe notabile între amestecurile cu aditivi și cele martor. Cele mai bune rezultate au fost obținute la amestecurile cu aditivul superplastifiant tip NFS la care deflocularea granulelor de ciment de

dimensiuni o-10 u este cu 64-85% mai bună față de mărtor.

În lucrările /50/, /51/, se prezintă date comparative despre aditivii comerciali utilizați în tehnologia betoanelor și aditivul superplastifiant MIGHTY (fig.3.5).

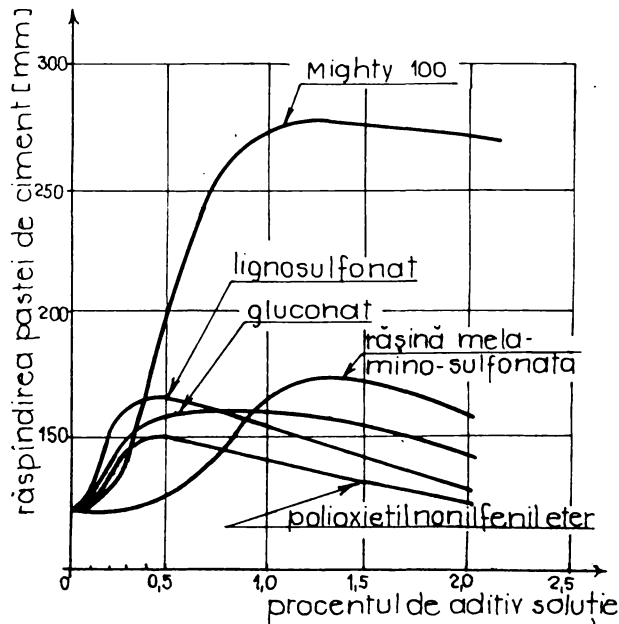


Fig.3.5. Fluiditatea pastelor de ciment cu diferite tipuri și procente de aditivi superplastifianți /50/, /51/.

Se constată îmbunătățirea substanțială a fluidității pastei de ciment. Pentru aditivul de tip lignosulfonat s-a constatat un maxim al puterii de dispersie pentru un dozaj de 0,3%. Chiar la dozele mai mari, fluiditatea pastei rămîne constantă. La aditivul MIGHTY 100 dacă se sporește cantitatea de aditiv de la 0,3-1,0% se constată că fluiditatea pastei este considerabil mărită. La un dozaj mai mare de 1% valoarea fluidității rămîne aproape constantă.

Pentru a urmări influența cantității și a tipului de aditiv superplastifiant asupra consistenței (vîscozității) pastelor de ciment /129/ s-au testat mai multe compoziții de paste de ciment realizate cu două tipuri de ciment (C1 cu suprafață specifică de 3063 cm<sup>2</sup>/g și C2 cu suprafață specifică de 3987 cm<sup>2</sup>/g) și cenușă zburătoare (CZ cu suprafață specifică de 3377 cm<sup>2</sup>/g).

Aditivii utilizați au fost de patru tipuri : tip 1 (MFS), tip 2 (LSCM), tip 3 (NFS) și tip 4 (dispersie de polimer pe bază de stiren).



Probele maritor au avut răspîndirea de 120 mm iar prin utilizarea aditivilor superplastifianți ea a crescut de pînă la 4 ori.

S-a constatat că pastele la care s-a utilizat cimentul tip  $C_2$  au avut aceeași răspîndire (vîscozitate) ca și cele cu cimentul tip  $C_1$  cu precizarea că în primul caz s-au utilizat cantități de aditiv superplastifiant considerabil mai scăzute.

În fig.3.6 se prezintă variația consistenței (răspîndirii) pastelor de ciment  $C_2$  în funcție de tipul și cantitatea specifică de aditiv superplastifiant iar în fig.3.7 variația consistenței pastelor de ciment  $C_2$ -cenusă zburătoare.

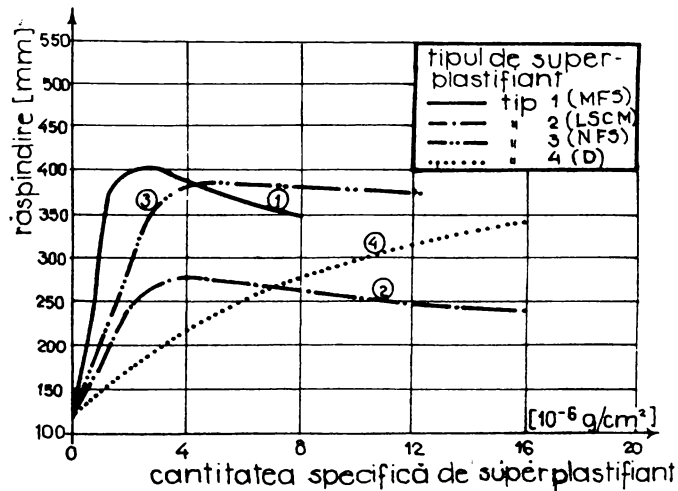


Fig.3.6. Consistența pastelor de ciment în funcție de tipul și cantitatea specifică de aditiv superplastifiant /129/.

S-a constatat, că efectul aditivilor superplastifianți asupra consistenței pastelor de ciment-cenusă zburătoare este asemănător cu cel al pastelor de ciment.

În cazul pastelor constituite numai din cenusă zburătoare și apă s-au obținut răspîndiri mai mici decît în cazul pastelor de ciment (fig.3.8).

În toate cazurile, cele mai bune efecte s-au obținut prin utilizarea aditivilor superplastifianți tip 1 (MFS) și tip 3 (NFS).

De asemenea, pentru a clarifica variația în timp a vîscozității pastelor în funcție de compoziția mineralogică a particulelor, fine au fost testate cinci amestecuri (două de ciment,  $C_1$  și

C<sub>2</sub>, unul de cenușă zburătoare, C<sub>Z</sub> și două de agregate fine, cuarțoase, Q și calcaroase, L).

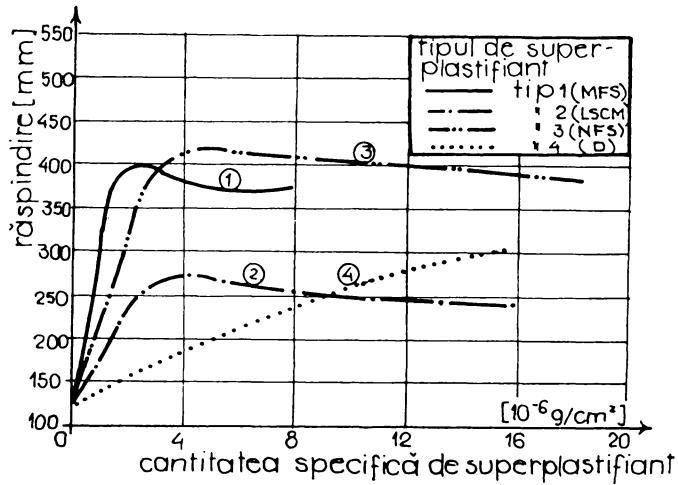


Fig.3.7. Răspîndirea pastelor de ciment cu cenușă zburătoare în funcție de cantitatea și tipul de editiv superplastifiant /129/.

Tipurile de editivi superplastifienți sînt cele prezentate anterior.

Consistența pastelor, determinată prin metoda răspîndirii, s-a verificat imediat după amestecare și apoi la diferite intervale de timp. Ea depinde de tipul particulelor fine precum și de tipul de

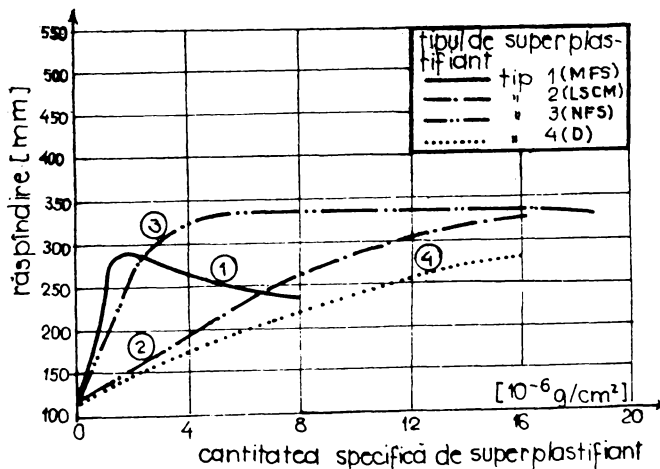


Fig.3.8. Consistența pastelor de cenușă zburătoare în funcție de tipul și cantitatea specifică de editiv superplastifiant /129/.

aditiv superplastifiant. Cu creșterea timpului, pastele realizate cu cimentul  $C_1$  prezintă o reducere distinctă a răspîndirii, în timp ce pastele realizate cu cimentul  $C_2$ , în funcție de tipul de aditiv, prezintă o ușoară reducere a răspîndirii față de martor (în 90 minute), Cenușa zburătoare prezintă în timp o anumită creștere a consistenței (răspîndirii).

Dintre agregatele fine, nisipul cuarțos nu reacționează deloc cu aditivii superplastifianți iar nisipul calcaros are o răspîndire foarte mare fără să varieze mult în timp. În fig. 3.9. se prezintă variația răspîndirii amestecurilor pentru aditivul tip 1 (MFS) care a dat cele mai bune rezultate.

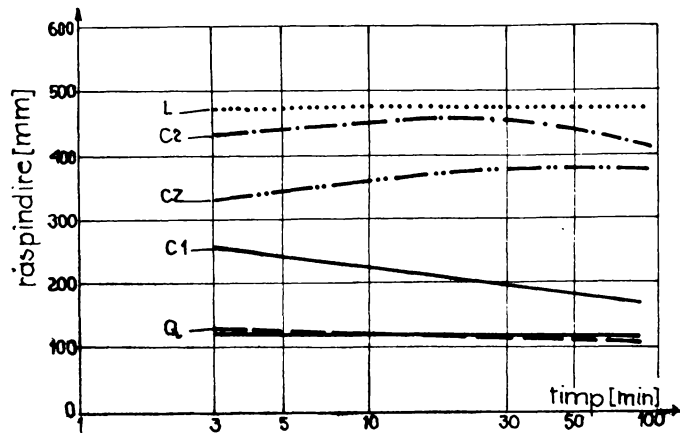
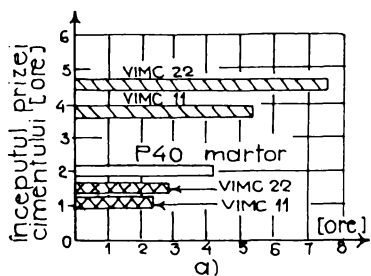


Fig.3.9. Variația în timp a consistenței amestecurilor cu aditiv superplastifiant MFS în funcție de compoziția mineralogică a particulelor fine/129/  
 $C_1$  - ciment cu suprafață specifică  $3063 \text{ cm}^2/\text{g}$  ;  
 $C_2$  - ciment cu suprafață specifică  $3987 \text{ cm}^2/\text{g}$  ;  
 $C_2$  - cenușă zburătoare cu suprafață specifică  $3377 \text{ cm}^2/\text{g}$  ;  
 $Q$  - nisip cuarțos cu suprafață specifică  $802 \text{ cm}^2/\text{g}$  ;  
 $L$  - nisip calcaros cu suprafață specifică  $6564 \text{ cm}^2/\text{g}$ .

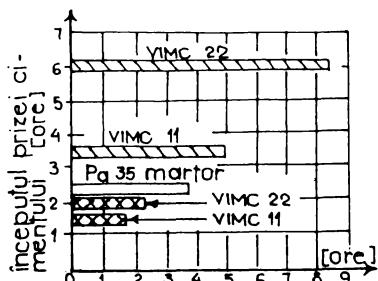
Conținutul de  $C_3A$  din compoziția cimenturilor portland influențează proprietățile pastelor de ciment. Astfel în /124/ se arată că dozajul de aditiv superplastifiant tip MFS și NFS necesar pentru a obține un anumit nivel de reducere a cantității de apă față de o pastă de ciment martor este cu atât mai mare cu cât conținutul de  $C_3A$  din ciment este mai ridicat.

Eficacitatea aditivilor superplastifianți este influențată de conținutul de  $C_3A$  din cimentul portland /91/.

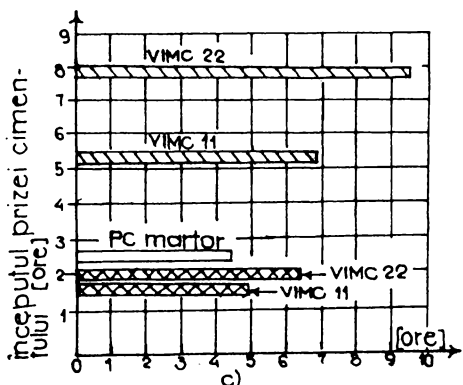
Inercările efectuate pe cimenturi de tip III (cu rezistențe inițiale mari) care aveau conținutul de  $C_3A$  de cca 7% și pe cementu-



a) sfirsitul prizei cimentului



b) sfirsitul prizei cimentului



c) sfirsitul prizei cimentului

LEGENDA

- paste cu lucrabilitate egală cu mortarul ;
- paste cu apă de preparare în cantitate egală cu mortarul ;
- paste mortar.

Fig.3.10. a, b, c. Variația timpului de priză pentru cimenturi la procentul optim superplastifiant VIMC 11 și VIMC 22 în funcție de cantitatea de apă folosită pentru paste de consistență normă /59/, /63/.

- a) cu ciment P 40 ;
- b) cu ciment Pa 35 ;
- c) cu ciment P 40 cu adăos de cenușă (PC).

ri cu conținut de  $C_3A$  de cca. 11%, prin utilizarea acelorși aditivi superplastifianți, au prezentat diferențe substanțiale între rezistențele la compresiune obținute pe cele 2 tipuri de ciment.

### 3.1.1.2. Timpul de priză

Timpul de priză, caracteristică importantă pentru punerea în operă a unui ciment, suferă modificări în prezența adosului de compuși chimici ca urmare a modificării proceselor de hidratare-hidroliză a componentilor mineralogici. Priza cimentului se caracterizează prin timpul de început și de sfârșit de priză și se determină cu aparatul Vicat.

Testele privind influența aditivilor superplastifianți asupra prizei cimentului sînt necesare în vederea evaluării rapide a efectului ce-l are un anumit aditiv, în condiții precise de lucru, întrucît în condiții diferite de lucru, în fabrică sau pe șantier, același tip de aditiv poate avea efecte diferite (accelerator de priză și/sau întărire, întîrziator de priză și/sau întărire, fără efect asupra proceselor de priză și/sau întărire).

Timpul de priză a pastelor de ciment cu aditivi superplastifianți trebuie analizat în legătură cu cantitatea de apă utilizată la prepararea pastelor /59/, /63/, astfel :

- la cantitate de apă egală cu apa de preparare a pastelor de consistență normală (cînd pastele de ciment cu aditivi superplastifianți prezintă o fluidifiere maximă față de pastele mător), aditivii superplastifianți VIMC 11 și VIMO 22 prelungesc (întîrzie) atît începutul cît și sfîrșitul prizei, cu circa 1,0-5,0 ore în funcție de tipul cimentului și al aditivului. De asemenea, pentru același ciment întîrzieră timpul de priză este în funcție de tipul aditivului, fiind mai mare în cazul aditivului VIMC 22 (tip NFS) (fig.3.10 a).

- la lucrabilitate egală a pastelor de consistență normală (cînd pastele de ciment cu aditivi superplastifianți necesită o cantitate de apă de preparare mai redusă cu 15-30% față de pastele de ciment mător), aditivii superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22 reduc atît timpul de început de priză cît și timpul de sfîrșit de priză pentru pastele de ciment P40 și Pe 35 (fig.3.10.b) în timp ce la pastele de ciment P40 cu ados de 27% cenușă este mai redus numai începutul de priză (fig.3.10.c).

Influența lui  $C_3A$  asupra timpului de priză al cimentului cu aditivii superplastifianți MELMENT (3%) și AGILPLAȘT (3%) este prezentată în /58/, /151/, Rezultă că atît în cazul aditivului MELMENT (MPS)

(care are timpul de început de priză aproape identic cu al cimentului martor iar timpul de sfârșit de priză puțin mai mare) cât și al aditivului întârziator de priză AGILPLAST (MFS) (care lungeste sensibil timpul de început și de sfârșit al prizei față de cimentul martor), acțiunea de frânare a timpului de priză datorită unui conținut variabil de  $C_3A$  este mai puțin semnificativă sau chiar nesemnificativă.

### 3.1.1.3. Căldura de hidratare

În condițiile pastelor fluide cu MFS, căldura de hidratare degajată de ciment scade ușor cu creșterea proporției de aditiv /63/, /131/, (fig.3.11).

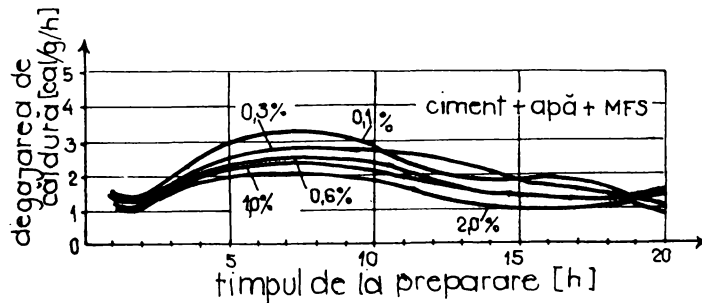


Fig.3.11. Degajarea de căldură a pastelor de ciment portland cu diferite procente de MFS (substanță activă) /63/, /131/.

Datele privind căldura de hidratare degajată de pastele de ciment cu diferite proporții de MFS, corelate cu datele privind începutul și sfârșitul prizei cimentului (conform fig.3.10.a,b,c), sugerează că în cazul betoanelor fluide, superplastifianții de tip MFS și NFS se comportă ca întârziatori de priză cel puțin în prima parte a intervalului de la prepararea betonului, iar efectul de accelerador de priză și întărire în cazul pastelor de ciment și betoanelor cu lucrabilitate egală se datorează reducerii cantității de apă de preparare (deci efectului de reducător de apă al aditivilor de tip MFS și NFS).

### 3.1.1.4. Constanța de volum

Constanțe de volum determinată pe diferite tipuri de cimenturi, pe turte și inele, cu adosuri de aditivi superplastifianți

VIMC 11 și VIMC 22 este bună atât în cazul pastelor cu lucrabilitate egală cât și a pastelor cu lucrabilitate mult îmbunătățită (fluide) /59/.

### 3.1.2. Influența aditivilor superplastifianți asupra proprietăților mortarelor în stare proaspătă și întărită

#### 3.1.2.1. Consistența (lucrabilitatea)

Influența aditivilor superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22 asupra lucrabilității mortarelor proaspete a fost studiată în lucrarea /59/.

Se constată creșterea sensibilă a lucrabilității amestecurilor cu aditivi față de cea a mortarului, determinările efectuându-se prin metoda tesării și răspîndirii.

Consistența unor amestecuri care au avut în compoziția lor nisipul în proporții de 2,3 și 5 ori cantitatea de ciment portland, și cenușă zburătoare a fost urmărită în /92/.

Ce aditivi superplastifianți s-au utilizat aditivi pe bază de MFS și ISCM.

Amestecurile au fost realizate cu două consistențe (determinate prin metoda răspîndirii la 5 lovituri pe mese de răspîndire), una caracteristică mortarelor plastice iar alte mortarelor fluide.

Testele au pus în evidență efectul cenușii zburătoare și a proporțiilor crescînde de nisip asupra fluidizării amestecurilor prin posibilitățile diferite de reducere a apei de preparare la aceeași consistență.

Reducerea apei de preparare a fost mai pronunțată la reparațiile nisip/ciment mai scăzute pentru mortarul plastic și la reparațiile nisip/ciment mai ridicate la mortarele fluide.

Efectul cenușii zburătoare asupra amestecurilor de mortar cu aditivi superplastifianți a rezultat în o reducere suplimentară de 3-4% a apei de preparare pentru ambele domenii de consistență și reparație nisip/ciment.

În lucrarea /129/ s-au efectuat teste pe diferite amestecuri, la care s-au folosit agregate cuarțoase cu diametrul maxim de 4 mm, care au pus în evidență o bună corelare între rezultatele obținute pe paste de ciment și mortare.

Cantitatea specifică de aditivi superplastifianți utilizată la mortare a corespuns cu cea care a produs fluiditatea maximă la pastele de ciment.

S-au utilizat aditivi superplastifianți tip 1 (MFS), tip 2 (LSCM), tip 3 (NFS), tip 4 (Diverși, dispersie de polimer pe bază de stiren), 2 tipuri de ciment ( $C_1$ -suprafața specifică  $3063 \text{ cm}^2/\text{g}$  și  $C_2$ -suprafața specifică  $3987 \text{ cm}^2/\text{g}$ ) și cenușă zburătoare (CZ-suprafața specifică  $3377 \text{ cm}^2/\text{g}$ ).

Consistența s-a determinat prin metoda răspîndirii, utilizîndu-se un dispozitiv special. Probele martor au avut răspîndirea de 120 mm.

Varietatea consistenței mortarelor de ciment  $C_2$ - cenușă zburătoare (CZ) în funcție de tipul și cantitatea specifică de aditiv superplastifiant este prezentată în fig.3.12. /129/ iar în funcție de tipul de aditiv superplastifiant și raportul apă/ciment  $C_2 +$  cenușă zburătoare ( $a/C_2+CZ$ ) în fig.3.13 /129/.

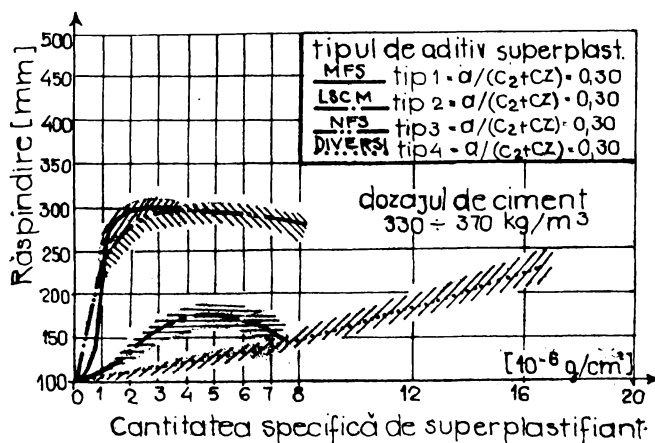


Fig.3.12. Consistența mortarelor de ciment-cenușă zburătoare în funcție de tipul și cantitatea specifică de aditiv superplastifiant /129/.

Așa cum era de așteptat, consistența (răspîndirea) a fost considerabil mai mică decît la pastele de ciment. Cele mai bune rezultate s-au obținut pe mortarele cu aditivii superplastifianți tip 1 (MFS) și tip 3 (NFS), constatîndu-se că există o dependență a consistenței de cantitatea de aditiv. Mărirea cantității de superplastifiant conduce la creșterea considerabilă a consistenței iar dacă se depășește valoarea maximă apare fenomenul de segregare.



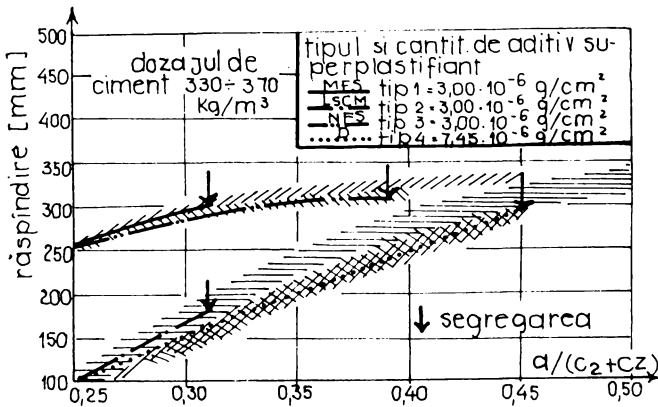


Fig.3.13. Variația consistenței mortarelor de ciment -cenușă zburătoare în funcție de tipul de aditiv superplastifiant și de raportul apă/ciment + cenușă zburătoare /129/

### 3.1.2.2. Timpul de priză

Cercetări privind timpul de priză la mortare la care s-a utilizat aditivul superplastifiant MELMENT N sînt prezentate în /122/.

Mortarele preparate au avut un raport ciment/nisip de 1/2,5 în greutate iar aditivul s-a utilizat în proporțiile : 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 . Raportul a/c s-a păstrat în limitele 0,33-0,46 în condițiile obținerii unor consistențe apropiate de cele ale mortarului. Consistențe s-a determinat prin metoda răspîndirii și a avut valori cuprinse între 161-166 mm.

S-a determinat timpul de priză inițial și final pentru fiecare procent de aditiv superplastifiant. Rezultatele sînt prezentate în tab.3.1.

Se constată că la aceeași consistență (răspîndire), cea mai mică valoare a timpului de început și sfîrșit de priză este la doza jul de 1% aditiv MELMENT N.

În lucrarea /124/ s-a urmărit influența aditivilor SWR de tip N(NFS) și M(MFS) asupra timpului de priză al mortarelor.

Ambii aditivi au produs o ușoară întîrziere a începutului de priză iar aditivul pe bază de NFS a întîrziat și sfîrșitul de priză în timp ce aditivul pe bază de MFS a produs o ușoară accelerare față de mortar.

Timpul de priză la mortarele cu aditiv superplastifiant  
MELEMENT N /122/

tabelul 31

Proportia de aditiv [%]		0	0,5	1,0	1,5	2,0
0		1	2	3	4	5
Raportul apă/ciment [%]		46 (100)	41 (89)	38 (83)	34 (74)	33 (72)
Consistența mortarului [mm]		162	163	161	166	162
Timpul de priză	început de priză [h, min]	4:30 (100)	3:15 (78)	2:00 (48)	2:25 (58)	2:45 (66)
	sfîrșit de priză [h, min]	7:00 (100)	6:05 (67)	5:15 (75)	6:55 (98)	7:10 (102)

Cifrele din paranteză indică coeficienții de comparație față de probele din mortar martor.

### 3.1.2.3. Densitatea aparentă

Influența aditivilor superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22 asupra densității mortarelor proaspete și întărite a fost studiată în /59/. S-a constatat că ea rămîne egală sau crește cu 1-1,5% față de cea a mortarului la probele cu aditiv VIMC 11 și scade cu 0,5-3% față de martor la cele cu VIMC 22, în funcție de procentul de aditiv utilizat la prepararea amestecurilor.

### 3.1.2.4. Volumul de aer occlus

Variația densității mortarelor proaspete indică faptul că aditivul VIMC 11 nu introduce aer în masa amestecului iar aditivul VIMC 22 are un ușor efect de antrenor de aer /59/.

### 3.1.2.5. Rezistența la compresiune

În lucrarea /128/ se prezintă încercările efectuate pe mortare plastice preparate cu diferite tipuri de aditivi. Analiza rezultatelor obținute a condus la constatarea că există o corelație între variația vîscozității pastelor de ciment și rezistența la compresiune a mortarelor plastice cu aditivi de tip neftalensulfo-

nic (fig.3.14) și melaminic (fig.3.15).

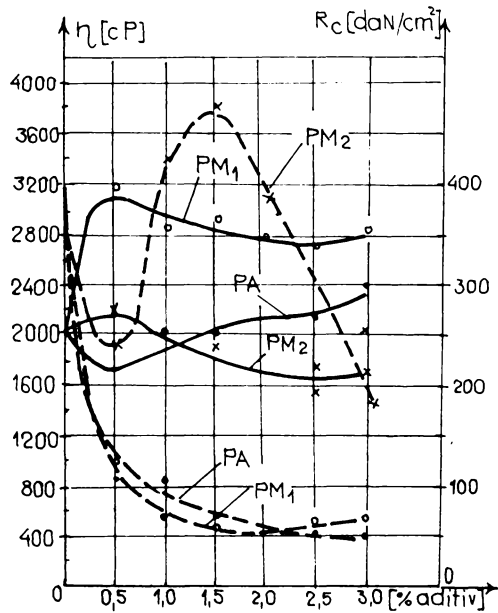


Fig.3.14. Corelația vâscozitate-rezistență în funcție de concentrația de aditiv de tip naftelensulfonic eplicetă /128/.

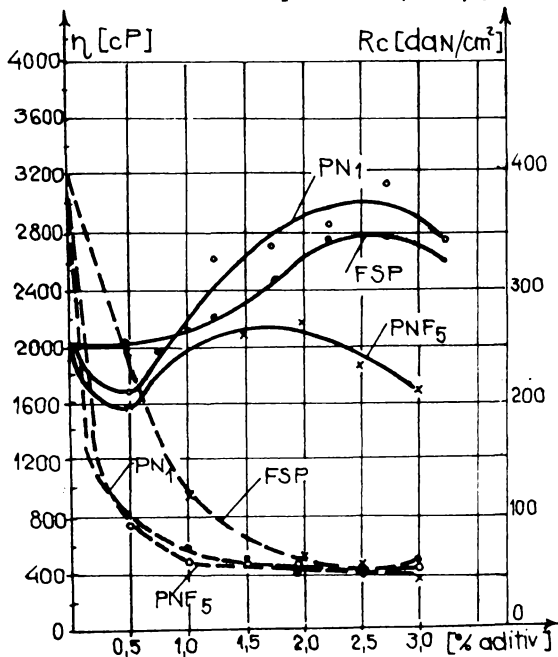


Fig.3.15. Corelația vâscozitate-rezistență în funcție de concentrația de aditiv de tip melaminic eplicetă /128/.

Se constată o dependență invers proporțională între cele două proprietăți : pe măsură ce vâscozitatea pastelor de ciment scade, rezistența la compresiune a mortarelor crește.

Dependența poate fi explicată ținând seama de faptul că prin efectul de fluidifiere al aditivilor se creează pe de o parte condiții pentru obținerea unui grad mai mare de compactare, iar pe de altă parte, se poate obține o reducere considerabilă a raportului a/c cu consecințe favorabile asupra rezistențelor mecanice.

Încercări pe mortare plastice cu raportul L/M = 1/2 au fost efectuate și în /161/. S-au utilizat un ciment portland (P) și adăos de praf de silice în proporții de la 100:0 la 62,5:37,5. Ca agregate s-a utilizat nisipul silicios iar ca aditivi superplastifianți au fost HR-A, HR-B (sare de sodiu a formalhidei condensată cu acid naftalensulfonic), HR-D (întârziator) în proporții de 0,65-1,8% din cantitatea de ciment + praf de silice.

În fig.3.16 a se prezintă rezistențele la compresiune obținute pe mortarele preparate cu ciment portland și adăos de praf de silice, nisip cuarțos și aditivii superplastifianți HR-A, HR-B și HR-D, iar în fig.3.16, b. rezistența la compresiune pentru mortare

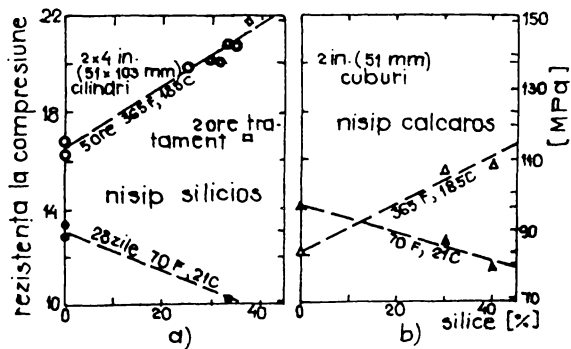


Fig.3.16.a, b Rezistența la compresiune a mortarelor de ciment-praf de silice cu aditivi superplastifianți HR autoclevizate /161/

cu aceleași proporții ale materialelor componente, dar la care s-a utilizat nisip calcaros, un alt ciment portland (M) și aditiv superplastifiant HR-A.

Pentru mortarele la care s-a utilizat nisip silicios, s-au turnat cilindri (51x105 mm), iar pentru cele la care s-a utilizat nisip calcaros cuburi (51 mm). Probele s-au întărit în condiții

normale și prin autoclavizare. Avînd în vedere că s-au folosit probe diferite o comparație directă nu se poate face, dar se constată că înlocuirea cimentului cu praf de silice mărește rezistența mortarelor autoclavizate în ambele cazuri.

Rezistențele la compresiune ale mortarelor întărite normal cu 100% ciment portland sînt în principiu egale iar prin creșterea procentului de praf de silice rezistențele scad.

### 3.1.2.6. Rezistența la tracțiune

Incercări efectuate pe mortare plastice utilizînd mai multe tipuri de aditivi de tip naftalen-sulfonic și melaminic sînt prezentate în /128/:

Mortarele plastice au raportul  $a/c=0,5$  și ciment/nisip  $=1,3$ . S-au turnat probe mărtor și cu aditivii superplastifianți în limitele 0,5-3,0% față de cantitatea de ciment.

Valorile rezistenței la tracțiune obținute la 7 și 28 zile sînt prezentate în fig.3.17.

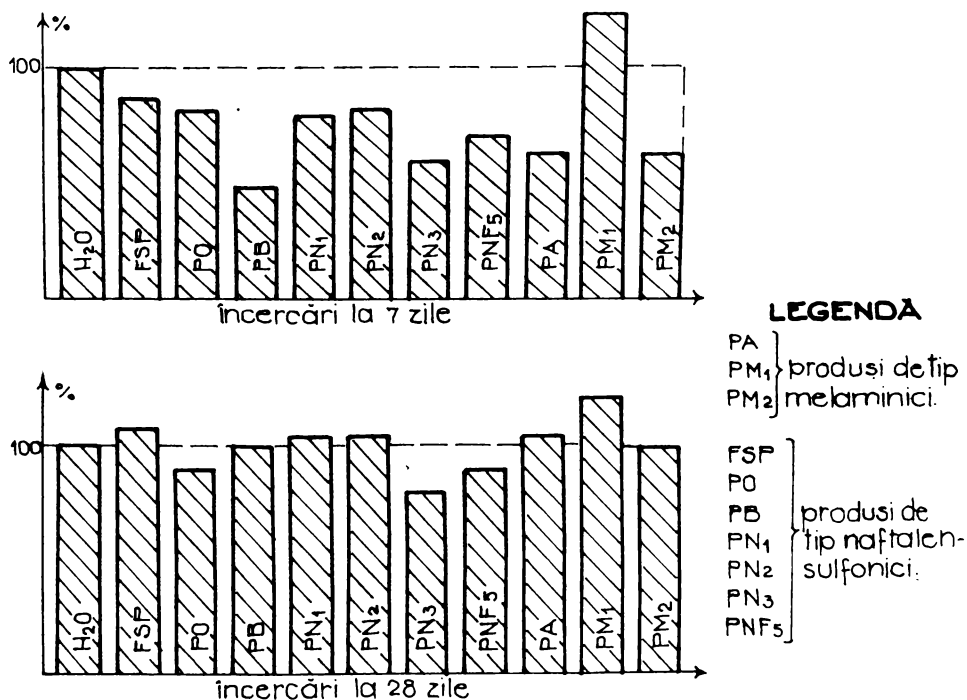


Fig.3.17. Variația rezistențelor la tracțiune a probelor cu aditivi comparativ cu probe mator /128/.

Se constată că rezistențe bune s-au obținut atât pe unii produși de tip melaminic (Pml.) cât și naftalensulfonic (FSP).

### 3.2. Betoane grele cu aditivi superplastifianți

Studiile teoretice și cercetările experimentale în domeniul betoanelor grele cu aditivi superplastifianți, începute în străinătate în urmă cu cca.25 ani /50/,/51/, iar la noi în țară acum circa 10 ani /32/,/58/,/72/ și continuate pe parcursul anilor care au urmat, s-au concentrat în marea lor majoritate asupra tipurilor și proprietăților betoanelor cu aditivi superplastifianți. În continuare se prezintă principalele aspecte cercetate, extrase din literatura de specialitate din țară și străinătate.

#### 3.2.1. Influența aditivilor superplastifianți și a altor factori de compoziție asupra proprietăților betoanelor în stare proaspătă

Proprietățile betoanelor cu aditivi superplastifianți sînt influențate atât de factori depinzînd de aditivii superplastifianți cât și de factori depinzînd de compoziție betoanelor. Principalele aspecte cercetate, ce rezultă din studiul întreprins, se referă la :

- aditivul superplastifiant ;
- ciment ;
- agregate ;
- lucrabilitate ;
- variația în timp a lucrabilității ;
- temperatura mediului ambiant ;
- dozarea repetată (redoizarea) ;
- intervalul de timp dintre prepararea betonului și adăugarea aditivului superplastifiant ;
- tratamentul termic ;
- densitatea aparentă ;
- volumul de aer occlus ;
- tendința de segregare ;
- timpul de priză.

##### 3.2.1.1. Aditivul superplastifiant

Aditivii superplastifianți influențează în special prin

tipul aditivului și dozajul de aditiv utilizat /2/,/4/,/17/,/24/, /32/,/33/,/46/,/50/,/51/,/53/,/55/,/57/,/58/,/59/,/63/,/85/,/91/, /95/, /99/,/105/,/114/,/122/,/123/,/133/,/139/,/142/,/145/,/153/, /173/,/174/,/175/,/181/.

Așa cum s-a prezentat în detaliu în cap.2.§.2.2.2. și tab.2.2. ei se clasifică după substanțele chimice din care sînt produși în patru grupe : I(MFS), II(NFS), III(LSCM), IV(DIVERSI),

După efectul la utilizare se pot clasifica conform celor prezentate în cap.2.§.2.2.2. și tab.2.4. în 6 clase. Aditivii superplastifianți cu ponderea cea mai mare pînă în prezent sînt cei care se încadrează după prima clasificare în grupele I și II, iar după cea de-a doua clasificare în clasele 1 și 2. De aceea și referirile în prezenta teză de doctorat se fac, în majoritatea cazurilor, la ei (cuprinzînd și referiri la aditivi întîrziatori de priză-clasa 6).

Principali aditivi superplastifianți utilizați în tehnologia betoanelor, cu denumirile lor comerciale sau convenționale, procente utilizate precum și țările unde se utilizează, au fost prezentați în cap.2. §.2.2.2. tab.2.3.

Din studiul bibliografic rezultă că aditivii superplastifianți se pot utiliza și în combinație cu alți aditivi clasici, de regulă aditivi antrenori de aer sau întîrziatori de priză, procentele utilizate urmînd a se determina pe cale experimentală /50/,/95/,/99/,/104/, /105/,/112/,/133/.

Aditivii superplastifianți se pot adăuga inițial în amestecul de beton sau/și la diferite intervale de timp de la preparare, în funcție de condițiile tehnologice impuse la punerea în operă a betonului. Ei se livrează de către producători de obicei sub formă lichidă, în soluții de diferite concentrații (20,30,40,50% substanță activă superplastifiant). În asemenea situații, care constituie și majoritatea cazurilor, cantitatea de aditiv sub formă de soluție calculată a se utiliza, se introduce în amestecul de beton, recomandabil în ultima parte a amestecării, împreună cu restul de apă în care a fost diluat (cca.25-30% din apa totală). Există și un număr redus de aditivi superplastifianți care se livrează sub formă de pulbere și atunci ei se introduc în amestecul de beton fie împreună cu cimentul de regulă, fie împreună cu agregatele. Se preferă superplastifianții sub formă lichidă deoarece dispersarea lor în beton este mai ușoară și mai eficientă.

Modul de preparare al betoanelor cu aditivi superplastifianți diferă de modul de preparare al betoanelor obișnuite sau cu aditivi

clasici și prin timpul de amestecare al betonului care este mult mai mare, pentru a putea asigura o repartizare cât mai uniformă a aditivului în beton. Din studiul bibliografic întreprins rezultă că timpul de amestecare al betoanelor cu aditivi superplastifianți variază între 2 min.-8 min. : 2 min. /4/, /175/, /176/. 5 min. /95/, 6 min. /102/, /114/, /142/, 8.min. /99/, /133/. De asemenea, dacă aditivul superplastifiant se adaugă la diferite intervale de timp de la preparare, reamestecarea betonului se face timp de 1-5 minute : 1 min. /85/, /90/, 1 min.30'' /33/, 2 min./112/, /114/, 3.min. /142/, 1-5 min. /104/.

### 3.2.1.2. Cimentul

Cercetările întreprinse au urmărit mai mulți parametri prin care cimentul influențează principalele caracteristici fizico-mecanice ale betoanelor :

Tipul cimentului . În majoritatea lucrărilor studiate s-a utilizat cimentul portland obișnuit /24/, /32/, /33/, /50/, /51/, /53/, /59/, /63/, /68/, /91/, /92/, /95/, /105/, /112/, /122/, /124/, /139/, /142/, /153/, /161/.

S-au folosit cimenturi cu rezistențe inițiale mari /24/, /32/, /50/, /51/, /65/, /91/, /122/, /139/ și rezistente la sulfat /53/, /63/, /135/, /139/. S-a utilizat și ciment aluminos /130/. În funcție de tipul cimentului s-au utilizat diferite compoziții mineralogice urmărindu-se influența lui  $C_3A$  /24/, /52/, /91/, /95/, /124/, /161/ și a suprafeței specifice /24/, /52/, /95/, /123/, /161/.

Influența tipului de ciment asupra rezistenței la compresune a betoanelor cu aditiv superplastifiant FLUBET (NFS) este prezentată în /33/. S-au preparat o serie de amestecuri de beton cu doze de ciment de  $400 \text{ kg/m}^3$ , cu agregate 0-16 mm și cu patru tipuri de cimenturi : BSS, P<sub>a</sub> 35-Fieni, H<sub>z</sub>35-Tg.Jiu și M 30-Fieni. Amestecurile preparate au avut două consistențe : una corespunzătoare lui  $L_3$  (tasarea 5-9 cm) și una fluidă (tasarea 15 cm). Din tab.3.2. în care se prezintă creșterile de rezistență ale betoanelor cu aditiv FLUBET față de betoanele martor, se constată următoarele :

- cele mai mari creșteri de rezistență se obțin în cazul betoanelor cu ciment fără adaos (tip BSS) ;

- cele mai reduse creșteri de rezistență s-au obținut în cazul amestecurilor cu adaos mai mare de 15% zgură (ciment tip M30) ;



- la 28 zile creșterile de rezistență variază între 0-27% indiferent de consistența betonului, creșterile cele mai mari fiind în cazul betoanelor preparate cu ciment de BSS.

Creșterile rezistenței la compresie  
ale amestecurilor cu aditiv față de ames-  
tecurile fără aditiv FLUBET [33]

tabelul 3.2

Tipul de ciment	Lucrabi- litate	Creșteri de rezistență % la:			
		1 zi	3 zile	7 zile	28 zile
0	1	2	3	4	5
B55	L3	78	85	72	27
Pa 35	L3	-5	23	33	15
H2 35	L3	30	31	22	8
M 30	L3	18	23	19	2
B55	>L3/L4	54	75	47	26
Pa 35		-11	30	22	20
H2 35		21	18	14	5
M 30		-5	0	6	0

În funcție de tipul cimentului utilizat la prepararea be-  
tonului cu lucrabilitate egală și aditivi superplastifianți VIMC 11  
(MFS) și VIMC 22 (NFS) creșterile de rezistență sînt mai reduse în  
cazul utilizării cimenturilor cu rezistență inițială mare de tipul  
P40, P45, P50 fiind mai mari în cazul utilizării cimenturilor cu a-  
daosuri la măcinare, de tipul Pa35 sau M30, precum și în cazul uti-  
lizării de adaosuri de cenușă direct la prepararea betonului /59/  
, /63/, /65/, /69/, /70/.

Influența tipului de ciment prin compoziția sa mineralogică  
(în special prin conținutul de  $C_3A$ ) și suprafața specifică Blaine  
asupra țesăturii betoanelor proaspete cu aditiv superplastifiant  
MELMET Llc (1,5% soluție din cantitatea de ciment) este prezentată  
în lucrarea /95/. Pentru studiu s-au utilizat trei tipuri de ciment  
conform ASTM (tip I, II și V iar tipul I de 4 calități A, B, C și D)  
(tab.3.3).

Dozajul de ciment a fost în toate cazurile de  $326 \text{ kg/m}^3$ ,  
betoanele realizîndu-se la aceeași raport a/c. Se constată urmă-  
toarele :

- amestecul de beton realizat cu ciment tip V ( $C_3A=2,6\%$ ) prezintă o prelungire cu 30 min. a timpului de revenire a țesăturii comparativ cu cea observată la amestecurile realizate cu ci-

Compoziția chimică și suprafața specifică a cimenturilor tip I (A,B,C,D), III și V- ASTM [95]  
Tabelul 3.3

Compo- nenți	tip III [%]	tip V [%]	tip I			
			A	B	C	D
0	1	2	3	4	5	6
$C_3S$	47,77	52,5	50,8	41,36	51,6	50,3
$C_2S$	23,25	25,5	19,6	29,23	19,8	24,7
$C_3A$	10,73	2,6	12,6	11,35	8,62	6,9
$C_4AF$	7,64	9,9	5,8	7,7	8,58	7,4
$SO_3$	3,56	2,2	3,31	3,47	3,01	2,4
Suprafața specifică Blaine [ $cm^2/g$ ]	5200	3423	3576	3730	3210	3320

menturile tip I ( $C_3A=12,6\%$ ) și tip III ( $C_3A=10,73\%$ ). Se constată o mică diferență între modurile de comportare a betoanelor cu cimenturi tip I și III și de asemenea efectul datorat suprafeței specifice a cimentului nu este evident (fig.3.18).

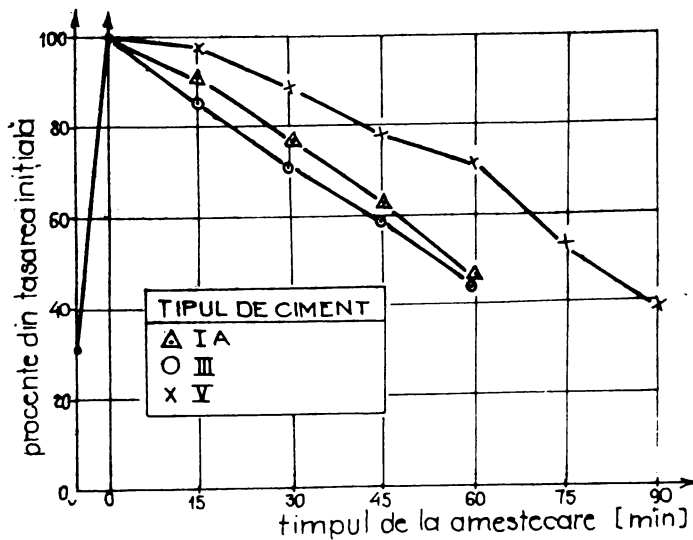


Fig.3.18. Influența tipului de ciment asupra variației în timp a țesăturii betoanelor cu aditiv superplastifiant MELMET L10 /95/.

- nu există diferențe importante între pierderile de tasare prezentate de amestecurile de beton realizate cu cele patru calități de ciment tip I care au conținutul de  $C_3A$  între 6,9-12,6% (fig. 3.19). Betoanele cu ciment tip V ( $C_3A=2,6\%$ ) au o reducere a tasării mai lentă datorită conținutului mai scăzut de  $C_3A$ .

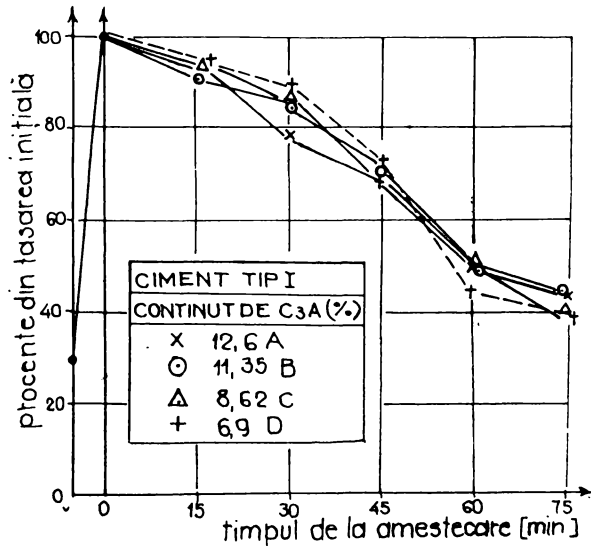


Fig.3.19. Influența conținutului de  $C_3A$  asupra variației în timp a tasării betoanelor cu aditiv superplastifiant MELMENT L10 /95/.

Și în /161/ se ajunge la aceeași concluzie și anume că  $C_3A$  din cimentul portland influențează tasarea betoanelor cu aditivi superplastifianți tip MFS și NFS. Aceasta se datorează faptului că formarea hidroaluminatului de calciu ( $C_3AH_6$ ) imediat după amestecare fixează o aprecieabilă cantitate de apă care este cu atât mai mare cu cât conținutul de  $C_3A$  este mai ridicat. De aceea se recomandă utilizarea de cimenturi portland cu conținut moderat spre redus de  $C_3A$ .

Influența fineții de măcinare a cimentului portland (suprafață specifică Blaine de 2000, 3200 și 4000  $cm^2/g$ ) asupra fluidifierii betoanelor prin utilizarea unor aditivi superplastifianți de tip NFS și MFS se prezintă în /123/. S-a constatat că cu cât finețea de măcinare este mai mare și fluidifierea betoanelor este mai mare față de betonul martor în cazul ambilor aditivi, dar cel mai eficient este aditivul tip MFS.

Dozejul de ciment a fost un alt parametru studiat /32/, /33/, /43/, /50/, /51/, /53/, /54/, /59/, /63/, /65/, /68/, /91/, /95/, /105/, /112/, /122/, /124/, /139/, /148/, /153/.

Influența aditivului superplastifiant FLUBET în funcție de dozaajul de ciment este prezentată în /33/. S-au preparat amestecuri de beton cu dozaaje de ciment de 300, 350, 400, 450 și 550 kg/m<sup>3</sup> cu ciment fără adăos (tip BSS) în paralel cu ciment cu adăos (Pa 35-Deva), cu agregate cu dimensiunea maximă de 31 mm și o consistență fluidă. Se constată că se obțin creșteri de rezistență față de amestecurile de beton martor cuprinse între 30-85% la 3 zile și 20-55% la 28 zile în cazul amestecurilor cu ciment fără adăos și de 25-45% la 3 zile, respectiv 15-30% la 28 zile la amestecurile cu ciment cu adăos (Pa 35). Influența dozaajului de ciment asupra rezistențelor mecanice ale betoanelor cu aditivii superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22 este prezentată în /59/, /63/, /65/, /69/. Betoanele fluide cu aditivii VIMC 11 și VIMC 22 au rezistențe mecanice la 28 zile practic egale cu betonul martor (în limite de  $\pm 5\%$ ) iar betoanele cu lucrabilitate egală (și cantitatea de apă de preparare redusă) au rezistențe inițiale (la 21-24 ore) superioare cu 30-150%, iar la 28-90 zile au rezistențe mai mari cu 15-40% prin comparație cu betonul martor, atât în condiții de întărire normală cât și în condiții de accelerare a întăririi betonului cu tratament termic /63/.

Influența dozaajului de ciment asupra țesării betoanelor cu aditiv superplastifiant MELMENT L 10 (1,5% soluție din cantitatea de ciment) este prezentată în fig.3.20 /95/.

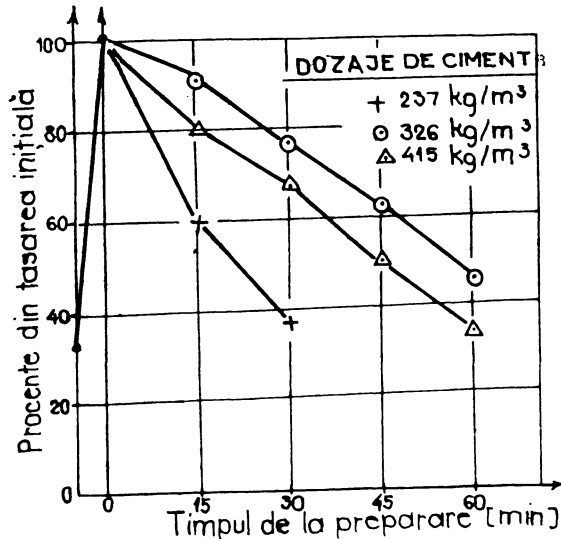


Fig.3.20. Influența dozaajului de ciment asupra variației în timp a țesării betoanelor cu aditiv superplastifiant MELMENT L 10/95/.

S-au utilizat 3 dozaaje de ciment : 237, 326 și 415 kg/m<sup>3</sup>. În figură se prezintă reducerea procentuală a tasării la 15, 30, 45 și 60 min. față de tasarea inițială (maximă). Se constată că amestecurile cu dozaaje de ciment mai ridicate (326, 415 kg/m<sup>3</sup>) prezintă o reducere mai treptată a tasării pe cînd amestecul cu dozaajul de ciment cel mai scăzut (237 kg/m<sup>3</sup>) prezintă o reducere rapidă a tasării, ea revenind la valoarea matorului în numai 30 min.

Prin utilizarea aditivului superplastifiant MIGHTY 150 /51/ în proporție de 0,25 ; 0,50 ; 0,75 și 1,0% substanță activă din cantitatea de ciment portland obișnuit s-au efectuat încercări pe betoane cu dozaaje de ciment de 400, 500 și 600 kg/m<sup>3</sup>. S-au realizat betoane cu raport a/c redus la o tasare de 8 ± 1 cm cît și de 21 ± 2 cm. În toate cazurile rezistențele la compresiune au crescut cu creșterea dozaajului de ciment, fiind mai mari la betoanele cu tasarea de 8 ± 1 cm, obținîndu-se sporuri de rezistență la 28 zile de 35-53% față de betonul mator. Sporurile maxime s-au obținut la dozaajul de aditiv de 1%, valoarea de 53% fiind la dozaajul de ciment de 400 kg/m<sup>3</sup>, iar cea de 35% la cea de 600 kg/m<sup>3</sup>.

Din rezultatele raportate în lucrările studiate, prin utilizarea și a altor aditivi superplastifianți la diferite dozaaje de ciment : SIKAMENT, LOMAR D, ZEECON (300, 415 kg/m<sup>3</sup> /91/, MELMENT Llc (300, 350, 400 kg/m<sup>3</sup> /57/ ; 237, 326, 415 kg/m<sup>3</sup> /95/ ), RHEOMAC 716 și RHEOMAC 877 (400, 500 kg/m<sup>3</sup> /24/), MISHTY 150-RD 2 (307, 390 kg/m<sup>3</sup> /4/) PSP-N și PSP-R (235, 300 kg/m<sup>3</sup> /144/), s-a constatat că rezistența la compresiune a betoanelor crește cu creșterea dozaajului de ciment. La betoanele cu aditivi superplastifianți cu același raport a/c cu betoanele mator, rezistențele la compresiune sînt apropiate, iar la cele cu raport a/c redus sînt superioare betoanelor mator. Două aspecte importante mai apar în legătură cu dozaajul de ciment al betoanelor cu aditivi superplastifianți și anume:

- asigurarea unui dozaaj minim de ciment de la care utilizarea superplastifianților devine eficientă. Din studiul întreprins rezultă că dozaajul minim de ciment utilizat la prepararea betoanelor variază între 200-350 kg/m<sup>3</sup> ; 200 /54/, 235 /114/, 237/95/, 270-280 /59/, 275 /142/, 300/53/, /57/, /91/, 307 /4/, /102/, 311 /112/, 300-350/104/.

- posibilitatea reducerii dozaajului de ciment la betoanele cu lucrabilitate egală, dar nu sub dozaajul minim. Această reducere, exprimată fie în % fie în kg/mc se încadrează între 12-30% : 10-15/52/ 15-18 /69/, 15-25/63/, /65/, /71/, 12-30 /173/, /174/, respectiv între

30-160 kg/m<sup>3</sup> : 30-85 /91/, 79 /52/, 30-160/111/.

Adaosurile în masă cimentului au constituit obiectul unor cercetări. Influența lor asupra unor proprietăți ale betoanelor a fost studiată după cum urmează : cenușă zburătoare de termocentrală /59/, /63/, /65/, /71/, /92/, /139/, /148/, /149/, /161/, ezbestul /3/, /114/, zgure /32/, /64/, /149/, /153/, fibre de sticlă /50/, /107/, /161/, fibre de oțel /50/, /120/, /123/, fibre polimidice aromatice tip KEVLAR /161/, silice ultrafină /3/, /50/, /67/, /98/.

### 3.2.1.3. Agregatele

Agregatele, reprezentând materialul de masă folosit la prepararea betonului, cu o influență hotărâtoare asupra proprietăților acestuia. Ele influențează prin natură, caracteristici fizico-mecanice și geometrice, granulozitate, dimensiune maximă, dozaj etc, în mod notabil structura betonului.

Această influență asupra structurii betonului se manifestă esențial la nivelul compactității și omogenității structurale precum și la nivelul adeziunii matrice-agregate. În majoritatea cercetărilor efectuate pe betoane cu diferiți aditivi superplastifianți, s-a utilizat agregate naturale grele provenite din sfărîmarea naturală sau artificială a rocilor /2/, /17/, /24/, /32/, /43/, /52/, /53/, /55/, /57/, /59/, /63/, /65/, /85/, /91/, /95/, /99/, /104/, /105/, /112/, /114/, /124/, /133/, /139/, /142/, /148/, /149/, /161/, /167/, precum și agregate ușoare /24/, /46/, /85/, /161/ (care nu fac obiectul prezentei teze de doctorat).

Dimensiunea maximă a agregatelor utilizate a fost în majoritatea cazurilor de pînă la 31,5 mm (cu excepția /148/, /167/, unde s-au utilizat agregate cu dimensiune maximă de 40-60 mm).

De asemenea s-a utilizat agregate cu granulozitate continuă, cu o singură excepție /161/, unde s-a utilizat și un agregat total 0-19 mm cu granulozitate discontinuă (sort, lipsă 4,8-9,5 mm).

În /32/, la utilizarea aditivului superplastifiant FLUBET, se recomandă folosirea unei granulozități continue cu o cantitate mai mare de parte fină (0-1 mm) în funcție de dozajul de ciment utilizat. În această situație s-a ajuns la un conținut maxim de parte fină de 30% pentru un dozaj de ciment de 300-350 kg/m<sup>3</sup> în condițiile utilizării unui agregat 0-16 mm.

În fig.3.21 /104/ se prezintă curbe granulometrice pentru betoane cu aditivi superplastifianți tip MFS și NFS.

În cazul utilizării unui agregat total de la 0-31,5 mm se recomandă un dozaj de ciment de 300-350 kg/m<sup>3</sup>, nisipul și pietrișul natural fiind mai indicate decât agregatele de concasaj. Cantitatea de ciment și nisip fin în domeniul 0-0,25 mm s-a stabilit a fi de 400 kg/m<sup>3</sup> pentru betoanele cu agregate cu dimensiunea maximă de 31,5 mm și de 450 kg/m<sup>3</sup> pentru betoane cu agregate cu dimensiunea maximă de 16 mm.

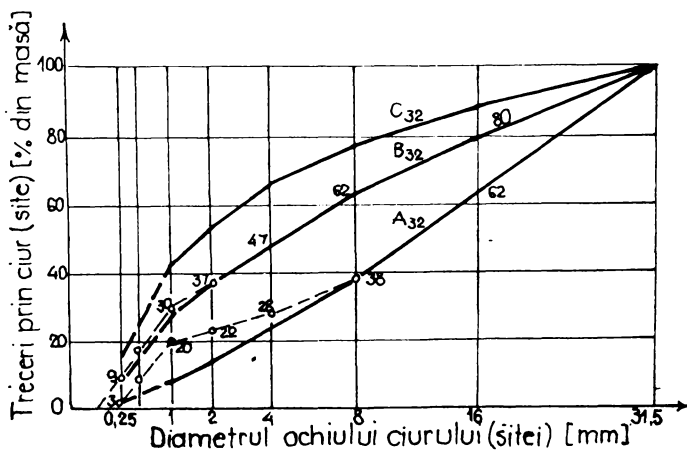


Fig. 3.21. Limite de granulozitate ale agregatului 0-31,5 mm pentru betoane cu aditivi superplastifianți /lo4/.

Cantitatea de ciment și nisip fin între 0-0,25 mm nu trebuie să fie nici prea redusă, pentru a obține o bună coeziune a amestecului dar nici prea ridicată, pentru a garanta o bună fluiditate. În /43/ se recomandă utilizarea numai a agregatelor cu granulozitate continuă. Pentru agregatul total 0-31,5 mm, nisipul 0-1 mm trebuie să fie cca. 25%. Cantitatea minimă de ciment se recomandă 250 kg/m<sup>3</sup> iar cantitatea de particule fine 0-0,25 mm (ciment+nisip fin) trebuie să fie de cca 320 kg/m<sup>3</sup> în cazul când se folosesc agregate de râu, sau 350 kg/m<sup>3</sup> când se folosesc parțial și agregate concasate. Pentru betoane realizate cu agregat total 0-20 mm și aditivi superplastifianți L'(LSCM), M'(MFS) și N'(NFS), conținutul total de parte fină (< 300 μm) trebuie să fie cel puțin 430 kg/m<sup>3</sup>/142/.

Reducerea drastică a apei de preparare (cu 8-25%) /91/, posibilă prin utilizarea superplastifianților, face necesar ca efectul de lubrifiere al apei reduse să fie înlocuit prin o creștere a cantității de părți fine peste valorile normale utilizate la realizarea betoanelor cu rezistențe superioare, ele putând fi sub formă de agre-

gate fine și adsoosuri puzzolanice. In cele mai multe cazuri creșterea cu 3-5% a proporției de agregate fine din agregatul total este necesară.

Pierderea rapidă de tasare se accentuează la amestecurile de beton cu aditivi superplastifianți la care se produce o puternică reducere a apei de preparare /161/.

De aceea dozajul de ciment trebuie să crească, putîndu-se adăuga părți fine, ca de exemplu agregate fine sau cenușă zburătoare. Pentru un agregat total 0-19 mm, dozajul de ciment recomandat este cuprins între 385-445 kg/m<sup>3</sup>.

Toate aceste prevederi privind asigurarea unei anumite cantități de parte fină (ciment, nisip fin, adsoosuri puzzolanice) au rolul de a conferi o bună fluidifiere și coeziune a betonului, fără a produce fenomenul de segregare. Recomandările sînt următoarele:

- cantitatea de ciment și nisip fin între 0-0,25 mm nu trebuie să fie nici prea redusă, pentru a obține o bună coeziune a amestecului, dar nici prea ridicată, pentru a garanta o bună fluiditate a lui /104/ ;

- cantitatea de ciment și nisip fin (0-0,2 mm/149/, 0-0,25 mm /43/, /104/, 0-0,30 mm /142/) recomandată este : pentru agregate 0-8 mm de 410-450 kg/m<sup>3</sup> (din care ciment 330-350 kg/m<sup>3</sup>)/43/, 0-16 mm de 450 kg/m<sup>3</sup>/104/, 420-550 kg/m<sup>3</sup>/149/, 0-20 mm de min. 430 kg/m<sup>3</sup> /142/, 0-30,5 mm de 400 kg/m<sup>3</sup>/104/, 320 kg/m<sup>3</sup>/43/ cînd se folosesc agregate de rîu, respectiv 350 kg/m<sup>3</sup>/43/ cînd se folosesc parțial și agregate concasate și 370-500 kg/m<sup>3</sup>/149/ ;

- cantitatea de nisip fin 0-1 mm trebuie să fie de 30% la un agregat de 0-16 mm și un dozaaj de ciment de 300-350 kg/m<sup>3</sup>/32/ și de oca 25% la un agregat 0-31,5 mm și un dozaaj minim de ciment de 250 kg/m<sup>3</sup>/43/; respectiv de 300-350 kg/m<sup>3</sup> /104/ ;

- cantitatea de agregate fine din agregatul total trebuie să crească cu 3-5% față de cazurile obișnuite /91/.

#### 3.2.1.4. Lucrabilitatea

Lucrabilitatea este o caracteristică de bază a betonului proaspăt. Ea s-a determinat prin diverse metode: tasare, răspîndire, grad de compactare Walz, și VE-BE, majoritatea lucrărilor studiate făcînd referire la una sau mai multe metode /4/, /24/, /31/, /32/, /33/, /34/, /43/, /46/, /49/, /51/, /53/, /54/, /57/, /59/, /63/, /65/, /68/, /85/, /90/, /92/, /95/, /99/, /104/, /112/, /113/, /114/, /122/, /124/, /126/, /131/, /133/, /139/, /140/, /145/, /148/, /153/, /167/.



După prepararea betonului lucrabilitatea se modifică datorită hidratării cimentului sau pierderii apei. Acest din urmă fenomen poate fi determinat de evaporare, scurgerea apei prin cofraj sau prin folosirea de agregate poroase. Modificările tasării după preparare trebuie reduse la minim, mai ales dacă betonul proaspăt se transportă sau se depozitează un timp mai îndelungat, ele complicând transportul, punerea în operă și buna compactare a betonului. Din experiență s-a constatat că lucrabilitatea trebuie frecvent corectată înainte de punerea în operă a betonului. Aceaste se realizează în majoritatea cazurilor prin adăugare de apă, deși este bine cunoscut faptul că aceasta va duce la o scădere a rezistenței betonului (în afara cazului când este sporit și dozajul de ciment). Iată de ce utilizarea aditivilor superplastifianți pentru îmbunătățirea lucrabilității este o necesitate.

Inercările efectuate în țară, de dr.ing. Ion Ionescu și colaboratorii, cu aditivi superplastifianți de tip VIMC 11 (MFS) și VIMC 22 (NFS) /42/, /46/, /58/, /59/, /63/, /65/, /68/, /69/, /71/, /111/, /127/, /140/ privind variația lucrabilității betonului indică în principal următoarele :

- la cantitate de apă de preparare egală și temperaturi ale betonului cu ciment portland obișnuit de 15-17 °C, prin adăugarea superplastifianților VIMC 11 și VIMC 22 (0,6% substanță activă din cantitatea de ciment), tasarea betonului crește de la 7-8 cm la betonul martor la cca. 22 cm (VIMC 11) și 24 cm (VIMC 22) /63/.

- la lucrabilitate egală a betoanelor martor cu a celor cu superplastifianți tip MFS și NFS, reducerea cantității de apă de preparare (în vederea obținerii de rezistențe mecanice superioare la aceleași dozaaje de ciment sau în vederea reducerii dozaajelor de ciment, a tratamentului termic etc.), crește cu creșterea cantității de aditiv (substanță activă) din amestecul de beton /63/ (fig.3.22).

Efectul aditivilor superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22 asupra lucrabilității betonului în funcție de raportul a/c este prezentat în fig.3.23 /63/, /79/.

Influența aditivului superplastifiant FLUBET asupra lucrabilității betoanelor este prezentată în /32/, /33/, /148/, /149/, /153/.

S-a constatat că pentru aceeași lucrabilitate (corespunzătoare unei tasări de 5-9 cm), cantitatea de apă de preparare se reduce cu 21-23% față de martor /32/, iar la același raport a/c tasarea a crescut de la 3 cm la betonul martor la 23 cm la betonul cu aditiv /33/.

Aditivul superplastifiant MIGHTY asigură creșterea substanțială a țesării betonului /50/, /51/, /53/, /85/, /91/, /99/.

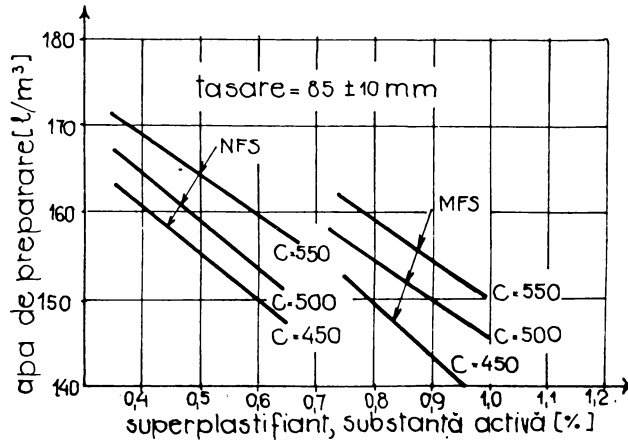


Fig.3.22. Relația dintre dozajul de superplastifiant considerat ca substanță activă și cantitatea de apă de preparare redusă la țesarea de  $8,5 \pm 1$  cm /63/.

În /51/ se prezintă proprietățile betoanelor cu aditivi superplastifianți MIGHTY (NFS) și LIGNIN SULFONATE (LSCM) la același raport a/c cu betoanele martor precum și la raport a/c redus.

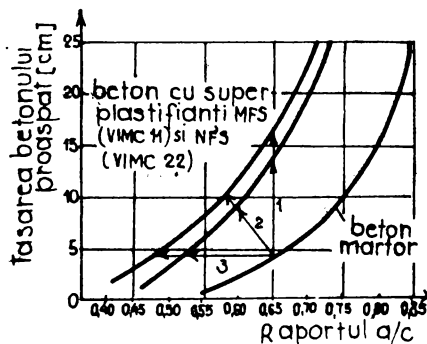


Fig.3.23. Efectul aditivilor superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22 asupra lucrabilității betonului /63/, /71/.

- 1 - îmbunătățirea lucrabilității prin creșterea valorii țesării betonului la raport a/c egal;
- 2 - reducerea valorii raportului a/c și îmbunătățirea lucrabilității;
- 3 - reducerea raportului a/c la țesare egală pentru obținerea de rezistențe superioare.

Se constată că dacă se adaugă MIGHTY în beton (cu dozaj de ciment portland obișnuit de  $440 \text{ kg/m}^3$ , țesare  $5,5+1,0 \text{ cm}$ , raport  $a/c=0,39$ ), țesarea crește odată cu creșterea dozajului de aditiv (care s-a utilizat în proporție de  $0,25-1\%$  substanță uscată din cantitatea de ciment). La peste  $0,75\%$  aditiv MIGHTY, țesarea crește peste  $25,0 \text{ cm}$ , betonul devine foarte fluid și apare segregarea, deci aditivul se recomandă să se utilizeze între  $0,25-0,75\%$ .

În cazul utilizării lingsulfatului țesarea betonului crește cu creșterea dozajului de aditiv, dar devine constantă pentru mai mult de  $0,75\%$  aditiv (cca  $21 \text{ cm}$ ).

Se constată că valoarea maximă a țesării obținute prin efectele cumulate la lingsulfat de dispersant și de antrenor de aer este mult mai mică față de țesarea datorită efectului de dispersie al aditivului MIGHTY. Utilizând aditivul MIGHTY în proporție de  $0,75-1,0\%$  substanță uscată din cantitatea de ciment se poate reduce raportul  $a/c$  cu  $30-33\%$  iar prin utilizarea aditivului LIGNIN SULFONATE în proporție de  $0,75-1,0\%$  se reduce raportul  $a/c$  cu  $15-16\%$ .

Un alt aditiv cu largă utilizare este aditivul MELMENT (L 10, N) /2/, /55/, /57/, /95/, /99/, /122/, /139/. Prin utilizarea aditivului MELMENT L 10 /57/ se obține o creștere a țesării betonului martor de la  $5 \text{ cm}$  la  $11 \text{ cm}$  ( $0,74\%$  aditiv soluție), respectiv  $21 \text{ cm}$  ( $1,5\%$  aditiv soluție (fig.3.24). În lucrarea /95/ sînt prezentate următoarele re-

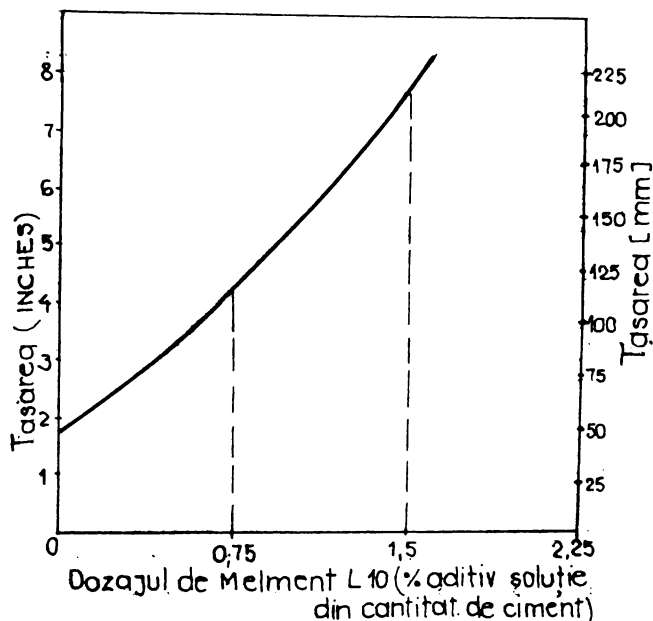


Fig.3.24. Variația țesării betonului cu aditiv superplăstifiant MELMENT L 10 în funcție de dozajul de aditiv /57/.

zultate : tasarea betonului mător. 7,6 cm iar a betoanelor cu MELMENT L lo este de 17,8 cm (0,91% aditiv soluție), 20,3 cm (1,25%), 22,2 cm (1,5%), 24,8 cm (1,75%) iar în /99/ tasarea mătorului este de 5,0 cm iar a betoanelor cu MELMENT L lo este de 10 cm (1% aditiv soluție), 23,0 cm (2%), 26 cm (3%).

Reducerea raportului a/c prin utilizarea aditivului MELMENT L lo /2/ este de 17,8% (2,5% aditiv soluție) și 24,4% (5,0% aditiv soluție) la o tasare a betoanelor mător și cu aditiv de 7,5 cm. Prin utilizarea aditivului superplastifiant MELMENT N /122/, reducerea raportului a/c în funcție de procentul de aditiv soluție variază între 2,5-20,5%.

Se constată că lucrabilitatea betoanelor cu aditivi superplastifianți se poate aprecia cel mai bine în funcție de raportul a/c . Avem astfel următoarele 3 situații :

- la același raport a/c cu al betoanelor mător, betoanele cu aditivi superplastifianți au lucrabilitatea îmbunătățită sensibil (tasarea crește de 2-5 ori sau mai mult) /33/, /50/, /51/, /58/, /59/, /63/, /65/, /90/, /95/, /97/, /99/, /114/, /148/, /149/;

- la raport a/c redus moderat se îmbunătățește limitat lucrabilitatea betoanelor cu aditivi superplastifianți /58/, /59/, /63/, /71/, /173/, /174/ ;

- la lucrabilitate egală cu a betoanelor mător, la betoanele cu aditivi superplastifianți se poate reduce raportul a/c cu 10-33% : 10-15 /50/, /51/, 12-18 /4/, 12,5-20,0 /122/, 10-15 /46/, 12-25 /173/, /174/, 15-20 /153/, 13,6-18,7 /46/, 16-26 /33/, 17,8-24,4 /2/, 10-33 /50/.

De asemenea lucrabilitatea mai depinde de tipul și procentul de aditiv superplastifiant utilizat, de lucrabilitatea inițială a betonului, mător, de temperatura mediului ambiant, de ciment, de agregate.

### 3.2.1.5. Variația în timp a lucrabilității

Aditivii superplastifianți utilizați la prepararea betoanelor contribuie la creșterea substanțială a lucrabilității betoanelor proaspete în momentul preparării, constatându-se însă pierderea treptată a acesteia în timp, lucru atestat de numeroase cercetări din țară și străinătate /24/, /31/, /33/, /43/, /53/, /54/, /59/, /63/, /65/, /85/, /90/, /92/, /95/, /99/, /104/, /124/, /126/, /133/, /139/, /145/, /148/.

Variația ei în timp la betoanele cu aditiv superplastifiant FLUBET la procentele de 1,5 ; 2,0 și 2,5% soluție din cantitatea de ciment este prezentată în fig.3.25./33/.

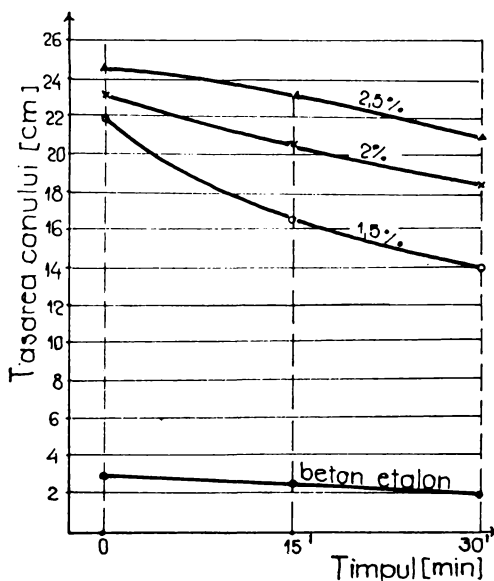


Fig.3.25. Variația în timp a lucrabilității pentru betoane cu aditiv superplastifiant FLUBET. Raport  $a/c=0,56$ , constant /33/.

Inercările efectuate pe betoane cu aditivi superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22 au arătat o creștere inițială mare a lucrabilității betoanelor proaspete, care apoi scade treptat în timp /59/, /63/, /65/, /90/.

În fig.3.26 a /63/, /65/ se prezintă variația lucrabilității betoanelor plastice și fluide preparate cu 0,6% substanță activă superplastifiantă VIMC 11 (MFS), VIMC 22 (NFS), S20 (MFS) și MF35 (MFS). Betoanele au avut raportul  $a/c = 0,51$ ,  $425 \text{ kg/m}^3$  ciment portland și  $217 \text{ l/m}^3$  apă iar temperatura mediului a fost de 15-17 °C. În fig. 3.26 b se prezintă variația lucrabilității betoanelor vîrtoase.

Se constată că prin adăugarea superplastifianților tasarea crește de la 7-8 cm la betonul mător la 22-25 cm, în funcție de tipul superplastifiantului utilizat. După preparare, lucrabilitatea betonului scade în timp diferențiat, în funcție de tipul superplastifiantului utilizat, astfel că la 120 de minute de la preparare tasarea betoanelor cu aditivi superplastifianți este după cum urmează:

VIMC 11 cca. 12 cm, VIMC 22 și MN 25-cca.22 cm, S20 cca 20 cm.

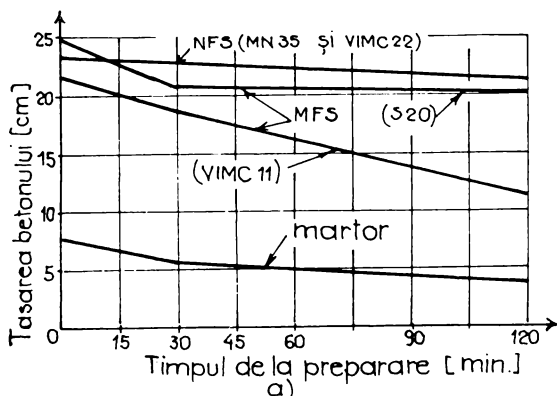
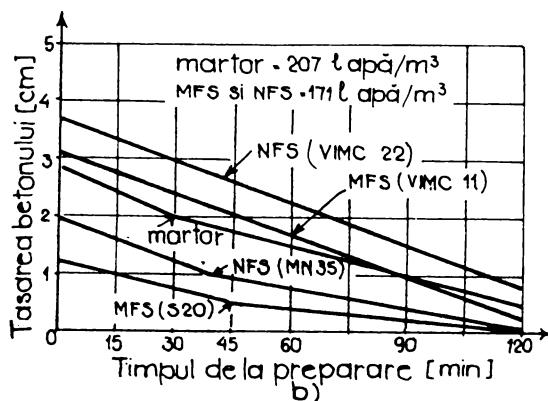


Fig.3.26. a) Variația lucrabilității betoanelor plastice și fluide preparate cu 0,6% substanță activă superplastifiantă, 425 kg/m<sup>3</sup> ciment portland și 217 l/m<sup>3</sup> apă (la temperaturi de 15-17°C) /63/, /65/.



b) Variația lucrabilității betoanelor viftoase cu 0,6% substanță activă superplastifiantă, 425 kg/m<sup>3</sup> ciment portland și cantități de apă de preparare diferite (la temperaturi de 15-17°C) /63/.

În /59/ se arată că pentru o anumită compoziție a betonului cu aditiv la cantitate de apă de preparare egală, tasarea betonului crește de la 4-5 cm la 20-22 cm în cazul utilizării aditivului VIMC 22 și la 16-20 cm în cazul utilizării aditivului VIMC 11. Trebuie de asemenea menționat că betoanele cu aditivii superplastifiantă VIMC 11 și VIMC 22 își pierd lucrabilitatea în timp, ajungând la valoarea matorului în cca 80 minute (VIMC 11) și cca. 85 minute (VIMC 22). De

aceea se recomandă punerea lor în operă și compactarea în 20-60 minute de la preparare. Lucrarea /90/ prezintă încercări de laborator și experimentări efectuate în condiții reale de execuție întreprinse la TAGCM Timiș cu aditivii superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22. S-au stabilit procentele optime pentru acești aditivi și anume 1,5-3,0% soluție din cantitatea de ciment pentru aditivul VIMC 11 și 1,1-1,8% soluție pentru aditivul VIMC 22. S-a constatat de asemenea că durata efectului de fluidifiere a acestora asupra betonului proaspăt este de cca.30. minute de la prepararea betonului, când tasarea lor ajunge la valoarea inițială a tasării betonului martor.

Si în literatura străină de specialitate rezultatele cercetărilor întreprinse cu diferiți aditivi superplastifianți sînt asemănătoare cu cele prezentate anterior.

Astfel, prin utilizarea aditivilor superplastifianți tip MFS și NFS, lucrabilitatea betoanelor revine la valoarea inițială după 90 minute de la preparare /54/ sau 60-90 minute /104/. În /43/ se prezintă variația în timp a tasării unui beton cu un dozaj de ciment de  $300 \text{ kg/m}^3$  la temperatura de  $20^\circ \text{C}$ . S-a urmărit influența tasării inițiale a betonului martor asupra tasării inițiale a betonului cu aditiv, constatîndu-se că tasarea betonului cu aditiv este cu atît mai mare cu cît tasarea betonului martor din care provine este mai mare. De asemenea s-a constatat că intervalul de timp de revenire la tasarea betonului martor este cu atît mai mare cu cît tasarea betonului martor este mai mare, el variînd între 90-120 minute. Cercetările efectuate cu aditivii superplastifianți SUPAFLO, SIKAMENT, CRODA 2, CRODA 3R, ACOSAL FLUID /53/, au arătat că efectul aditivilor se menține 30-60 minute de la preparare în funcție de dozajul de ciment și de temperatura mediului.

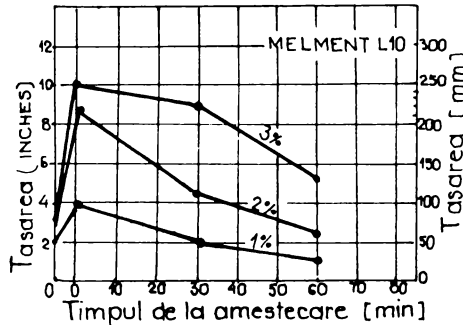
S-au făcut cercetări și prin utilizarea de ciment și cenușă zburătoare cu aditivii superplastifianți MELMENT L 1c /139/ și cu aditivi superplastifianți de tip NFS și LSCM /92/.

În /92/ cercetările s-au efectuat pe un beton martor care a avut tasarea inițială de 6,4 cm utilizîndu-se un aditiv superplastifiant tip NFS și doi aditivi superplastifianți tip LSCM. Se constată ajungerea la lucrabilitatea betonului martor la cca 20 minute de la preparare la betoanele cu aditivii tip LSCM și la cca 40 minute de la preparare la betonul cu aditiv tip NFS.

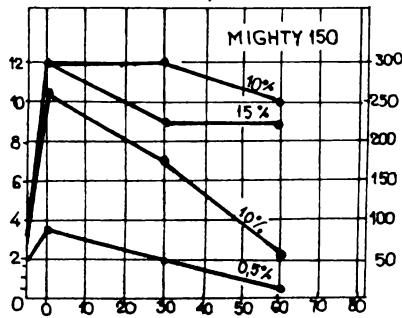
Influența aditivilor superplastifianți MELMENT L 1c (MFS), MIGHTY 150 (NFS) și MULCOPLAST GF (LSCM) la diferite procente de aditivi soluție din cantitatea de ciment asupra variației tasării în timp a fost studiată în lucrarea /99/.

S-a realizat un beton cu raport a/c=0,42 și dozaj de ciment portland obișnuit de 379 kg/m<sup>3</sup>.

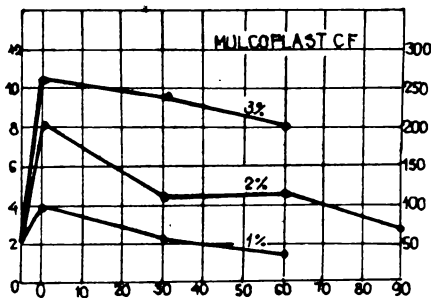
În fig.3.27 se prezintă variația în timp a tasării betoanelor cu aditivii superplastifianți MELMENT L 10, MIGHTY 150 și MULCOPLAST CF la diferite procente de aditiv.



a)



b)



c)

Fig.3.27. a, b, c Variația în timp a tasării betoanelor cu aditivi superplastifianți MELMENT L 10(a), MIGHTY 150 (b) și MULCOPLAST CF (c) în funcție de doza de aditiv /99%.



Se constată că cu creșterea dozajului de aditiv superplastifiant timpul de revenire a tasării betoanelor cu aditiv la tasarea betonului martor crește. La dozajele optime de aditiv recomandate de producători (MELMENT L 10-2%, MIGHTY 150 - 1% și MULCOPLAST CF - 2%), tasarea betoanelor cu aditivii MELMENT L 10 și MIGHTY 150 ajunge la tasarea betonului martor (5 cm) în 60 minute de la preparare iar cea a betonului cu MULCOPLAST-CF în 90 minute.

În lucrarea /133/ se prezintă variația în timp a betoanelor cu aditivi superplastifianți LOMAR D(NFS) (1,5% soluție din cantitatea de ciment) și MULCOPLAST CF (1,875% soluție). Betoanele s-au realizat cu raportul a/c=0,46 și tasarea de 3,81 cm la betonul martor 23,4 cm la betonul cu aditiv LOMAR D și respectiv 20 cm la betonul cu aditiv MULCOPLAST CF. Se constată că tasarea betonului cu LOMAR D ajunge la tasarea inițială a betonului martor în cca 80 minute de la preparare, respectiv în 100 minute pentru betonul cu aditiv MULCOPLAST CF.

În /145/ prin utilizarea aditivilor superplastifianți de tip MFS și NFS la betoane cu raport a/c=0,34-0,35, la același dozaj de aditiv, tasarea descrește cu creșterea timpului de amestecare, a temperaturii, a conținutului de părți fine, dacă agregatele de rîu sînt înlocuite cu agregate concasate, cu scăderea volumului de aer occlus. De asemenea scade cu scăderea dozajului de aditiv. S-a constatat că lucrabilitatea descrește cu circa 50% în 15-20 minute de la preparare.

Se constată că tasarea betoanelor cu aditivi superplastifianți revine la tasarea inițială a betoanelor martor într-un interval de timp de 20-180 minute de la preparare în funcție de tipul aditivului superplastifiant:

- VIMC 11 (MFS): 180 minute /63/, /65/ ; 80 minute /59/ ;  
30 minute /90/ ;
- VIMC 22 (NFS) : 85 minute /59/ ; 30 minute /90/ ;
- MFS, NFS: 90 min. /54/, 60-90 min./104/ , 40 min. /92/, 20-25  
minute /145/ ;
- SUPAFLO (NFS), SIKAMENT (NFS), CRODA 2 (NFS) , CRODA 3R (NFS),  
ACOSAL FLUID (LSCM) : 30-60 minute /53/ ;
- LSCM - 20 minute /92/ ;
- MELMENT L 10 (MFS) : 60 minute /99/ ;
- MIGHTY 150 (NFS) : 60 minute /99/ ;
- MULCOPLAST CF(LSCM) : 90 minute /99/ ; 100 minute /133/ ;
- LOMAR D (NFS): 80 minute /133/.

De asemenea durata de revenire a lucrabilității betoanelor

cu aditivi superplastifianți la valoarea lucrabilității betoanelor mător mai depinde de :

- valoarea tasării inițiale a betonului mător ; cu cât aceasta este mai mare și timpul de revenire este mai mare ;
- procentul de aditiv superplastifiant ; cu cât acesta crește tasarea crește și timpul de revenire al lucrabilității este mai mare ;
- volumul de aer oclus ; cu creșterea lui timpul de revenire al lucrabilității crește ;
- conținutul de părți fine, dacă se depășesc anumite valori, lucrabilitatea scade și se reduce timpul de revenire ;
- natura agregatelor ; dacă agregatele de râu sînt înlocuite cu piatră spartă, lucrabilitatea scade și deci se reduce timpul de revenire ;
- temperature mediului ambient ; cu creșterea temperaturii valoarea tasării scade.

### 3.2.1.6. Temperatura mediului ambient

Temperatura mediului ambient influențează în măsură însemnată unele proprietăți ale betoanelor cu aditivi superplastifianți /52/, /63/, /65/, /84/, /95/, /104/, /135/, /139/.

Din experimentările efectuate cu aditivii superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22 a rezultat că scăderea lucrabilității betonului proaspăt în timp este accelerată cu creșterea temperaturii betonului și a mediului ambient, fenomen explicabil dacă se are în vedere intensificarea reacțiilor de hidratare a cimentului cu creșterea temperaturii /63/, /65/, (fig.3.28).

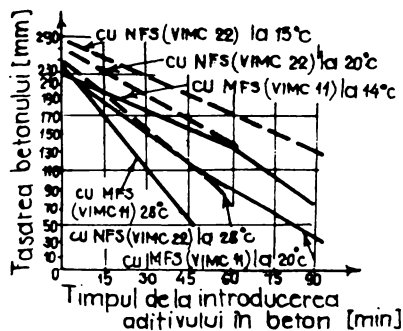


Fig.3.28. Variația tasării betonului cu 0,6% substanță activă superplastifiantă VIMC 11 și VIMC 22, 300 kg/m<sup>3</sup> ciment P40 și agregate rulate în funcție de temperatură /63/, /65/.

Studiindu-se evoluția în timp a rezistențelor la compresiune a unor amestecuri de betoane preparate cu ciment SR în dozaj de  $310 \text{ kg/m}^3$  și aditiv VIMC 11 (2,5%) cu tasarea de 2,8 cm, la temperaturi de  $6^\circ\text{C}$  și  $19^\circ\text{C}$  s-a constatat că pentru a putea utiliza superplastifiantii ca acceleratori ai întăririi betonului, este absolut necesar ca amestecurile să fie păstrate la temperaturi situate în jurul valorii de  $20^\circ\text{C}$  în perioada de timp necesară obținerii rezistențelor la compresiune scontate /135/.

Și din literatura de specialitate străină se constată că creșterea temperaturii mediului scade efectul lucrabilității în timp. În /104/ se prezintă cercetări efectuate pe betoane cu aditiv superplastifiant tip MFS (1,5%) la temperaturile de  $5^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$  și  $30^\circ\text{C}$ , constatându-se că revenirea lucrabilității betoanelor cu aditiv la cea a betoanelor martor este cu atât mai rapidă cu cât temperatura este mai ridicată.

Influența aditivului MELMENT L 10 la dozaj de 2% soluție din cantitatea de ciment, la temperaturile de  $20^\circ\text{C}$  și  $40^\circ\text{C}$ , asupra variației în timp a tasării a fost urmărită în /139/. Dozajul de ciment a fost de  $310 \text{ kg/m}^3$ . S-a constatat o puternică reducere a tasării betonului proaspăt la  $40^\circ\text{C}$ , ea ajungând la valoarea de 5 cm în 1 oră, respectiv în 2 ore la  $20^\circ\text{C}$ .

Tot influența aditivului MELMENT L 10 dar la 1,5% soluție din cantitatea de ciment asupra variației tasării în timp și la temperaturile de  $15,5^\circ\text{C}$ ,  $22^\circ\text{C}$  și  $32,2^\circ\text{C}$  a fost studiată în /95/. La temperatura de  $32,2^\circ\text{C}$  s-a utilizat și aditivul superplastifiant întârziator MR1 (1,5% soluție). Rezultatele obținute sînt prezentate în fig.3.29.

Se constată că prin utilizarea aditivului MELMENT L 10, tasarea inițială a betonului martor de 7,6 cm se atinge după 90 minute la  $15,5^\circ\text{C}$ , 60 minute la  $22^\circ\text{C}$  și 30 minute la  $32,2^\circ\text{C}$ .

La temperatura de  $15,5^\circ\text{C}$  pierderea tasării este treptată pe cînd la  $32,2^\circ\text{C}$  ea este rapidă.

Prin utilizarea aditivului superplastifiant întârziator MR1 la temperatura de  $32,2^\circ\text{C}$  se asigură o revenire a tasării la valoarea inițială în cca 2 ore. Din lucrările studiate se constată că scăderea în timp a lucrabilității betoanelor proaspete este accelerată cu creșterea temperaturii /63/, /65/, /95/, /104/, /139/, ea depinzînd de tipul și procentul de aditiv superplastifiant utilizat precum și de ceilalți factori prezentați la lucrabilitate și la variația în timp a lucrabilității. Pentru prelungirea timpului de revenire a tasării la valoarea inițială a martorului se pot utiliza aditivi super-

plastifianți întârziatori /95/. De asemenea pentru a putea utiliza aditivii superplastifianți obișnuiți ca acceleratori de întărire, betonul trebuie păstrat la temperatura de cca.20 °C /135/. Pentru

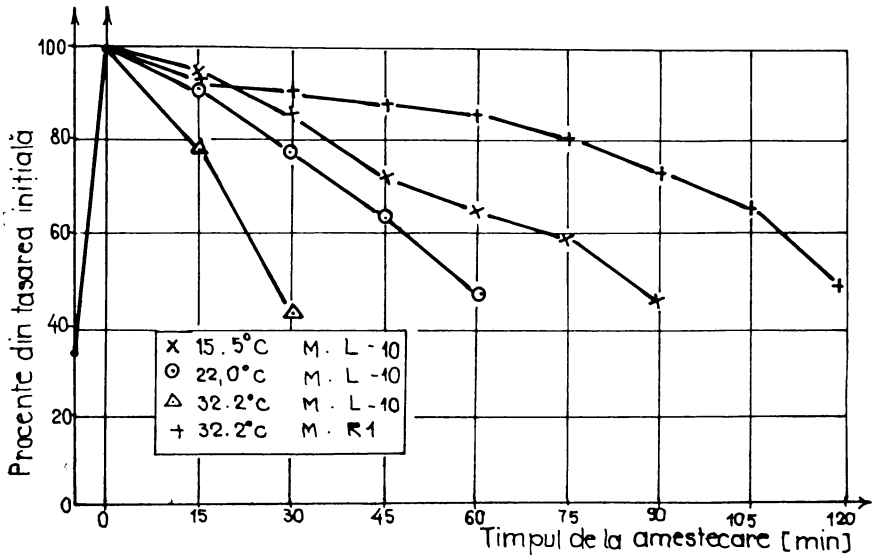


Fig.3.29. Influența temperaturii asupra variației în timp a tasării betoanelor cu aditivi superplastifianți MELMENT L 10 și MR 1 /95/.

punerea în operă a betoanelor cu aditivi superplastifianți la temperaturi extreme (de regulă sub 10 °C și peste 32 °C) se prevăd măsuri speciale /52/,/84/.

### 3.2.1.7. Dozarea repetată (redoizarea)

Din experimentările efectuate cu aditivii superplastifianți s-a constatat că după un anumit interval de timp de la preparare, lucrabilitatea betonului proaspăt scade iar dacă se adaugă o nouă cantitate de aditiv, betonul își recapătă practic lucrabilitatea inițială /33/,/53/,/54/,/63/,/65/,/95/,/114/,/127/,/142/,/149/.

Influența dozării repetate a aditivului VIMC 11 asupra variației în timp a tasării și a volumului de aer oclus se prezintă în fig.3.30./63/,/65/.

Se constată că redoizarea aditivului VIMC 11 la 80 minute de la prepararea betonului are efect favorabil, tasarea recăpătându-și practic valoarea inițială. De asemenea rezistențele la com-

presiune la 28 zile cresc ușor cu reducerea procentului de aer antrenat la preparare și creșterea densității betonului /65/.

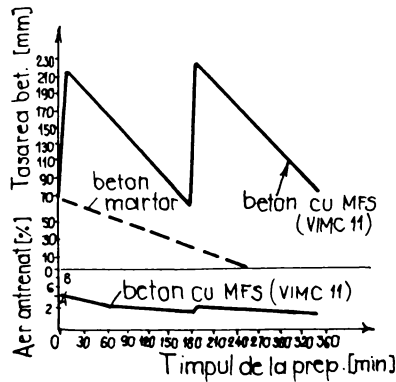


Fig.3.30. Variația unor proprietăți ale betonului cu 425 kg/m<sup>3</sup> ciment portland, agregate rulate și a/c=0,51 în cazul repetării dozării superplastifiantului VIMC 11 la temperatură mediului ambiant de 15°-17°C /63/, /65/.

În /127/ se prezintă influența aditivului VIMC 11 (3% soluție din cantitatea de ciment) asupra variației în timp a tasării precum și a rezistențelor la compresiune. Temperatura mediului a fost de 20-25 °C. S-a utilizat un ciment P40, dozaj de 289 kg/m<sup>3</sup> și agregate de 0-16 mm iar dozarea aditivului VIMC 11 s-a făcut secvențial, în 1 (3%), 2(1,5%+1,5%), 3(1%+1%+1%) și 4 (0,75%+0,75%+0,75%+0,75%) secvențe egale, funcție de lucrabilitatea inițială impusă, de timpii tehnologici și de temperatura mediului, transport precum și de lucrabilitatea cerută în momentul punerii în operă. S-a constatat că dozarea superplastifiantului VIMC 11 în secvențe egale permite reducerea cantității de apă din beton cu 10-15% față de proba maritor, obținând astfel sporuri de rezistență inițiale de 50-60% și finale de 15-20%. Dozarea secvențială a aditivului s-a făcut din 30 în 30 minute la betonul cu lucrabilitatea inițială L3 și din 45 în 45 minute la cel cu lucrabilitatea inițială L4, menținându-se lucrabilitatea L3 a betonului între 2h și 3h și 45 minute. Având în vedere că timpul de la preparare la punerea în operă poate să depășească timpul de început de priză al betonului, dozarea secvențială a aditivului VIMC 11 se va controla și se va duce până la un timp limită, fără a depăși timpul de început de priză al betonului aflat în stare de repaus, deoarece se distruge matricea de mortar din beton, conducând în final la reduceri de rezistență.

Efectul dozării repetate a aditivului FLUBET asupra variației în timp a lucrabilității a fost studiat în /33/, /149/. În fig. 3.31 /33/ se constată că după 60 minute de la preparare, tasarea scade de la 6,5 cm la 2 cm însă prin adăugarea unei cantități suplimentare de 0,6% FLUBET, tasarea crește practic până la valoarea inițială.

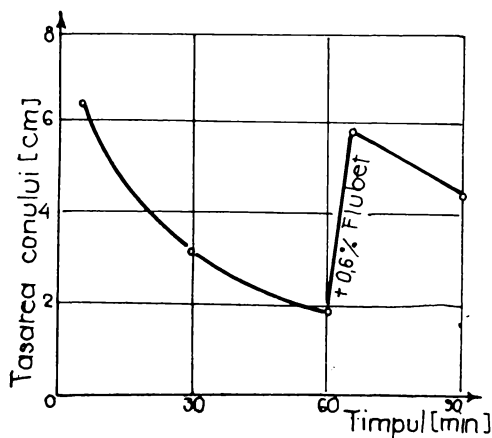


Fig.3.31. Variația în timp a lucrabilității betonului cu aditiv superplastifiant FLUBET în cazul redozării /33/.

Si din literatură străină de specialitate rezultă efectul favorabil al redozării aditivilor superplastifianți asupra variației tasării, volumului de aer oclus și rezistențelor la compresie /53/, /54/, /95/, /114/, /142/.

În /114/ se prezintă influența aditivului superplastifiant PSP-N (1,25%) asupra tasării în timp. Prin redozarea acestuia de 3 ori la intervale de 20 minute, tasarea ajunge la valoarea matorului (de cea 7,5 cm) în cea 80 minute de la preparare atât la amestecul cu dozajul de ciment de  $235 \text{ kg/m}^3$  cât și la cel de  $300 \text{ kg/m}^3$ .

Influența redozării aditivului MELMENT L lo asupra tasării, la temperatura de  $32^\circ \text{C}$ , se prezintă în /95/. Aditivul s-a adăugat inițial în amestec (1,5%) iar apoi la 30 minute de la preparare s-a mai adăugat o doză de 1,5%, tasarea ajungând după 90 minute de la preparare la 6,7 cm față de 7,6 cm cât avea betonul mator.

Trei aditivi superplastifianți L'(LSCM), M'(MFS) și N'(NFS) au fost testați pentru a se urmări efectul redozării asupra variației în timp a tasării, a volumului de aer oclus și a rezistențelor

la compresiune /142/. Trebuie precizat că adăugarea aditivilor a avut loc după o perioadă de așteptare de 35 minute, dar avînd în vedere că în continuare s-a urmărit efectul redozării și după precizarea autorilor am încadrat lucrarea la acest punct și nu la următorul care se referă la intervalul de timp dintre prepararea betonului și adăugarea aditivului și care de regulă se realizează cu o singură dozare la un interval de timp stabilit.

S-au realizat betoane cu raport  $a/c=0,42$  ;  $0,55$  ;  $0,65$ , agregate de rîu 0-20 mm, temperatura medie de  $12 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Pentru fiecare tip de aditiv și diferite procente (1,5-4,0% soluție din cantitatea de ciment) s-au efectuat cîte 3 redozări, betonul turnîndu-se după a 3-a redozare cînd tasarea a ajuns la valoarea maximă de cca.20 cm (față de cca 7 cm cît a avut betonul martor imediat după amestecare și de cca 5 cm cît a avut la 35 minute cînd s-a efectuat prima dozare). A doua redozare produce tasarea cea mai mare. Revenirea la tasarea cînsintea primei redozări a fost în cca.1 h 10' pentru aditivii tip M'și N'și de cca. 1h 1/2 pentru aditivul L', ea fiind în funcție și de tipul și procentul de aditiv. Astfel, timpul de revenire al tasării a fost de cca 180-270 minute pentru aditivii M'și N' (1,5-3,0%,  $a/c=0,42-0,65$  pentru M'și 1,5%,  $a/c=0,42-0,55$  pentru N') și de cca 270-300 minute pentru L' (1,5-2,5%,  $a/c=0,42-0,55$ ). În paralel s-a determinat și volumul de aer occlus, constatîndu-se că el scade în timp. Rezistențele la compresiune la 28 zile ale betoanelor la care s-a efectuat prima și a doua redozare au fost mai mari decît la betoanele martor (cele mai mari după a 2-a redozare). Betoanele la care s-a efectuat a 3-a redozare au rezistențele la compresiune mai reduse decît la betoanele martor.

Se constată din cele prezentate că numărul de redozări a aditivilor superplastifianți variază între 1-3, iar suma procentelor de aditiv utilizate în cazul redozărilor se încadrează între valorile optime și maxime recomandate pentru fiecare aditiv. Numărul maxim de redozări este limitat și de timpul de început de priză al betonului și de faptul că unele cercetări au arătat că după a 3-a redozare rezistențele la compresiune scad. Procentul de aditiv este limitat în intervalul optim-maxim datorită recomandărilor de utilizare a aditivilor date în fișa lor tehnică de producător, precum și din considerente economice, un procent ridicat mărind prețul de cost/ $\text{m}^3$  de beton.

Durate de timp cît se poate asigura ca tasarea betoanelor cu aditivi superplastifianți să fie în limitele unei lucrabilități propuse, în funcție de condițiile tehnologice impuse (în majoritatea cazurilor

studiate L3), prin 1-3 redozări, este influențată de parametrii care influențează atât lucrabilitatea cât și variația în timp a ei și care au fost prezentați anterior la determinările respective. Ea se încadrează în intervalul de 80-360 minute:

- VIMC 11 (MFS); 360 min. (1 redozare la 180 min) /63/, /65/ ; 225 min. (3 redozări la 60, 120 și 180 min) /127/ ;
- PSP-N : 80 min. (3 redozări la 20, 40, 60 min) /114/ ;
- MELMENT L 10 (MFS) - 90 minute (1 redozare la 30 min.) /95/ ;
- L' (LSCM) : 270-300 minute (3 redozări la cca 90, 180, 270 min) /142/ ;
- M' (MFS) : 180-270 minute (3 redozări la cca 70, 140, 210 min) /142/ ;
- N' (NFS) : 180-270 min. (3 redozări la cca 70, 140, 210 min) /142/.

### 3.2.1.8. Intervalul de timp dintre prepararea betonului și adăugarea aditivului superplastifiant

Acest aspect a fost cercetat în următoarele lucrări studiate: /4/, /65/, /85/, /90/, /95/, /112/, /124/.

Influența intervalului de timp dintre prepararea betonului și adăugarea aditivului superplastifiant VIMC 11 asupra țesării betonului proaspăt este prezentată în fig.3.32 /65/.

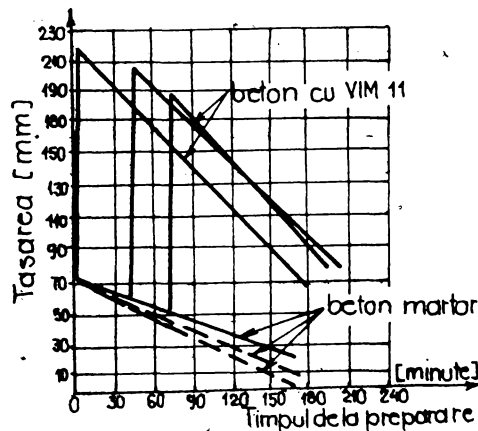


Fig.3.32. Influența intervalului de timp dintre prepararea betonului și adăugarea aditivului superplastifiant VIMC 11 asupra țesării betonului cu  $425 \text{ kg/m}^3$  ciment portland, agregate rulate 0-16 mm și  $a/c=0,51$  la temperatura de  $15-17^\circ\text{C}$ , /65/.

Nu s-au observat diferențe sensibile în ce privește țesările betoanelor în funcție de intervalul de timp dintre prepararea betonului și adăugarea superplastifiantului dacă acest lucru se face pînă



la maxim cca 75 minute de la preparare.

Rezultate similare la utilizarea lui VIMC 11 au fost obținute și în /90/, unde aditivul s-a adăugat la 45 minute de la prepararea betonului. Adăugarea s-a efectuat cu 5-10 minute înainte de descărcarea pe șantier și reamestecarea betonului cu aditivul în tobe rotitoare a autobetonierei, minim 60 rotiri ale tobei.

Pentru a înțelege influența timpului de adăugare a aditivului superplastifiant asupra efectului de fluidifiere al betonului s-au efectuat cercetări de laborator pe amestecuri de beton cu tasarea inițială de 12 cm, utilizându-se un aditiv tip NFS (0,5%) care s-au adăugat (a) în timpul amestecării, (b) imediat după amestecare precum și (c) la 15, 30 și 60 minute de la prepararea betonului /85/. După fiecare introducere a aditivului, betonul s-a mai reamestecat 1 minut.

S-a constatat că tasarea betonului cu aditiv crește la 21 cm indiferent de timpul de adăugare (excepție -a- când a crescut pînă la 18 cm). De asemenea s-a constatat că nu există diferențe sensibile între rezistențele la compresiune ale betoanelor cu aditiv superplastifiant adăugat în intervalul de 0-60 minute de la preparare. În /124/ se prezintă influența unui aditiv superplastifiant  $N_1$  (NFS-0,64% substanță activă din cantitatea de ciment) asupra tasării betoanelor proaspete; aditivul fiind introdus în amestec în următoarele variante: inițial, la 6, 17 și 60 minute de la preparare.

Betoanele s-au realizat cu raportul a/c=0,35. Se constată că tasarea betonului, cînd aditivul s-a adăugat la 60 minute de la preparare este mai redusă decît cea de la 6 și 17 minute iar intervalul de timp cît se menține lucrabilitatea între valorile propuse de 2,5-7,5 cm durează cca 70 minute.

Influența unui aditiv superplastifiant tip NFS (1,5% soluție din cantitatea de ciment) asupra variației în timp a tasării, la 3 dozaje de ciment (311, 363 și 415 kg/m<sup>3</sup>) cînd aditivul s-a adăugat la 45 minute de la preparare este prezentată în /42/. Tasarea inițială a betonului martor a fost de 7,5 cm iar la 40 minute de la preparare de 4,0 cm iar prin adăugarea aditivului a ajuns la 20 cm. Ea s-a ajuns din nou la valoarea inițială a martorului în timp de 45 minute (la betonul cu dozaj de ciment de 311 kg/m<sup>3</sup>) respectiv 120 minute (la betonul cu dozaj de ciment de 415 kg/m<sup>3</sup>). Se constată că revenirea este mai lentă cu creșterea dozajului de ciment timpul total de menținere a lucrabilității în domeniul propus, varînd între 90-165 minute.

Influența aditivului superplastifiant MELMENT L 10 (1,5% soluție din cantitatea de ciment) asupra tasării betonului, adăugat la 20, 40 și 60 minute de la preparare este prezentată în /95/. Temperatura mediului ambiant a fost de 22 °C. Tasarea inițială a betonului martor a fost de cca 8 cm iar la intervalele de adăugare a aditivului de 6,4; 5,0 și 5,0 cm. Prin adăugarea aditivului la termenele propuse (20, 40, 60 minute), tasarea are valorile 20,3; 19,7 și respectiv 18,4 cm. Deși nu sînt diferențe sensibile, se constată totuși o scădere a valorii tasării cu cît timpul de adăugare a aditivului crește. Revenirea la valoarea tasării inițiale se face în 30 minute (pentru adăugarea aditivului la 20 minute), 45 minute (aditiv la 40 minute) și 35 minute (aditiv la 60 minute), deci timpul total de prelungire a lucrabilității în domeniul propus este de 110 minute.

Din studiul efectuat constatăm că, deși nu sînt diferențe sensibile, tasarea betoanelor cu aditivi superplastifianți scade cu creșterea timpului de adăugare a aditivilor în beton. Această scădere este cu atît mai mare cu cît tasarea inițială a betonului martor este mai mică. Dacă tasarea inițială este cuprinsă între 7,0-12 cm, prin adăugare de aditiv superplastifiant în intervalul 0-75 minute de la prepararea betonului (45 min./42/, /45/ și 75 min /65/, 15, 30 și 60 min. /85/; 45 min./90/ ; 20 , 40 și 60 minute /95/), se poate păstra acest domeniu de tasare 75-210 minute de la preparare (90-165 minute /43/ ; 210 minute /65/ ; 75 minute /90/; 110 minute /95/). De asemenea, valoarea tasării este influențată de dozajul de ciment, temperatură, tipul și procentul de aditiv utilizat.

### 3.2.1.9. Tratamentul termic

Din literatură de specialitate din țară și străinătate consultată, a rezultat că tratamentul termic a fost utilizat în cazul betoanelor cu raport e/c redus, astfel că efectului de sporire a rezistențelor datorat reducerii raportului e/c i se adăugă și acela datorat tratamentului termic /4/, /24/, /52/, /54/, /57/, /59/, /63/, /65/, /68/ /71/, /91/, /111/, /122/, /133/, /135/, /140/, /145/, /161/.

Cercetările întreprinse au urmărit în principal posibilitatea asigurării unei creșteri pronunțate a rezistențelor betonului în primele ore și zile precum și a reducerii tratamentului termic.

Prin utilizarea aditivilor superplastifiant VIMC 11 și VIMC 22 la betoanele cu lucrabilitate egală se poate reduce tratamentul termic cu 30-70% /63/ , 50-70% /65/, 0-70% /71/.

Astfel, se poate reduce ciclul total de tratare termică de la 12 ore la betonul martor, la 7 ore la betoanele cu aditivi VIMC 11 și VIMC 22, prin stingerea rezistenței de decofrare (la Bc 20) și rezistenței la trăsier (la Bc 30) mai devreme, datorită reducerii raportului s/c cu 14-28%, în funcție de tipul și procentul de aditiv, tipul și dozaajul de ciment.

În /135/ se prezintă modul de stabilire a unui ciclu de tratament termic optim pentru un beton cu aditiv VIMC 11 (3%), ciment SR cu dozaaj de 400 kg/m<sup>3</sup> și țesătură 5 cm. S-au experimentat 4 cicluri de tratament termic, obținându-se în final pentru cel care avea consumul energetic minim și asigură la 14 ore de la turnare rezistența la compresiune a betonului necesară pentru decofrare și manipulare.

Prin utilizarea aditivului VIMC 22 (1,2%; 1,5%) /140/ la realizarea betoanelor cu raport s/c redus, prin aplicarea tratamentului termic se obțin sporuri de rezistență la decofrare de 25-65% și de 10-30% la 28 zile față de probele martor. Parțial s-a redus și ciclul de tratament termic.

În străinătate s-a urmărit în special creșterea rezistențelor inițiale ale betoanelor.

Prin utilizarea tratamentului termic la betoane cu raport s/c redus (0,31-0,38) la care s-au folosit aditivii superplastifianți MIGHTY 150 (1,2%; 1,8% soluție), SIKAMBIT (2,5% soluție) și LOMAR D (1% pulbere) /91/, se obțin la 8 ore rezistențe la compresiune cuprinse între 31,5-59,5 MPa la dozaaje de ciment de 560-700 kg/m<sup>3</sup> și între 21,2-41,03 MPa la dozaaje de ciment de 332-415 kg/m<sup>3</sup>, iar la 24 ore, rezistențe cuprinse între 52,10-87,60 MPa, respectiv între 35,92-60,4 MPa.

Prin utilizarea aditivului superplastifiant RHEOMAC 877 /24/ (0,4% substanță uscată) la betoane cu raport s/c=0,27 și ciment portland cu conținut de C<sub>3</sub>A=2,1%, prin tratament termic s-au obținut rezistențe la compresiune la 1 zi mai mari de 60 N/mm<sup>2</sup> iar la 90 zile de 100 N/mm<sup>2</sup>. Față de betoanele martor se obțin creșteri de rezistență la compresiune de peste 70% la 1 zi și de peste 30% la 90 zile. În /161/ se prezintă influența aditivilor tip MFS și MFS utilizați la betoanele cu ciment - cenușă zburătoare asupra duratei tratamentului termic. Astfel, la 12 ore de la turnare se obțin rezistențe la compresiune de 41 MPa pentru betoane cu ciment - cenușă zburătoare (în raport 60/40). Fără aditivi, un beton similar stinge aceeași rezistență după 10 ore de tratament termic. Pentru cazul când s-ar utiliza ciment 100% și aditivi superplastifianți, s-ar putea elimina tratamentul termic.

reducerea raportului a/c și tratament termic se pot obține rezistențe la compresiune la 8 ore de 31,5-59,5 MPa /91/, la 12 ore de 41 MPa /161/, la 1 zi de 52,1-87,6 MPa /24/, /91/, iar la 90 zile de 100 MPa /24/. De asemenea se poate reduce parțial tratamentul termic cu 0-70%, /63/, /65/, /71/, /140/, sau total /161/.

### 3.2.1.10. Densitatea aparentă

Determinarea densității aparente s-a efectuat în majoritatea cazurilor în paralel cu celelalte determinări pe betoanele proaspete /4/, /24/, /46/, /59/, /65/, /69/, /72/, /92/, /95/, /99/, /111/, /112/, /125/, /133/, /140/, /142/, /145/, /149/, /152/.

S-a constatat că prin utilizarea aditivilor superplastifianți, care au ca efect principal superfluidifierea amestecurilor de beton (clasele 1,2 conform clasificării după efectul la utilizare, cap.2 §.2.2.2. tab.2.4. și care constituie marea majoritate a aditivilor utilizați în prezent), densitatea aparentă a betoanelor proaspete cu aditivi este apropiată de cea a betoanelor martor pentru betoanele cu raport a/c egal și egală sau mai mare la betoanele cu lucrabilitate egală (raport a/c redus). De exemplu, densitatea aparentă a betoanelor proaspete cu aditivi VIMC 11 la același raport a/c cu betoanele martor variază în limitele  $\pm 1\%$ , iar la raport a/c redus este mai mare cu 0,5-4,0% față de cea a betoanelor martor. La betoanele cu VIMC 22 ea variază între 0,5-2% respectiv -1,0 $\pm$ 2,0% /65/.

### 3.2.1.11. Volumul de aer occlus

Determinarea volumului de aer occlus în betoanele proaspete este o încercare obligatorie când se realizează betoane cu aditivi superplastifianți, întrucât efectele acestora asupra betoanelor grele poate avea urmări negative asupra unor caracteristici fizico-mecanice (în special asupra densității aparente, rezistențelor mecanice), în cazul în care se depășește valoarea maximă admisă în beton. Marea majoritate a cercetărilor întreprinse în țară și străinătate au urmărit aceste aspecte /4/, /24/, /33/, /50/, /51/, /54/, /65/, /85/, /92/, /95/, /99/, /103/, /105/, /112/, /122/, /124/, /133/, /142/, /145/, /149/, /152/, /161/, /167/.

S-a constatat că aditivul superplastifiant VIMC 11 (MFS) entrenează foarte puțin aer în beton pe când cei de tip FLOBBET (MFS) și VIMC 22

(NFS) întreținează aer suplimentar în beton, valcările înscriindu-se în cele recomandate în instrucțiunile pentru calculul compoziției betoanelor, ele fiind de 2% /174/, 5% /175/ respectiv 3% /173/. La betoanele cu același raport s/c, prin utilizarea aditivului MIGHTY volumul de aer oclus variază între 0,6-1,1%, iar prin utilizarea aditivului LIGNIN SULFONATE între 3,9-10,0% față de 0,8% la betoanele martor /51/. Volumul de aer oclus la betoanele cu raport s/c redus variază între 1,1-1,7% la betoanele cu aditiv MIGHTY și între 3,1-10,0% la betoanele cu LIGNIN SULFONATE /51/.

La betoanele cu aditiv superplastifiant MIGHTY 150-RD 2 /4/ cu raport s/c egal cu al betoanelor martor, volumul de aer oclus variază între 1,8-4,4% (la doze de aditiv de 0,3-0,5% soluție) față de 3,8% la betonul martor. Aditivul LOMAR D la dozaj de 1,5% soluție introduce în beton un volum de aer de 1,4% față de 2,0% la betonul martor la același raport s/c, iar aditivul WALCOPLAST (0,98%) introduce un volum de aer de 3% față de 2% la betonul martor/133/. La betoanele cu același raport s/c aditivul MELMENT L 10 (1-3% soluție) introduce un volum de aer de 4,8-5,2%, iar aditivul MULCOPLAST CF (1-3% soluție) introduce un volum de aer de 6-6,8% față de betonul martor care are 4,8-5,4% (în care s-a introdus un aditiv antrenor de aer) /99/.

De asemenea s-a constatat că volumul de aer oclus scade în timp, în intervalul cercetat, de 0-cca.300 minute de la prepararea betonului /63/,/65/,/112/,/142/.

### 3.2.1.12. Tendințe de segregare

Cercetări propriu-zise privind segregarea betoanelor cu aditivi superplastifianți publicate în literatura de specialitate sînt puține deși referiri la fenomenul de segregare se fac în unele lucrări în care s-a studiat efectul aditivilor superplastifianților asupra proprietăților betoanelor proaspete și în care s-a constatat că la procentele uzuale de aditiv nu apare tendințe de segregare /43/,/52/,/54/,/58/,/99/,/105/,/139/,/142/,/144/,/161/,/175/.

În lucrarea /99/ se prezintă influența aditivilor superplastifianți asupra segregării betonului prin tipul și procentul de aditiv utilizat. S-au folosit 3 aditivi superplastifianți: MELMENT L 10 (MFS) în proporție de 2% soluție din cantitatea de ciment, MIGHTY 150 (NFS) 1% și MULCOPLAST CF (LSCM) 2%. Din examinarea vizuală a eșantionurilor a rezultat că nu apar segregări semnificative chier și cînd aditivii s-au utilizat la dozele maxime recomandate. La utilizarea aditivului MIGHTY 150 în proporție de 10% s-a constatat o segregare

gare completă a agregatelor de matricea de ciment și o întârziere a începutului de priză cu câteva ore. Betonul cel mai coeziv a fost realizat cu aditivul MULCOPLAST CF.

### 3.2.1.13. Timpul de priză

Rezultate ale cercetărilor privind timpul de priză al betoanelor cu aditivi superplastifianți sînt prezentate în lucrările /4/, /85/, /92/, /99/, /112/, /123/, /124/.

În lucrarea /99/ se prezintă influența aditivilor superplastifianți MELMENT L 10, MIGHTY 150 și MULCOPLAST CF la dozajele ale 1, 2, 3% soluție aditiv din cantitatea de ciment asupra timpului de priză (fig.3.33).

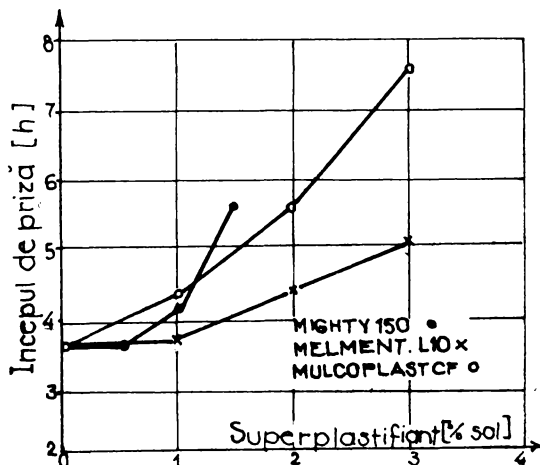


Fig.3.33. Inceputul de priză al betoanelor cu aditivi superplastifianți MIGHTY 150, MELMENT L 10 și MULCOPLAST CF în funcție de dozajul de aditiv /99/.

Se constată că toți aditivii au un efect de întârziere al începutului de priză față de betonul martor, în condițiile aceleiași raport a/c. La dozajele recomandate de 2% pentru MELMENT L 10 (MFS), 1% pentru MIGHTY 150 (NFS) și 2% pentru MULCOPLAST CF (LSCM), începutul de priză a fost cel mai puțin afectat de MELMENT L 10 urmat de MIGHTY 150 și MULCOPLAST CF. La dozajul superior de MULCOPLAST CF întârzierea timpului de început de priză este de cca 4 ore față de cel al betonului martor care este de 3 ore și 50 de minute.

Prin utilizarea aditivului superplastifiant cu efect de întârziator MIGHTY 150-RD2 /4/ se obține pentru betoanele fluide o întârziere a începutului de priză de 1,3-5,3 ore în condițiile utilizării aditivului în proporție de 0,3-0,5% soluție din cantitatea de ciment.

Influența tipului de aditiv superplastifiant și a timpului de adăugare a aditivului în amestec asupra timpului de priză este prezentată în /124/. S-au utilizat aditivi de tip MFS și NFS adăugați în timpul amestecării iar betoanele au avut un raport a/c redus față de betonul martor.

S-a constatat o ușoară întârziere a începutului de priză (cu 15-30 minute la aditivul tip NFS și cu 5-15 minute la aditivul MFS) față de betonul martor. De asemenea aditivul tip NFS întârzie puțin și sfârșitul de priză (cu 5-10 minute) în timp ce aditivul tip MFS are un efect de ușoară accelerare a sfârșitului de priză (cu 5-10 minute) față de betonul martor.

Utilizând aditivul tip NFS s-au realizat 2 amestecuri la care aditivul s-a introdus inițial (0,48%), respectiv la 6 minute de la preparare (0,64%). Deși cantitățile de aditiv sînt puțin diferite, în cazul al doilea s-a produs o întârziere apreciabilă atât a începutului de priză (cca.80 minute) cît și a sfârșitului de priză (cca. 140 minute), față de primul caz care a întârziat atât începutul cît și sfârșitul de priză cu cca.20 minute față de betonul martor.

Influența aditivilor de tip MFS și LSCM asupra timpului de priză este prezentată și în lucrarea /92/. La betoanele cu același raport a/c s-a constatat că timpul de început de priză este cu cca 1 oră mai mare la betonul cu aditiv tip LSCM față de betonul martor iar la cel cu aditiv MFS creșterea este nesemnificativă. În cazul betoanelor cu raport a/c redus, timpul de priză la betoanele cu aditivi este redus față de cel a betoanelor martor, aceasta chiar și în cazul utilizării aditivului de tip LSCM spre deosebire de alți aditivi de același tip care întârzie substanțial atât începutul cît și sfârșitul de priză.

În lucrarea /112/ s-a urmărit efectul unui aditiv de tip MFS asupra timpului de priză al betonului la 3 doze de ciment de 311,36 și 415 kg/m<sup>3</sup>, betoanele rezultîndu-se la aceeași lucrabilitate de 7,5 cm (a/c redus).

Pentru fiecare doză de ciment s-au realizat 2 amestecuri de beton cu aditivi și un amestec martor. Amestecul nr.1 a fost realizat cu aditiv superplastifiant MFS (1,5%) și aditiv reducător de apă clasic (0,44%) iar amestecul nr.2 numai cu aditiv superplastifiant tip MFS (1,4% soluție din cantitatea de ciment). S-a constatat că

adăugarea aditivului superplastifiant la amestecul nr.1 (care a conținut un aditiv reducător clasic) la fiecare grupă de betoane, (cu cele 3 dozaaje de ciment) a avut un efect de întârziere (de aproximativ 1/2 h), în timp ce adăugarea la amestecul nr.2 a avut un efect de ușoară accelerare (de aproximativ 20 minute) a timpului de priză, comparativ cu amestecul martor.

Aditivii superplastifianți utilizați la realizarea betoanelor au următoarele efecte:

- la raport s/c egal întârzie începutul de priză cu 1 oră /92/ la 4 ore /99/. În cazul utilizării aditivilor întârziatori, începutul de priză se poate prelungi cu pînă la 5,3 ore față de betonul martor /4/.

- la raport s/c egal de regulă se accelerează începutul de priză față de betonul martor (cca 20 minute /112/) respectiv sfîrșitul de priză (cu 5-15 minute /124/) existînd și cazuri de ușoară prelungire a timpului de priză /112/, /124/. De asemenea timpul de priză este influențat de tipul și procentul de aditiv, de timpul de adăugare a aditivului în amestec, de temperatura mediului și compoziție betonului.

### 3.2.2. Influența aditivilor superplastifianți asupra proprietăților betoanelor în stare întărită

Din studiul literaturii de specialitate din țară și străinătate rezultă că proprietățile betoanelor cu aditivi superplastifianți în stare întărită trebuie discutate în funcție de tipul betonului : beton cu lucrabilitate îmbunătățită (de regulă beton fluid) sau beton cu lucrabilitate egală (de regulă beton cu rezistență superioară).

Proprietățile betoanelor întărite au fost studiate după cum urmează :

- rezistența la compresiune ;
- rezistența la întindere ;
- rezistența la încovoiere ;
- aderența ;
- rezistența la îngheț-dezghet ;
- modulul de elasticitate static și coeficientul lui Poisson ;
- modulul de elasticitate dinamic ;
- densitatea aparentă ;



- permeabilitatea ;
- rezistența la șoc ;
- contracția ;
- dilatarea termică ;
- curgerea lentă.

### 3.2.2.1. Rezistența la compresiune

Rezistența la compresiune a betoanelor întărite ca de altfel și celelalte proprietăți ale betoanelor cu aditivi superplastifianți este discutată în literatura de specialitate în principal sub 2 aspecte, în funcție de cantitatea de apă folosită la preparare /24/, /32/, /33/, /46/, /50/, /53/, /54/, /55/, /57/, /59/, /63/, /65/, /68/, /76/, /85/, /91/, /102/, /104/, /111/, /112/, /114/, /122/, /124/, /133/, /139/, /140/, /142/, /148/, /149/, /153/, /161/.

Betoanele fluide sînt realizate la raport a/c egal cu al betoanelor martor și au lucrabilitatea mult îmbunătățită. Rezistențele lor mecanice la 28 zile, precum și celelalte performanțe tehnice sînt practic egale cu ale betoanelor martor, în limite de  $\pm 5\%$  (în /133/ se arată că prin utilizarea aditivului superplastifiant MULCOPLAST CF LSCM - se constată reduceri ale rezistenței la compresiune la 28 zile față de martor de 5-15%). La aceste betoane se poate reduce parțial sau total vibrarea.

Variația rezistențelor la compresiune a unor betoane martor și cu aditivi superplastifianți (VIMC 11, VIMC 22, MN 35, S20 și MC) la raport a/c egal este prezentată în fig.3.34 /65/.

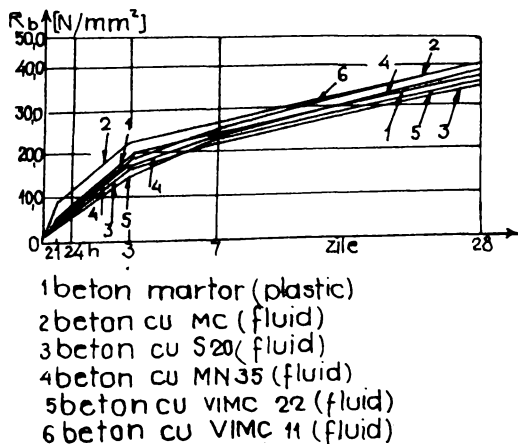


Fig.3.34. Variația rezistențelor la compresiune ale betoanelor martor și cu diverși superplastifianți la raport a/c egal /65/.

Se constată că rezistențele la compresiune la 28 zile ale betoanelor cu aditivi sînt apropiate de cele ale betoanelor martor.

Betoanele cu lucrabilitate egală se realizează la raport a/c redus față de betonul martor (dozaj de ciment egal și cantitate de apă de preparare redusă). În acest fel se pot obține rezistențe mecanice și caracteristici tehnice superioare betoanelor martor, se poate reduce durata tratamentului termic, se scurtează timpul de decofrare etc.

La rezistențe mecanice egale se poate urmări reducerea doza-  
jului de ciment.

Prin utilizarea aditivilor superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22 /65/ la realizarea betoanelor cu lucrabilitate egală, prin reducerea cantității de apă de preparare cu 14-28% în funcție de tipul și dozejul de aditiv, tipul și dozejul de ciment, în condiții normale de întărire, se pot obține rezistențe inițiale superioare cu 30-150% iar la 28-90 zile de la preparare se pot obține rezistențe mai mari cu 15-40% comparativ cu betonul martor.

Varietia rezistențelor la compresiune a betoanelor cu FLUBET /32/ la raport a/c redus cu 21-23% față de betonul martor este prezentată în fig.3.35.

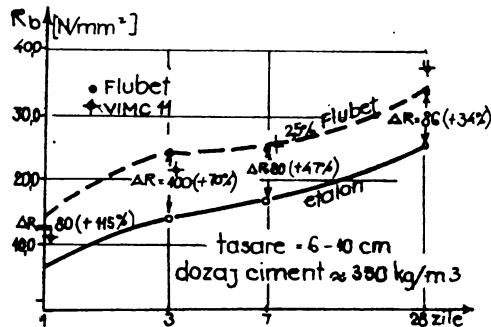


Fig.3.35. Variația în timp a rezistenței la compresiune a betoanelor cu aditiv superplastifiant FLUBET la raport a/c redus /32/.

Se constată creșteri de rezistență la 1 zi de 115%, iar la 28 zile de 34%.

Prin utilizarea aditivului superplastifiant MIGHTY 150 /51/ se reduce raportul a/c cu 5,4-25,9% față de martor (la o tasare de  $8 \pm 1$  cm), obținându-se sporuri de rezistență la 28 zile de 23,4-53,7% (dozaj ciment portland obișnuit de  $400 \text{ kg/m}^3$  și aditiv 0,25-

1,0% substanță uscată dir cantitatea de ciment), 16,3-36,9% (dozaj ciment  $500 \text{ kg/m}^3$ ) și 11,1-35,1% (dozaj de ciment  $600 \text{ kg/m}^3$ ).

Aditivul superplastifiant MELMELT L 10 /2/ în cantitate de 2,5-5,0% soluție din cantitatea de ciment reduce raportul a/c cu 17,8-24,5% obținându-se la 1 an de la preparare rezistența la compresiune de  $83,5-85,1 \text{ N/mm}^2$  față de  $78,1 \text{ N/mm}^2$  cât are betonul martor.

Aditivul LIGNINSULFONATE /51/ reduce raportul a/c cu 10-16% (la un dozaj de aditiv de 0,25-1% substanță uscată dir cantitatea de ciment), iar rezistențele la compresiune la 28 zile sînt cu 16,2-22,4% mai ridicate decît cele ale betonului martor (la reducerea cantității de apă de preparare cu 10-12% și procente de aditiv de 0,25-0,50; la procentul de aditiv 1% rezistența la compresiune scade sub valoarea martorului).

Din cele prezentate, corelate cu celelalte date referitoare la posibilitățile de reducere a raportului a/c din paragraful 3, se constată că prin reducerea raportului a/c cu 10-33% față de betonul martor, se pot obține creșteri de rezistență la 1 zi, în condiții normale de întărire, cuprinse între 30-150% /32/, /65/, iar la 28 zile de 15-53,7% : 15-40 /65/, 16,2-22,4 /51/, 34 /32/, 23,4-57,3 /51/.

Aceste sporuri de rezistență depind de tipul și procentul de aditiv superplastifiant precum și de compoziția betonului. Prin utilizarea aditivilor superplastifianți la realizarea betoanelor cu raport a/c redus devine posibilă, în condiții normale de întărire, obținerea rezistențelor la compresiune de la 7 zile în 3 zile, iar cea de 28 zile în 7 zile /54/.

În cadrul acestui tip de betoane se găsesc și betoanele de înaltă rezistență (sau ultrarezistente).

În țara noastră sînt considerate betoane de înaltă rezistență betoanele Bc50(B600)-Bc60(B800) pentru care există instrucțiuni și s-au efectuat cercetări privind utilizarea la realizarea lor a aditivilor superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22 /59/, /63/, /71/, /173/, /174/, /177/ și FLUBET /175/, /181/.

În /71/ se arată că cercetările efectuate la I.C.P.M.C. au condus la obținerea unor betoane cu lianți minerali cu rezistențe de  $60,0-125,0 \text{ N/mm}^2$  la 28 zile. Betoanele cu rezistențe peste  $90-100 \text{ N/mm}^2$  necesită materiale riguros selecționate și tehnologii adecvate, dar betoanele de clasă Bc50(B600)-Bc60(B800) se pot realiza cu actualele tehnologii atît prin utilizarea superplastifianților, cît și fără ei.

În ultime perioadă de timp și la noi în țară s-au dezvoltat 2

direcții în realizarea betoanelor de înaltă rezistență /67/ sau de înaltă performanță /69/ :

- utilizarea superplastifiantilor de tip MFS și NFS ;
- utilizarea superplastifiantilor de tip MFS și NFS în combinație cu silice ultrafină (SUF).

În străinătate, prin utilizarea aditivilor superplastifianti este raportată obținerea unor betoane care au rezistența la compresiune la 28 zile de peste 115 MPa /161/. Cele mai bune rezultate în direcția obținerii de betoane de înaltă rezistență (ultrarezistente) sînt cele obținute prin utilizarea aditivului superplastifiant MIGHTY 150, care poate reduce raportul a/c cu pînă la 33% /50/, /51/. Pentru obținerea de betoane de înaltă rezistență se recomandă următoarele căi /50/ :

- Metoda deshidratării Yoshida ;
- Adăugarea de pref de silice în procent de 30-40% din cantitatea de ciment, urmată de tratament termic în autoclave ;
- reducerea raportului a/c cît mai mult posibil prin utilizarea superplastifiantilor.

Prin utilizarea aditivului superplastifiant MIGHTY 150 (2,95% soluție) a unui ciment portland cu rezistență inițială mare în dozaj de  $512 \text{ kg/m}^3$ , raportul a/c=0,25, tasarea de 10,8 cm, aer occlus 0,8%, s-a obținut o rezistență la compresiune la 1 zi de  $47,2 \text{ N/mm}^2$ , la 7 zile de  $93,8 \text{ N/mm}^2$ , iar la 28 zile de  $110,8 \text{ N/mm}^2$  /50/.

### 3.2.2.2. Rezistența la întindere

Cercetări care au efectuat această determinare sînt : /32/, /50/, /99/, /102/, /104/, /112/, /148/, /149/, /161/.

Pe betoanele preparate cu aditiv superplastifiant FLUBET obișnuite /32/, de pompă cu cenușă de termocentrală /149/ și cu sdsos de cenușă pentru ecrane de etanșare /148/ s-a determinat rezistența la întindere.

Pentru betonul obișnuit /32/ cu doze de ciment de 300-600  $\text{kg/m}^3$ , agregat 0-16 mm tasare 6-10 cm și 2,5% FLUBET, rezistența la întindere din încovoiere la 28 zile variază între 3,2-4,8  $\text{N/mm}^2$  fiind în general cu 0,4  $\text{N/mm}^2$  mai mare decît cea obținută pe betoanele fără aditivi.

Pentru betonul pompat cu aditiv superplastifiant FLUBET /149/ s-a utilizat agregat 0-31 mm, 3 doze de ciment M30 (305, 325 și 350  $\text{kg/m}^3$  ; la cel de 305  $\text{kg/m}^3$  s-a adăugat 75  $\text{kg/m}^3$  cenușă ca înlocuitor de ciment și nisip 0/3 mm) . Aditivul s-a utilizat în proporție de

FLUBET

2%, iar tasarea betoanelor a fost de  $7 \pm 0,5$  cm. Rezistența la întindere a avut la 28 zile valorile de  $2,9 \text{ N/mm}^2$  (dozaj ciment  $305 \text{ kg/m}^3$  + cenușă de termocentrală  $75 \text{ kg/m}^3$ ) și  $3,2 \text{ N/mm}^2$  (dozaj de ciment  $350 \text{ kg/m}^3$ ) față de rezistența la compresiune care a variat între  $31,0$ - $34,0 \text{ N/mm}^2$ .

Pentru betonul cu aditiv de cenușă pentru ecranare de etanșare prin utilizare tot de aditiv FLOBBET /148/ s-a folosit ciment M3 35 în dozele de  $225 \text{ kg/m}^3$  +  $150 \text{ kg/m}^3$  cenușă,  $300$  și  $350 \text{ kg/m}^3$ . Aditivul s-a utilizat în proporție de  $1,5\%$ , iar tasarea inițială a betoanelor a variat între  $17,1$ - $24$  cm. Rezistența la întindere la 28 zile a variat între  $1,7$ - $2,1 \text{ N/mm}^2$  față de rezistența la compresiune care a variat între  $24,4$ - $25,2 \text{ N/mm}^2$ .

Influența aditivului superplastifiant MIGHTY 150 /50/ asupra rezistenței la întindere prin despicare ( $R_{td}$ ) pe cilindri ( $100 \times 200$  mm) s-a efectuat în paralel pe beton mător ( $a/c=0,55$ ) și pe betoane cu aditiv cu diferite rapoarte  $a/c=0,25$ - $0,50$  cu tasări cuprinse între  $9,3$ - $10,8$  cm. Cimentul utilizat a fost de tip portland cu rezistență inițială mare. S-a constatat că rezistența la întindere crește cu scăderea raportului  $a/c$ , în paralel cu creșterea rezistenței la compresiune.

Raportul  $\frac{R_{td}}{R_b}$  scade cu scăderea raportului  $a/c$ . El are pentru betonul mător ( $a/c=0,55$ ) valoarea de  $0,083$  ( $R_b=41,6 \text{ N/mm}^2$ ,  $R_{td}=3,5 \text{ N/mm}^2$ ) iar pentru betoanele cu aditivul MIGHTY 150 are următoarele valori: la raport  $a/c=0,50$  de  $0,071$  ( $R_b=57,7 \text{ N/mm}^2$ ,  $R_{td}=3,7 \text{ N/mm}^2$ ), iar la raport  $a/c=0,25$  de  $0,061$  ( $R_b=110,7 \text{ N/mm}^2$ ,  $R_{td}=6,8 \text{ N/mm}^2$ ).

Rezistența la întindere prin despicare pe cilindri ( $51 \times 102$  mm) prin utilizarea de aditivi superplastifianți HR (MFS, MFS) este prezentată în /161/. S-a utilizat ciment - cenușă zburătoare, agregate  $0,19$  mm, probele fiind supuse la tratament termic prin diferite procedee.

Rezistența la întindere prin despicare la 28 zile variază între  $4,2$ - $5,8$  MPa, iar rezistența la compresiune corespunzătoare între  $56$ - $77$  MPa, ceea ce corespunde unui raport  $\frac{R_{td}}{R_b}$  de cea.  $0,076$  pentru toate probele supuse la tratament termic.

Se consideră că această valoare aproximează în mod corespunzător valoarea considerată de Abeles de  $0,077$ - $0,0725$  pentru raportul dintre  $\frac{R_{td}}{R_b}$  pentru betoane cu rezistența la compresiune de  $6000$ - $8000$  psi ( $41$ - $55$  MPa). Excepție fac probele autoclavizate care au rezistența la compresiune peste  $11.000$  psi ( $77$  MPa).

Pe de altă parte Hishi și Oshio au publicat rezultatele unor

Încercări cu aditivi superplastifianți HR utilizați la realizarea unor betoane care s-au întărit în condiții normale și la care s-au folosit agregate de aceeași formă și dimensiuni ca în cercetarea din lucrare /161/. La 28 zile s-au obținut valori ale raportului  $R_{td}/R_b$  cuprinse între 0,064-0,057 pentru betoane cu rezistența la compresiune de 13.200-15.300 psi (92,4-107,1 MPa). Se apreciază că rezistența la întindere prin despicare pe cilindri nu crește în aceeași măsură cu creșterea lui  $R_b$ , ea atingând o valoare limită de circa 1000psi (7MPa).

Se desprind următoarele constatări în legătură cu rezistența la întindere a betoanelor cu aditivi superplastifianți:

- rezistența la întindere prin încovoiere ( $R_t$ ) și rezistența la despicare pe cilindri ( $R_{td}$ ) cresc cu creșterea rezistenței la compresiune ( $R_b$ ) și cu reducerea raportului  $a/c$  ;
- raportul  $R_{td}/R_b$  scade cu reducerea raportului  $a/c$  deoarece creșterea lui  $R_{td}$  este mai lentă decât a lui  $R_b$  (astfel, dacă prin scăderea raportului  $a/c$  de la 0,50 la 0,25,  $R_b$  crește de la 52,7  $N/mm^2$  la 110,7  $N/mm^2$  (> 2 ori) /50/. La aceeași concluzie se ajunge și în /161/ unde se constată că  $R_{td}$  nu crește în aceeași măsură cu  $R_b$ , ea atingând o valoare limită de cca.1000 psi (7 MPa) pentru betoanele cu  $R_b$  de cca.15.300 psi (107,1 MPa) . Valorile obținute pentru raportul  $R_{td}/R_b$  la betoanele cu aditivi superplastifianți variază între 0,076 ( $R_b=56$  MPa) /161/, 0,071 ( $R_b=52,7$   $N/mm^2$ ) /50/ și 0,061 ( $R_b=110,7$   $N/mm^2$ ) /50/, 0,064-0,057 ( $R_b=92,4-107,1$  MPa) /161/.

### 3.2.2.3. Rezistențe la încovoiere

Rezistențe la încovoiere a fost studiată în /24/, /50/, /99/, /102/, /104/, /112/, influența aditivului superplastifiant MIGHTY 150 /50/ asupra rezistenței la încovoiere s-a efectuat în paralel pe beton martor ( $a/c=0,55$ ) și pe betoane cu aditiv cu diferite rapoarte  $a/c=0,25-0,50$ . Cementul utilizat a fost de tip portland cu rezistență inițială mare, iar betoanele s-au realizat la țesări cuprinse între 9,3-10,8 cm. S-a constatat că rezistența la încovoiere crește cu scăderea raportului  $a/c$ , în paralel cu creșterea rezistenței la compresiune. La betonul martor ( $a/c=0,55$ ) s-a obținut la 28 zile o valoare a rezistenței la încovoiere ( $R_t$ ) de 5,1  $N/mm^2$  ( $R_b=41,6$   $N/mm^2$ ). La betoanele cu aditiv MIGHTY 150 s-au obținut valorile de 5,3  $N/mm^2$  ( $a/c=0,50$ ,  $R_b=52,7$   $N/mm^2$ ) și de 11,1  $N/mm^2$  ( $a/c=0,25$ ,  $R_b=110,7$   $N/mm^2$ ).

Raportul  $R_1/R_b$  are valoarea 0,12 pentru betonul martor ( $a/c=0,55$ ) și de cca.0,10 pentru toate betoanele cu aditivul MIGHTY 150, indiferent de raportul lor  $a/c$  (0,10 pentru rapoartele  $a/c=0,25; 0,45; 0,50; 0,098$  pentru rapoartele  $a/c=0,35$  și  $0,40$  și de 0,096 pentru raportul  $a/c=0,30$ ).

Influența unui aditiv superplastifiant tip MFS (1,5%) asupra rezistenței la încovoiere a unor betoane cu 3 dozaaje diferite de ciment 311, 363 și  $415 \text{ kg/m}^3$  se prezintă în /112/. Betoanele s-au realizat la aceeași tasare de 7,5 cm iar rapoartele  $a/c$  utilizate au fost de 0,48 la primul dozaaj de ciment, 0,43 la al doilea și de 0,38 la al treilea dozaaj. S-a constatat că rezistența la încovoiere la 28 zile crește cu creșterea dozajului de ciment și cu reducerea raportului  $a/c$ . La betonul martor la cele 3 dozaaje de ciment s-au obținut valorile de 4,9 MPa ( $R_b=42,1 \text{ MPa}$ ), 4,7 MPa ( $R_b=46,1 \text{ MPa}$ ) și 5,8 MPa ( $R_b=49,8 \text{ MPa}$ ), iar la cel cu aditiv superplastifiant MFS s-au obținut valorile de 4,9 MPa ( $R_b=40,3 \text{ MPa}$ ), 5,0 MPa ( $R_b=44,3 \text{ MPa}$ ) și 5,0 MPa ( $R_b=46,1 \text{ MPa}$ ). Se precizează că valorile mai reduse ale rezistențelor la betoanele cu aditiv superplastifiant se datoresc unui volum de aer antrenat cu 1% mai mare decât la amestecurile martor.

În /24/ s-au utilizat aditivii superplastifianți RHEOMAC 716 și RHEOMAC 877, 3 tipuri de ciment și 2 dozaaje de ciment (400 și  $500 \text{ kg/m}^3$ ). S-a constatat că rezistența la încovoiere depinde de tipul de ciment și crește cu creșterea dozajului de ciment. Valorile rezistenței la încovoiere la 28 zile la betonul martor variază între  $4,7 \text{ N/mm}^2$  ( $R_b=75,2 \text{ N/mm}^2$ ) și  $6,0 \text{ N/mm}^2$  ( $R_b=63,7 \text{ N/mm}^2$ ), iar la betoanele cu aditivii superplastifianți între  $5,6 \text{ N/mm}^2$  ( $R_b=72,9 \text{ N/mm}^2$ ) și  $8,9 \text{ N/mm}^2$  ( $R_b=94,1 \text{ N/mm}^2$ ). Și /99/ constată că tipul și procentul de aditiv influențează rezistența la încovoiere. S-au utilizat aditivii superplastifianți MIGHTY 150, MELBENT L 10 și MULCOPLAST CF la diferite dozaaje. Betoanele s-au realizat la raportul  $a/c=42$ , iar dozaajul de ciment a fost de  $379 \text{ kg/m}^3$ .

Variația rezistenței la încovoiere la 14 zile în funcție de tipul și procentul de aditiv este prezentată în fig.3.36.

Se constată că la dozaajele de aditiv recomandate (MELBENT L 10 -2%, MIGHTY 150-1%, MULCOPLAST CF 2%) rezistența la încovoiere determinată pe prisme ( $89 \times 102 \times 406 \text{ mm}$ ) este apropiată de cea a betonului martor fără aditiv antrenor de aer și cu aditiv antrenor de aer, cu excepția betonului cu aditiv MULCOPLAST CF la care rezistența scade cu cca.10%. Rezistența la încovoiere a betonului cu aditiv MELBENT L 10 crește continuu cu creșterea procentului de aditiv ajungând la 3%

la 7,24 MPa față de 6,89 MPa cit are betonul martor cu aditiv antrenor de aer, iar cea a aditivului MIGHTY 150 scade la procentul maxim de 1,5% la 669 MPa, scădere considerată nesemnificativă față de martor.

Se constată că rezistența la încovoiere :

- depinde de tipul și procentul de aditiv superplastifiant utilizat /24/,/99/,/102/,/104/,/112/, precum și de tipul și dozeajul de ciment utilizat /24/,/112/ ;
- are valorile apropiate de cele ale betonului martor dacă betoanele cu aditivi au același raport a/c /99/ și mai mari decât raportul a/c se reduce față de betonul martor /24/,/50/,/102/,/104/,/112/.

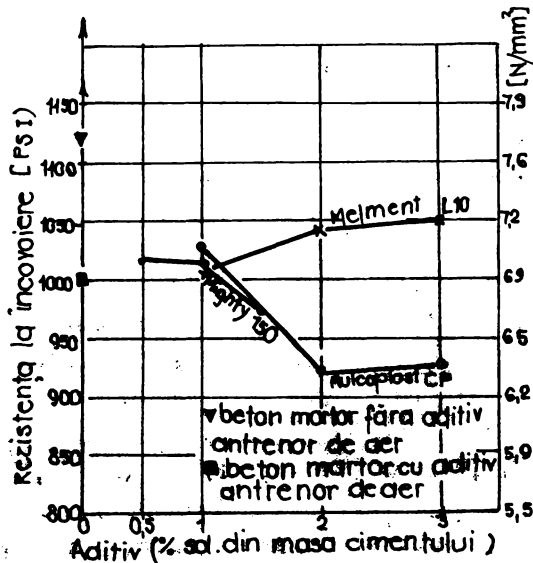


Fig.3.36. Variația rezistenței la încovoiere la 14 zile a betoanelor cu aditivi superplastifianți MELMENT L 10, MIGHTY 150 și MULCOPLAST CF în funcție de dozeajul de aditiv /99/.

De asemenea din /50/ rezultă că  $R_1/R_b = 0,10$  indiferent de raportul a/c ceea ce arată că ambele cresc în aceeași proporție cu scăderea raportului a/c. Această valoare este apropiată și de cea obținută în lucrarea /112/ de 0,10-0,12.

#### 3.2.2.4. Aderența

Cercetările privind aderența betoanelor cu aditivi superplastifianți su fost puține /24/,/32/,/50/,/59/.



Cercetările efectuate prin metoda directă privind aderența betoanelor cu aditiv superplastifiant VIMC 11/59/ la armături cu profil normal, periodic sau toroane, au arătat că aderența betoanelor la toate tipurile de armături este egală sau mai bună. De asemenea s-a constatat că valorile aderenței cresc ușor cu procentul de VIMC 11.

Prin utilizarea aditivului FLUBET /32/ la betoane cu raport a/c redus, dozaaje de ciment 300-600 kg/m<sup>3</sup> la 28 zile, aderența la armătură, independent de dozajul de ciment s-a înscris în jurul valorii de 4,0 N/mm<sup>2</sup>, fiind cu cea, 0,8 N/mm<sup>2</sup> superioară față de cea a betonului martor.

Aderența este prezentată în comparație cu rezistența la compresiune și raportul a/c pentru betoane cu aditiv superplastifiant MIGHTY 150 (raportul a/c=0,55 este la betonul martor și apoi pînă la a/c=0,25 sînt cele ale betoanelor cu aditiv) /50/. S-a utilizat un ciment portland cu rezistențe inițiale mari. Aderența crește cu scăderea raportului a/c, ea reprezentînd pentru betoanele cu aditivi, la 28 zile, cca.30% din rezistența la compresiune, indiferent de valoarea raportului a/c, în timp ce la betonul martor ea reprezintă cca. 50% din rezistența la compresiune.

În /24/ se prezintă influența aditivilor superplastifianți RHEOMAC 716 și RHEOMAC 877 utilizați în proporție de 0,4% substanță uscată din cantitatea de ciment, asupra aderenței la betoane realizate cu dozaaje de ciment de 400-500 kg/m<sup>3</sup>. S-au utilizat bare netede și profilate, cu diametrul de 20 mm.

S-a constatat că aderența este influențată de tipul de aditiv (RHEOMAC 877 avînd un efect mai bun), de lucrabilitatea inițială a betonului, precum și de natura suprafeței barei.

Astfel, pentru betonul martor cu dozaj de ciment de 400 kg/m<sup>3</sup> și tasare de 10 cm, valcarea aderenței la 28 zile pentru barele netede este de 1,3 N/mm<sup>2</sup>, iar pentru barele profilate de 15,2 N/mm<sup>2</sup>. Pentru betonul cu aditiv RHEOMAC 877, la același dozaj de ciment, tasare 22 cm, valoarea aderenței la 28 zile este de 4,0 N/mm<sup>2</sup> pentru barele netede și de 28,5 N/mm<sup>2</sup> pentru barele profilate. Din cele prezentate rezultă că aderența este influențată de tipul și procentul de aditiv superplastifiant, de lucrabilitatea inițială a betonului, precum și de profilul barei utilizate.

### 3.2.2.5. Rezistența la îngheț-dezghet

Rezultate ale cercetărilor efectuate asupra rezistenței la

îngheț-dezgeț ale betoanelor cu aditivi superplastifianți au fost publicate atât în țară, cât și în străinătate /18/, /33/, /50/, /54/, /59/, /60/, /63/, /65/, /71/, /88/, /92/, /99/, /102/, /105/, /112/, /121/, /124/, /133/, /145/, /138/.

Incercările efectuate pe betoane la care s-au utilizat aditivii superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22 /59/, /60/, /63/, /65/, /71/, au arătat că betoanele fluide au rezistența la cicluri de îngheț-dezgeț repetat de 0,98-1,1 ori comparativ cu betoanele martor, iar betoanele cu lucrabilitate egală, datorită reducerii cantității de apă de preparare au rezistența la cicluri de îngheț-dezgeț repetat mai mare de 1,4-2,3 ori comparativ cu betoanele martor, în funcție și de compoziția betonului (rezistind la 150-300 cicluri), (fig.3.37)

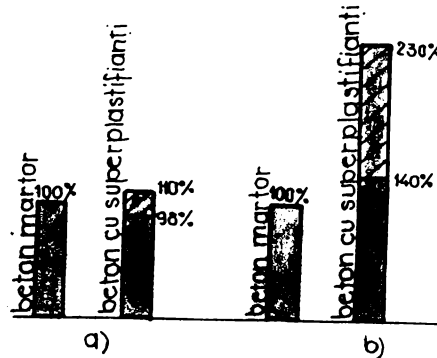


Fig.3.37. Variația rezistențelor betoanelor cu diferite cimenturi și superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22 la cicluri îngheț-dezgeț, comparativ cu betonul martor /63/, /65/, /71/.

- a) beton fluid (tasare beton martor, T=7,4-7,6 cm; tasare beton cu superplastifianți T=22,6-24,6 cm)
- b) beton cu lucrabilitate egală și raport a/c redus (tasare beton martor și cu superplastifianți, T=3,0-6,0 cm).

De asemenea prin utilizarea superplastifianților VIMC 11 și VIMC 22 se asigură rezistențe superioare la acțiunea fenomenului de îngheț-dezgeț repetat atât betoanelor cu cenusă la preparare (care rezistă 75-100 cicluri), cât și betoanelor întărite cu tratament termic.

Comportarea la îngheț-dezgeț a betoanelor cu activ superplastifiant FLUBET se prezintă în fig.3.38 a/33/.

Comportarea la gelivitate urmărită pînă la 225 cicluri pe betoane de consistență fluidă (tasarea între 15-20 cm) și ciment fără adaos (în dozaj de 300 și 350 kg/m<sup>3</sup>) este mult îmbunătățită prin utilizarea aditivului FLUBET. În cazul amestecului de beton fluid fără aditiv și dozaj de ciment de 300 kg/m<sup>3</sup>, comportarea la gelivitate este necorespunzătoare.

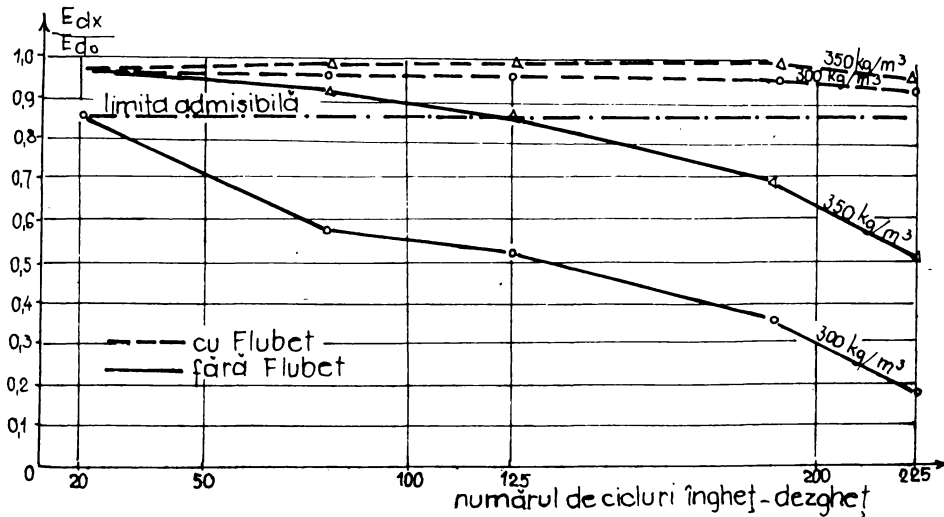


Fig.3.38.a Comportarea betoanelor cu aditiv superplastifiant FLUBET la îngheț-dezgeț /33/.

În literatura străină de specialitate rezistența la îngheț-dezgeț a betoanelor cu aditivi superplastifianți este privită din punctul de vedere al tipului de beton realizat (beton fără aer antrenat și beton cu aer antrenat), precum și a raportului s/c necesar a se realiza în ambele variante. Aprecierea propriu-zisă a rezistenței la îngheț-dezgeț se face prin diferite metode care vor fi precizate pe parcursul studiului bibliografic.

Influența aditivului superplastifiant MIGHTY 150 asupra rezistenței la compresiune a betoanelor este prezentată în /50/, /99/. În /50/ se arată că este în general acceptat ca expansiunea apei libere în betonul supus la îngheț îi cauzează distrugerea. Acest lucru conduce la ideea că eliminarea apei libere din beton este una din căile pentru îmbunătățirea rezistenței betonului la acțiunea înghețului și dezgețului. Pentru betoanele fără aer antrenat, rezistența la îngheț-dezgeț corespunzătoare pentru 300 de cicluri se asigură prin reali-

zarea unor betoane cu raport a/c de 0,26 (Goto), 0,30 (Kobayashi) și 0,35 (Saito). Se precizează ca Goto stabilește că pentru raport a/c=0,33 rezultatele sînt negative. Se consideră că rezistența la îngheț-dezghet este satisfăcătoare pentru betonul fără aer antrenat dacă raportul a/c mai mic decît 0,3. Pentru betoanele cu raportul a/c mai mare decît 0,3 este recomandată antrenarea la aer pentru îmbunătățirea rezistenței la îngheț-dezghet. S-a constatat că rezistența la îngheț-dezghet este sensibil îmbunătățită prin utilizarea în combinație cu MIGHTY 150 a unui aditiv antrenor de aer (VINSOL RESIN). S-a constatat de asemenea, că dozajul de antrenor de aer este ușor mai ridicat cînd se utilizează în combinație cu MIGHTY decît atunci cînd se utilizează singur (0,08% față de 0,06%).

Aditivul MIGHTY 150 s-a utilizat în proporție de 0,6-2,4% soluție din cantitatea de ciment. Rezistența la îngheț-dezghet s-a apreciat cu ajutorul factorului de distanță ( $\bar{L}$ ) și al factorului de durabilitate (LF).

S-a constatat că utilizarea aditivului superplastifiant MIGHTY 150 la realizarea betoanelor cu agregate cu dimensiunea maximă de 25 mm în combinație cu aditivi antrenori de aer (ex.VINSOL RESIN) contribuie la îmbunătățirea rezistenței la îngheț-dezghet a betoanelor prin asigurarea unui volum de aer antrenat de 4-5%, menținerea lui  $\bar{L}$  la valori mai mici decît 0,2 mm și a lui LF la valori de 98-106.

În /99/ s-a studiat rezistența la îngheț-dezghet a unor betoane cu raport a/c=0,42 și agregate cu dimensiunea maximă de 19 mm utilizîndu-se pe lîngă un aditiv antrenor de aer și aditivii superplastifianți MIGHTY 150 (0,5; 1,0; 1,5; 10%), MBIMENT L 10 (1%; 2%; 3%) și MULCOPLAST CF (1%; 2%; 3%). S-au efectuat 700 cicluri îngheț-dezghet iar aprecierea s-a făcut prin măsurarea masei, lungimii și a vitezei ultrasunetelor atît pe probele martor, cît și pe cele cu aditivi. Nu s-au observat diferențe sensibile între rezultatele obținute pe probele martor și pe cele cu aditivii superplastifianți, cu precizarea că probele la care s-a utilizat aditiv superplastifiant MIGHTY 150 în proporție de 10% s-au distrus complet după 60 cicluri de îngheț-dezghet.

Influența unor aditivi superplastifianți tip MFS și NFS asupra rezistenței la îngheț-dezghet a unor betoane încercate la 300 de cicluri este prezentată /105/, /112/, /124/, /145/. În /145/ betoanele martor s-au realizat cu raport a/c=0,42-0,43, iar cele cu aditivi cu raport a/c=0,32-0,35. Diametrul maxim al agregatelor folosite

a fost de 25 mm. Aprecierea s-a efectuat prin pierderea de masă și prin factorul de durabilitate. Se consideră că pierderea de masă <7% este indicația unei bune performanțe pentru 300 cicluri. Majoritatea betoanelor testate s-au încadrat în această valoare (betoanele martor = 1,1-5,1%, betoanele cu aditivi = 0,4-4,7%), doar unele din betoanele cu aditiv au avut valori mai mari (10,8 și 19,8%).

DF > 70 se consideră ca satisfăcător pentru 300 de cicluri, existând de asemenea amestecuri cu aditivi care s-au încadrat și care nu s-au încadrat. În /124/ s-au testat la 300 cicluri îngheț-dezgeț 1 probă martor ( $a/c=0,42$ ), 2 probe cu aditivii  $M_1$  și  $M_2$  (NFS) ( $a/c=0,32-0,34$ ) și  $M_1$  și  $M_2$  (MFS) ( $a/c=0,34-0,36$ ). S-a determinat  $\bar{L}$ , care trebuie să fie de maxim 0,2 mm (0,008 in.). S-a constatat că această condiție este îndeplinită numai de betoanele martor (0,007 in pe cînd cele cu aditivii  $M_1, M_2$  au valorile 0,010-0,012 in. iar cu  $M_1, M_2$  au valoarea 0,013 in.

În /105/ s-a urmărit influența aditivilor de tip MFS și NFS asupra rezistenței la îngheț-dezgeț, în cadrul betoanelor fără aer antrenat și cu aer antrenat, agregate cu diametrul maxim de 25 mm prin determinarea factorului de durabilitate (DF), a factorului de distanță ( $\bar{L}$ ) și  $\alpha$  suprafeței specifice ( $\alpha$ ). Betoanele fără aer antrenat au volumul de aer cuprins între 2,51-4,42%, iar cele cu aer antrenat între 4,22-9,09%. S-a constatat că  $\bar{L}$  are valori mai mari decît cele în general acceptate ca fiind necesare pentru asigurarea rezistenței la îngheț-dezgeț și anume în jur de 200  $\mu$  (0,008 in.). De asemenea  $\bar{L}$  nu se corelează destul de bine cu DF și se consideră că fiecare tip de aditiv superplastifiant produce propria relație de legătură între  $\bar{L}$  și DF.

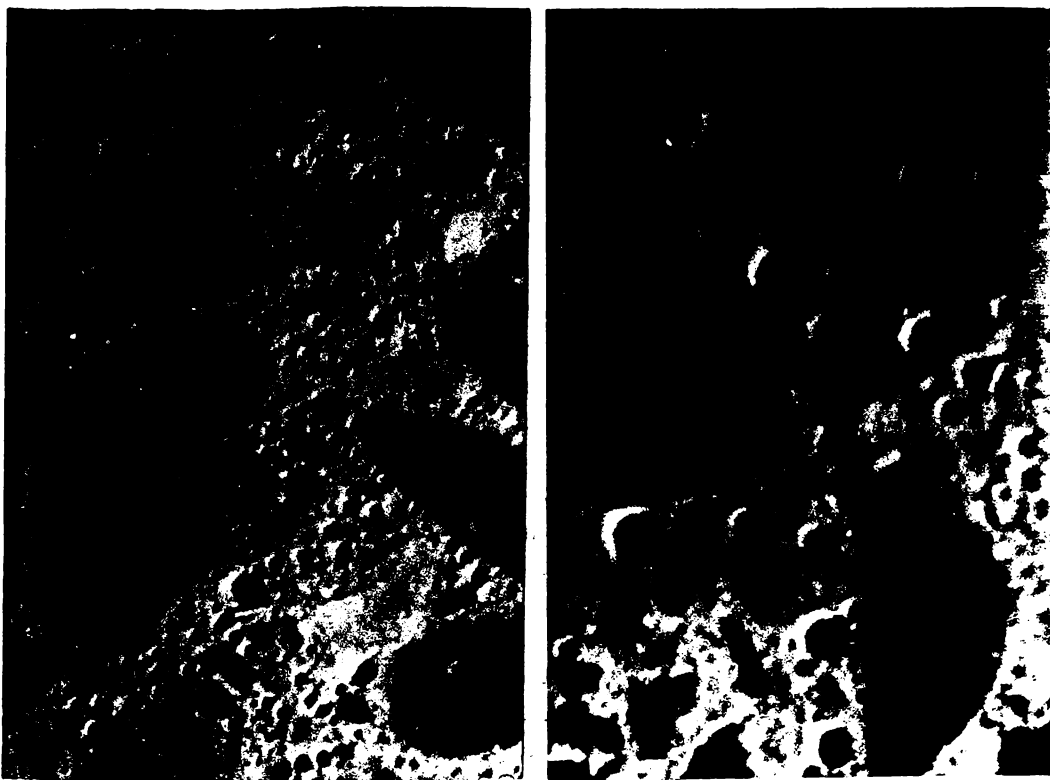
S-a mai stabilit că aditivii superplastifianți de tip MFS și NFS introduc puțin sau moderat aer în betonul fără aer antrenat.

Influența unui aditiv MFS (1,5%) asupra rezistenței la îngheț-dezgeț după 300 cicluri a unor betoane cu raport  $a/c=0,38-0,48$  este prezentată în /112/. S-a constatat că  $\bar{L}$  are valori puțin mai mari decît 0,008 in. (0,2mm), dar autorii consideră că el se poate micșora prin creșterea volumului inițial de aer din beton (față de 6% cît a fost în cazul cercetării) prin adăugarea unui aditiv antrenor de aer deoarece aditivii de tip MFS conduc la reducerea volumului de aer din beton.

În /133/ se prezintă influența aditivilor superplastifianți LOMAR D, MULCOPLAST CF, WALLCOPLAST FL asupra rezistenței la îngheț-dezgeț după 250 cicluri. Betoanele martor și cu aditivi superplas-

plifiante au fost realizate la același raport  $a/c=0,35-0,67$  utilizându-se și un aditiv antrenor de aer. S-a constatat că betoanele cu aditivii superplastifianți testați au performanțe egale cu ale betoanelor martor.

Rezultate similare s-au obținut și pe betoanele realizate cu ciment-cenușă zburătoare, agregate cu diametrul maxim de 19 mm și aditivi superplastifianți tip MFS și LSCM /92/. La betoanele cu aditivi s-a redus raportul  $a/c$  cu cca.10% respectiv 14,2%. Rezistența la îngheț-dezghet s-a determinat după 300 de cicluri, apreciindu-se prin factorul de durabilitate (85,8-92,7 la betoanele cu superplastifianți față de 89,6-94,4 la betoanele martor) și prin pierderea de masă (cca.9% la probele cu aditivi față de cca. 8% la probele martor). În fig.3.38.b,c, /92/ se prezintă porozitatea betonului martor și cu aditiv LSCM după 300 cicluri îngheț-dezghet.



b)

c)

Fig.3.38.b.c Porozitatea după 300 cicluri îngheț-dezghet (100x) /92/.

b) Probă de beton martor ;

c) Probă de beton cu aditiv superplastifiant LSCM.

.Sintetizând studiul bibliografic întreprins, se pot face următoarele aprecieri privind rezistența la îngheț-dezghet a betoanelor cu aditivi superplastifianți :

- betoanele fluide cu aditivi superplastifianți (raport a/c egal cu al betoanelor martor) au rezistența la îngheț-dezghet apropiată de cea a betoanelor martor în majoritatea cazurilor /33/,/63/,/65/,/71/,/99/,/133/;
- betoanele cu lucrabilitate egală (raport a/c redus) au rezistența superioară la îngheț-dezghet /63/,/65/,/71/ ;
- la betoanele fără aer antrenat se recomandă ca raportul a/c să fie cuprins între 0,26-0,35 /50/,/145/, iar volumul de aer antrenat variază între 1,4-4,4% /55/,/105/;
- betoanele cu aer antrenat, au de regulă raportul a/c mai mare de 0,3 /50/,/99/,/112/,/133/, iar volumul de aer antrenat variază între 4,0-9,09% /50/,/105/.

Pentru asigurarea creșterii volumului de aer antrenat, deoarece s-a constatat că aditivii superplastifianți de tip MFS și NFS nu introduc aer în beton decât în cantități reduse sau moderate /50/,/105/,/112/, se recomandă utilizarea unor aditivi antrenori de aer în combinație cu aditivii superplastifianți /50/,/99/,/105/,/112/,/133/.

- aprecierea rezistenței la îngheț-dezghet s-a făcut prin mai multe metode : pierderea de rezistență /59/,/60/,/63/,/65/,/71/, pierderea de masă /92/,/99/,/145/, variația raportului  $E_{dx}/E_{do}$  /33/, factorul de durabilitate /50/,/105/,/145/, factorul de distanță /50/,/105/,/112/,/134/, suprafața specifică /105/, variația lungimii /99/, viteza ultrasunetelor /99/ etc.

### 3.2.2.6. Modulul de elasticitate static și coeficientul lui Poisson

Determinările modulului de elasticitate static al betoanelor cu aditivi superplastifianți sînt tratate în /17/,/18/,/32/,/50/,/63/,/85/,/112/,/133/.

Modulul de elasticitate al betoanelor cu lucrabilitate egală și superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22 este superior modulului de elasticitate al betoanelor martor și corespunde noii clase de rezistență a betoanelor cu aditivi /63/. La betoanele cu aditiv superplastifiant FLOBBET /32/, la care s-au utilizat doze de ciment cuprinse între 300-600 kg/m<sup>3</sup>, agregate de balastieră cu dimensiunea maximă de 16 mm și tasare a betonului proaspăt de 6-10 cm, modulul de elasticitate

tate a variat între 27.200-38.000 N/mm<sup>2</sup>, fiind superior cu 2.000-6.000 N/mm<sup>2</sup> față de betonul martor.

Relația dintre rezistența la compresiune și modulul de elasticitate static și coeficientul lui Poisson la betoanele cu aditiv superplastifiant MIGHTY 150 la 3 și 28 zile este prezentată în fig. 3.39 /50/.

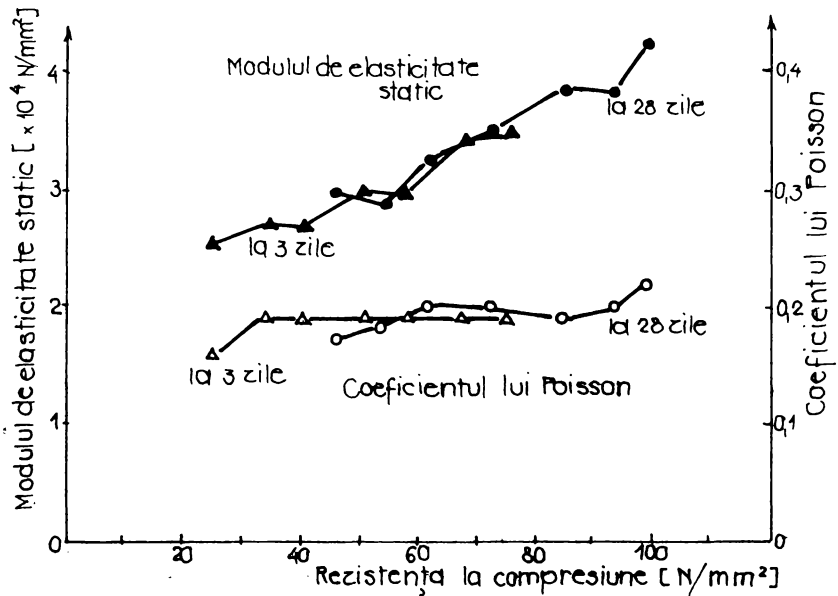


Fig.3.39. Modulul de elasticitate static și coeficientul lui Poisson în funcție de rezistența la compresiune a betoanelor cu aditiv superplastifiant MIGHTY 150,/50/.

Se constată că modulul de elasticitate crește liniar cu rezistența la compresiune pînă aproape de 1000 N/mm<sup>2</sup>, în timp ce coeficientul lui Poisson crește cu creșterea rezistenței la compresiune, avînd o zonă de relativă stagnare între 40-90 N/mm<sup>2</sup>.

În /17/ se prezintă variația modulului de elasticitate al betoanelor cu aditivi MIGHTY 150 pînă la 1 an de la turnare în funcție și de mediul de păstrare. Pentru toate probele modulul de elasticitate al betoanelor păstrate în aer a fost mai mic decît la cele păstrate în apă, în primul caz sesizîndu-se și o ușoară scădere în timp.



modulul de elasticitate la betoanele, cu aditivii superplastifianți LOMAR D, MULLCOPLAST OF, WALLCOPLAST FL (același raport a/c la betoanele martor și cu aditivi, dar care a variat între 0,35-0,67) a avut valori mai reduse decât la betoanele martor /133/.

Lip cele prezentate se constată că betoanele cu aditivi superplastifianți fluide au de regulă modulul de elasticitate apropiat de cel al betonului martor (ușor reduse sau puțin mai mari) /133/. La betoanele cu lucrabilitate egală, modulul de elasticitate este superior valorii betonului martor, acesta depinzând de posibilitatea de reducere a raportului a/c, dozajul de ciment etc. /17/, /32/, /50/, /63/, /112/.

Valoarea modulului de elasticitate static crește în timp (3 zile /50/, 7 zile /17/, 28 zile /17/, /32/, /50/, /63/ și 1 an /17/) în paralel cu creșterea rezistenței la compresiune.

### 3.2.2.7. Alte determinări efectuate asupra betoanelor în stare întărită

Asupra betoanelor cu aditivi superplastifianți întărite, din studiul materialului bibliografic, rezultă că s-au mai efectuat și alte determinări, dar în număr mai redus, dintre care prezentăm :

- densitatea aparentă (v.paragraful 3.2.1.10) ;
- modulul de elasticitate dinamic /17/, /33/ ;
- permeabilitatea /33/, /59/, /60/, /148/, /149/, /153/ ;
- rezistența la șoc /125/ ;
- contracția /17/, /33/, /50/, /60/, /92/, /102/, /122/, /124/, /157/ ;
- dilatarea termică /50/, /157/ ;
- curgerea lentă /17/, /50/, /122/.

### 3.2.3. Durabilitatea betoanelor cu aditivi superplastifianți

Având în vedere timpul relativ scurt de la începutul utilizării aditivilor superplastifianți în tehnologia betoanelor (în străinătate cca.1964-1970, iar la noi în țară cca.1980), cercetările în acest domeniu sînt relativ puține, iar raportările se înscriu în o urmărire a durabilității betoanelor cu aditivi superplastifianți pe o perioadă de peste 1-3 ani în țara noastră /60/ și de peste 20 ani în străinătate /2/, /17/, /18/, /50/, /54/, /99/, /133/.

Cercetările experimentale privind durabilitatea în timp (pînă la 3 ani) a betoanelor cu aditivi superplastifianți VIMC 11 și VIMC 22

sunt prezentate în /60/. Ele s-au axat în următoarele direcții:

- cercetări privind variația în timp a rezistenței la compresiune a betoanelor. Se constată o creștere în timp a rezistențelor la compresiune atât la betoanele martor, cât și la betoanele cu aditivi VIMC 11 și VIMC 22 cu lucrabilitate egală. Sporul de rezistență al betoanelor cu aditivi la 3 ani de la turnare reprezintă 1,15-1,20 față de betoanele martor;

- Cercetări privind variația în timp a permeabilității și a rezistenței la îngheț-dezghet. Cercetările s-au efectuat la 1 an de la turnare constatându-se că odată cu creșterea vârstei de încercare se înregistrează fie creșterea gradului de impermeabilitate, fie reducerea sensibilă a înălțimii de infiltrare a apei sub presiune în beton (betoanele cu lucrabilitate egală având rezultatele cele mai bune). Rezistența la îngheț-dezghet crește cu vârsta epruvetelor atât la betoanele martor, cât și la cele cu aditivi, care având lucrabilitatea egală au un grad de impermeabilitate mai ridicat și rezistența la îngheț-dezghet superioară față de betoanele martor.

- Cercetările privind carbonatarea betoanelor au indicat următoarele: sub aspectul carbonatării și al valorii pH-ului în betonul din zonele necarbonatate utilizarea superplastifiantilor VIMC asigură, la lucrabilitate egală, o viteză de avansare a zonelor de carbonatare mai redusă prin comparație cu betonul martor, independent de dozajul și tipul de ciment utilizat, datorită permeabilității mai reduse a betoanelor cu aditivi. De asemenea, deși datele obținute pe baza testului cu fenoftaleină privind pH-ul betonului din zonele necarbonatate sînt orientative, acestea arată că utilizarea aditivilor VIMC nu modifică pH-ul betoanelor.

- Cercetări și observații privind protecția armăturilor din oțel-beton, plase sudate și toroane în betoanele cu aditivi VIMC. S-a constatat că atât betoanele martor, cât și cele cu superplastifianți asigură o bună protecție a armăturilor din OB, plase sudate și toroane 7Ø3.

- Cercetările privind contracția betoanelor cu aditivi superplastifianți la lucrabilitate egală cu betoanele martor au arătat pînă la 2 ani valori inferioare pentru contracția betoanelor cu VIMC 11 și VIMC 22 comparativ cu betonul martor, fapt explicabil dacă se are în vedere că la prepararea betoanelor cu aditivi superplastifianți s-a utilizat o cantitate de apă de preparare mai redusă.

Durabilitatea betoanelor cu aditiv superplastifiant MIGHTY 150 la acțiuni agresive sulfatice este prezentată în /17/. Betoanele cu aditiv MIGHTY s-au realizat la aceeași lucrabilitate cu betoanele martor. Atât probele de beton martor, cât și cele cu aditiv au fost păstrate atât în apă, cât și în soluție de  $MgSO_4$ , încercările efectuându-se pe o perioadă de 1 an. Urmărirea în timp a efectului acțiunii agresive sulfatice s-a făcut prin : aprecierea vizuală a probelor martor și cu aditiv păstrate în apă și în soluție de  $MgSO_4$ , determinarea masei, a lungimii, a vitezei ultrasunetelor, a modului de elasticitate dinamic (prin determinarea vitezei ultrasunetelor).

S-a constatat că nu au apărut diferențe semnificative între betoanele martor și cele cu aditiv superplastifiant MIGHTY 150, iar dintre metodele utilizate se consideră că metoda variației modului de elasticitate dinamic este cea mai sensibilă în urmărirea proprietăților betoanelor supuse încercării. De aici rezultă că aditivul MIGHTY 150 se comportă în condiții bune la acțiunea agresivă sulfatică dacă este utilizat la realizarea betoanelor de 30-40  $N/mm^2$ .

Durabilitatea unei construcții la care s-a utilizat aditiv superplastifiant MIGHTY 150 /50/, după 11 ani de la execuție, arată că rezistența la compresiune atât a betoanelor martor ( $a/c=0,61$ ), cât și a betoanelor cu aditiv ( $a/c=0,53$ ) crește în timp (de la 31,3  $N/mm^2$  la 28 zile la 44,5  $N/mm^2$  la 1 an la betonul martor respectiv, de la 34,8 la 53,7  $N/mm^2$  la betonul cu aditiv).

Durabilitatea betoanelor cu MELMENT L 10, MIGHTY 150 și MULCOPLAST CF la raport  $a/c$  egal cu al betonului martor ( $a/c=0,42$ ) este prezentată în /99/. S-a urmărit durabilitatea în timp prin supunerea la 700 cicluri de îngheț-dezghet, constatându-se că nu s-au observat modificări semnificative între rezultatele obținute pe probele martor și pe cele cu aditivii superplastifianți, dacă aceștia sînt dozați la procentele recomandate de producători. În cazul utilizării unor supra-dozaaje (de 5-10 ori mai mari) rezistența la îngheț-dezghet se reduce drastic (cca.60 cicluri).

Deși perioade de studiu a durabilității în timp a betoanelor cu aditivi superplastifianți a fost relativ scurtă, din cercetările întreprinse se pot constata următoarele :

- durabilitatea betoanelor cu aditivi superplastifianți realizate la același raport  $a/c$  cu betoanele martor este similară cu a betoanelor martor /50/, /60/, /99/ ;
- durabilitatea betoanelor cu aditivi superplastifianți realizate la raport  $a/c$  redus (lucrabilitate egală) față de

- betoanele martor, este superioară betoanelor martor /17/, /60/ ;
- dintre factorii care influențează durabilitatea betonului s-au urmărit : rezistența la compresiune /50/, /60/, rezistența la îngheț-dezghet /60/, /99/, agresivitatea sulfatică /17/, coroziunea armăturilor /60/, permeabilitatea /60/, carbonatarea betoanelor /60/.

#### CAPITOLUL 4. STUDII SI CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND IDENTIFICAREA UNUI NOU TIP DE ADITIV SUPERPLASTIFIANT PENTRU BETOANE SI MONTARE

##### 4.1. Considerații teoretice privind betoanele cu aditivi superplastifianți. Conceptul de beton cu aditiv superplastifiant, definiții și clasificări.

Superplastifianții, superfluidizanții sau superreducătorii de apă, așa cum s-a arătat în cap.2. paragraful 2.2, reprezintă noi tipuri de aditivi pentru betoane a căror folosire s-a extins după anul 1964, când s-a produs primul aditiv superplastifiant pentru betoane în Japonia, în multe țări datorită avantajelor tehnico-economice pe care le conferă utilizarea lor în tehnologia betoanelor și prefabricatelor./1/,/2/,/3/,/19/,/63/.

Apariția lor este considerată de unii autori ca " o revoluție în tehnica betonului ce poate fi asemuită ca importanță cu tehnica precomprimării " ./59/,/63/,/71/,/115/.

Rezultate importante în utilizarea superplastifianților s-au obținut în Japonia, unde 80% din producția de beton era reprezentată în anul 1976 de betonul cu superplastifianți, în Germania unde se pun în operă anual 2-6 milioane m<sup>3</sup> beton fluid cu superplastifianți, în Anglia unde peste 60% din producția de elemente prefabricate se realizează din beton cu superplastifianți, în URSS unde 20 de fabrici de prefabricate produc numai beton cu superplastifianți, precum și în SUA, Canada, Franța, Australia, Anglia etc. /24/,/50/,/51/,/53/,/123/,/133/,/139/,/161/.

Clasificările aditivilor superplastifianți după substanțele chimice din care sînt produși în patru grupe sau după efectele la utilizare în șase clase, precum și principalii aditivi superplastifianți utilizați în tehnologia betoanelor pe plan internațional și național au fost prezentate în cap.2. paragraful 2.2 și tabelele 2.2, 2.3 și 2.4.

Efectul aditivilor superplastifianți asupra lucrabilității betonului, în funcție de raportul A/C este prezentat în fig.4.1.

Se constată următoarele :

- îmbunătățirea sensibilă a lucrabilității betonului proaspăt

la același raport A/C și dozaj de ciment cu betonul martor în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice cel puțin egale cu ale martorului (cazul 1, fig.4.1) ;

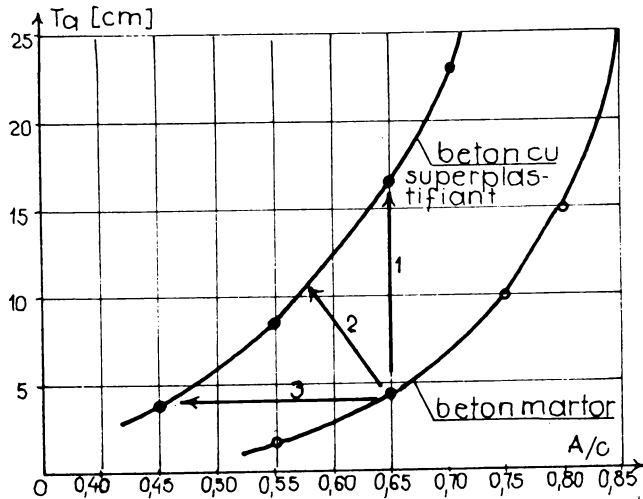


Fig.4.1. Efectul aditivilor superplastifiantilor asupra lucrabilității betonului în funcție de raportul a/c:

1. - îmbunătățirea sensibilă a lucrabilității betonului proaspăt prin creșterea tasării la raport a/c egal ;
2. - îmbunătățirea limitată a lucrabilității betonului proaspăt prin reducerea moderată a raportului a/c ;
3. - reducerea sensibilă a raportului a/c la lucrabilitate egală pentru obținerea de rezistențe superioare.

- îmbunătățirea limitată a lucrabilității betonului proaspăt prin reducerea moderată a raportului A/C în paralel fie cu creșterea moderată a rezistențelor mecanice fie cu obținerea de rezistențe mecanice egale cu ale betonului martor prin reducerea moderată a dozajului de ciment (cazul 2, fig.4.1);

- reducerea sensibilă a raportului A/C la lucrabilitate egală cu a betonului martor în paralel fie cu creșterea rezistențelor mecanice, la dozaaje de ciment egale, fie cu obținerea de rezistențe mecanice egale prin reducerea dozajelor de ciment (cazul 3, fig.4.1).

Principalele avantaje tehnico-economice ce se obțin în fiecare din cele trei cazuri prezentate sînt :

Cazul 1 (fig.4.1)

- îmbunătățirea sensibilă a lucrabilității betonului proaspăt
- reducerea parțială sau totală a vibrării ;
- reducerea consumurilor energetice (prin reducerea vibrării)
- rezistențe mecanice și durabilitate a betonului întărit cel puțin egale cu ale betonului martor.

Cazul 2 (fig.4.1)

- îmbunătățirea limitată a lucrabilității betonului proaspăt ;
- reducerea moderată a vibrării ;
- reducerea moderată a tratamentului termic ;
- reducerea moderată a dozajului de ciment ;
- reducerea moderată a consumurilor energetice (prin reducerea moderată a vibrării, tratamentului termic, dozajului de ciment) ;
- rezistențe mecanice și durabilitate ale betonului întărit ușor superioare sau egale cu ale betonului martor.

Cazul 3 (fig.4.1)

- creșterea rezistențelor mecanice și a durabilității betonului ;
- reducerea tratamentului termic ;
- reducerea dozajelor de ciment ;
- utilizarea de cimenturi de calitate inferioară ;
- reducerea duratei de folosire a cofrajelor ;
- reducerea consumurilor energetice (prin reducerea tratamentului termic, reducerea dozajelor de ciment, utilizarea de cimenturi de calitate inferioară).

Așa cum rezultă din literatura de specialitate, betoanele denumite generic cu aditivi superplastifianți, poartă în realitate diverse denumiri. Cele mai des întâlnite în străinătate sînt : SUPERPLASTICIZED CONCRETE /54/, /85/, /91/, /99/, /133/, /139/, /142/, HIGH-FLOW SUPERPLASTICIZED CONCRETE /54/, FLIESSBETON /104/, BETON FLUIDIFIÉ /23/, BÉTON AVEC FLUIDIFIANT /31/, /123/, FLOWING CONCRETE /2/, /4/, /43/, /50/, /52/, /53/, /54/, /55/, /95/, /104/, /112/, /138/, FLUID CONCRETE /53/, /139/, FLUIDIZED CONCRETE /4/, FLUIDIZING CONCRETE /4/, SELF COMPACTING CONCRETE /112/, /139/, PLASTICIZING CONCRETE /57/, "NORMAL SLUMP" CONCRETE /57/, WATER-REDUCED CONCRETE /91/, SUPER WATER-REDUCED CONCRETE (SWR CONCRETE) /145/, HR-ADMIXTURE CONCRETE /161/, HIGH STRENGTH CONCRETE /50/, /161/, ULTRA HIGH STRENGTH CONCRETE /50/, HIGH-STRENGTH CONCRETE WITH SUPERPLASTICIZER /104/, BETON A HAUTE RÉSISTANCE /103/,

HIGH-QUALITY CONCRETE /104/.

La noi în țară se folosesc denumiri ca: BETON CU ADITIV SUPERPLASTIFIANT /58/, BETON CU SUPERPLASTIFIANT /63/, BETON FLUID /63/, BETON FLUID CU SUPERPLASTIFIANT /65/, BETON CU ADITIV SUPERFLUIDIFIANT /153/, BETON CU LUCRABILITATE EGALĂ /63/, BETON CU LUCRABILITATE EGALĂ ȘI RAPORT A/C REDUS /63/, /65/, BETON CU LUCRABILITATE ȘI REZISTENȚA EGALĂ /63/, BETON CU REZISTENȚA SUPERIOARĂ /63/, BETON DE ÎNALȚĂ REZISTENȚĂ /63/.

Din cele prezentate rezultă că nu există o unitate de vedere privind denumirile betoanelor cu aditivi superplastifianți. Se observă că ele sînt denumite în general, după efectele pe care le au aditivii superplastifianți asupra lor și anume : după efectul pe care îl au asupra betoanelor proaspete de plasticizare, fluidifiere, după lucrabilitate, după efectul de reducere a apei de preparare, a raportului a/c, după rezistențe etc. De asemenea, unele denumiri cumulează două efecte.

Pe baza studiilor și a cercetărilor proprii efectuate precum și pe baza datelor consultate din literatura de specialitate din țară și străinătate, se propune clasificarea betoanelor cu aditivi superplastifianți în două moduri :

- analog cu clasificarea betoanelor clasice conform STAS 3622/86 prin adăugarea cuvintelor "cu aditiv superplastifiant", de exemplu "beton fluid cu aditiv superplastifiant", "beton plastic cu aditiv superplastifiant" etc ;

- prin compararea efectelor obținute față de un beton obișnuit martor, ele putîndu-se clasifica după mai multe criterii : lucrabilitate, rezistențe mecanice, raport a/c, scopul propus (tab.4.1).

Prin utilizarea betoanelor cu aditivi superplastifianți se obține o îmbunătățire generală a caracteristicilor fizico-mecanice ale betoanelor proaspete și întărite precum și o serie de avantaje tehnico-economice (tab.4.2, tab.4.3, și tab.4.4)

În cadrul tezei de doctorat avînd în vedere direcțiile uzuale de utilizare în practică, se urmărește clasificarea betoanelor cu aditivi superplastifianți după scopul propus (tab.4.1- pct.4).

Trecînd în revistă principalele tipuri de betoane, cu aditivi superplastifianți, în funcție de criteriile menționate, se constată următoarele :

#### 1. Clasificarea betoanelor după lucrabilitate

În cadrul acestei clasificări se consideră două tipuri de betoane :



Clasificarea betoanelor cu aditivi superplastifianți comparativ cu betonul mator.

tabelul 4.1

Nr. crt.	Criterii de clasificare	Tipul betonului cu aditiv superplastif.	Caracteristici principale comparativ cu betonul mator			
			3	4	5	6
0	1	2	3	4	5	6
1	După lucrabilitate :		A/c	apa	ciment	rezist. mecan.
		a) Beton cu lucrabilitate îmbunătățită	E	E	E	E
			R.M	R.M	E/R.M	ÎM/E
		b) Beton cu lucrabilitate egală	R	R	E	S
			R	R	R	E
2	După rezistență :		A/c	apa	ciment	lucrabilitate
		a) Beton cu rezistență egală	E	E	E	Î
			R	R	R	E
		b) Beton cu rezistență superioară	R/RM	R/RM	E	E/Î
3	După raportul A/c :		apa	ciment	lucrabilitate	rezist. mecan.
		a) Beton cu raport A/c egal	E	E	Î	E
		b) Beton cu raport A/c redus	R/RM	E	E/Î	S/ÎM
			R	R	E	E
4	După scopul propus :		A/c	apa ciment	lucrabilitate	rezist. mecan.
		a) Beton fluid	E	$\frac{E}{E}$	Î	E
		b) Beton cu rezistență superioară	R	$\frac{R}{E}$	E	S
		c) Beton cu dozaj de ciment redus	R	$\frac{R}{R}$	E	E

LEGENDĂ : E - egal ; R - redus ; Î - îmbunătățit ; S - superior  
RM - redus moderat ; ÎM - îmbunătățit moderat.

Directii de folosire practică a betoanelor cu aditivi superplastifianți în funcție de efectul aditivului superplastifiant utilizat. tabelul 4.2

Nr. crt.	Efectul principal al aditivilor superplastifianți	Directii de folosire practică a betoanelor cu aditivi superplastifianți
0	1	2
1	Superplastifianți, reducători și super reducători de apă.	- Producția betonului fluid, la doza de apă și ciment egale, având rezistența cel puțin egală cu betonul martor; - Producția betonului de rezistență superioară la doza de ciment egală, lucrabilitate egală și apă de preparare redusă; - Producția betonului cu dozaj de ciment redus, la lucrabilitate egală și cantitate de apă de preparare redusă, având rezistența cel puțin egală cu a betonului martor;
2	Antrenori de aer	Producție de beton ușor și foarte ușor.
3	Micști, cu efect de reducători sau superreducători de apă și efect de antrenori moderati de aer (2-4% în raport cu betonul martor)	- Aceleași domenii ca la prima clasă cu excepția betoanelor la care întărirea este accelerată prin tratament termic.
4	Acceleratori de priză și întărire fără cloruri.	- Producția de elemente prefabricate fără tratament termic, elemente monolite cu decofrare rapidă etc.
5	Întirziatori de priză	- Producția de beton pentru transportul la distanțe mari sau pe timp cald.
6	Impermeabilizatori în masă și la suprafață	- Producția de beton pentru lucrări speciale.

a) Beton cu lucrabilitate îmbunătățită ;

b) Beton cu lucrabilitate egală (Beton de egală lucrabilitate)

c) Betonul cu lucrabilitate îmbunătățită se obține prin adăugarea față de compoziția betonului martor a aditivului superplastifiant, având caracteristica principală lucrabilitatea îmbunătățită față de cea a betonului martor.

Îmbunătățirea lucrabilității poate fi limitată sau sensibilă în funcție de lucrabilitatea inițială a betonului martor.

El se poate obține în următoarele cazuri :

a1) la raport A/C egal (cantitate de apă de preparare și dozaj de ciment egale cu ale betonului martor), în condițiile obținerii unei lucrări îmbunătățite (limitat sau sensibil) și rezistențe ale betonului întărit cel puțin egale cu ale betonului martor ;

a2) la raport A/C redus moderat (cantitate de apă de preparare redusă moderat și dozaj de ciment egal cu al betonului martor), în condițiile îmbunătățirii limitate a lucrabilității betonului proaspăt și a obținerii a unor rezistențe mecanice îmbunătățite moderat ale betonului întărit față de cele ale betonului martor ;

a3) la raport A/C redus moderat (cantitate de apă de preparare și dozaj de ciment reduse moderat față de cele ale betonului martor) în condițiile îmbunătățirii limitate a lucrabilității a betonului proaspăt și a obținerii unor rezistențe mecanice ale betonului întărit egale cu ale betonului martor.

Efecte tehnico-economice principale obținute prin utilizarea aditivilor superplastifianți în tehnologia betoanelor.

tabelul 4.4

Nr. crt	Efecte tehnico-economice principale	Tipul betonului cu aditiv superplastifiant
0	1	2
1	Îmbunătățirea lucrabilității betonului proaspăt (sensibilă sau limitată)	Beton cu lucrabilitate îmbunătățită
2	Cresterea rezistențelor mecanice ale betonului întărit	Beton cu rezistență superioară
3	Economii de ciment prin reducerea dozajului	Beton cu dozaj de ciment redus
4	Posibilitatea utilizării cimenturilor de calitate inferioară.	Beton cu rezistență egală
5	Reducerea duratei de tratament termic.	Beton cu rezistență superioară
6	Reducerea timpului de vibrație	Beton cu lucrabilitate îmbunătățită
7	Reducerea duratei de folosire a cofrajelor.	Beton cu rezistență superioară

Principalele caracteristici fizico-mecanice si tehnico-economice ale betoanelor cu aditivi superplastifianti, comparativ cu betonul marfor.

tabelul 4.3

Nr crt	Clasificarea	Tipul betonului cu aditiv superplastifiant		A/c	Apa	Ciment		Caracteristici fizico-mecanice			Caracteristici tehnico-economice						
		1	2			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
						Calitate	Lucrabilitate	rezistență mecanică și durabilitate	vibrație	Tratament termic	durata de folosire	Total	vibrație	trat. termic	ciment	Consum energetic	
0																	
1			E	E	E	E	î	E	R(M,T)	E	E	R	V	-	-	-	-
			RM	RM	RM	E	îL	îM	E	E	E	E	-	-	-	-	-
			RM	RM	RM	E	îL	E	E	E	E	E	-	-	-	-	-
2			R	R	R	E/I	E	S/E	E	R/E	R/E	R	-	T.T/-	-	-	/c.c
			R	R	R	E	E	E	E	E	E	R	-	-	-	-	CD
3			E	E	E	E	I	E	R(M,T)	E	E	R	V	-	-	-	-
			R	R	R	E/I	E	E	E	E	E	R	-	-	-	-	CD/CC
4			R/RM	R/RM	R/RM	E	E/îL	S/îM	E	R/E	R/E	R/E	-	TT/-	-	-	-
5			E	E	E	E	î	E	R(M,T)	E	E	R*	V	-	-	-	-
6			R/RM	R/RM	R/RM	E	E/îL	S/îM	E	R/E	R/E	R/E	-	TT/-	-	-	-
			R	R	R	E/I	E	E	E	E	E	R	-	-	-	-	CD/CC
7			E	E	E	E	î	E	R(M,T)	E	E	R	V	-	-	-	-
8			R	R	R	E	E	E	E	R	R	R	-	TT	-	-	-
9			R	R	R	E	E	E	E	E	E	R	-	-	-	-	CD

LEGENDA: E - egal; R - redus; V - vibrație; TT - tratament termic; CD - ciment-dozaaj; CC - ciment-calitate; RM - redus moderat; î - îmbunătățit; îM - îmbunătățit moderat; R(M,T) - redus (moderat, total); S - superior; î - inferior.

b) Betonul cu lucrabilitate egală se obține prin adăugarea de aditiv superplastifiant la compoziția betonului mator și are caracteristica principală lucrabilitatea egală cu a betonului mator.

Se obține astfel :

b<sub>1</sub>) la raport A/C redus (prin reducerea cantității de apă de preparare, la dozaj de ciment egal cu al betonului mator), în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice ale betonului întărit superioare față de cele ale betonului mator ;

b<sub>2</sub>) la raport A/C redus (prin reducerea cantității de apă de preparare cât și a dozajului de ciment față de betonul mator), în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice ale betonului întărit egale cu ale betonului mator.

## 2. Clasificarea betoanelor după rezistențele mecanice

În cadrul acestei clasificări se consideră două tipuri de betoane:

a) Beton cu rezistență egală (Beton de egală rezistență) ;

b) Beton cu rezistență superioară (Beton de înaltă rezistență)

a) Betonul cu rezistență egală se obține prin adăugarea de aditiv superplastifiant față de compoziția betonului mator iar caracteristica lui principală este rezistența mecanică egală cu a betonului mator.

Se poate obține astfel :

a<sub>1</sub>) la raport A/C egal (cantitate de apă de preparare și dozaj de ciment egale cu ale betonului mator) și lucrabilitate îmbunătățită, în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice ale betonului întărit egale cu ale betonului mator ;

a<sub>2</sub>) la raport A/C redus (cantitate de apă de preparare și dozaj de ciment reduse față de betonul mator) și lucrabilitate egală în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice ale betonului întărit egale cu ale betonului mator ;

b) Betonul de rezistență superioară se obține prin adăugarea de aditiv superplastifiant la compoziția betonului mator având caracteristica principală rezistența mecanică superioară față de mator. Se obține :

b<sub>1</sub>) la raport A/C redus (cantitate de apă de preparare redusă și dozaj de ciment egal cu al betonului mator) și lucrabilitate egală în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice ale betonului întărit superioare față de betonul mator.

b<sub>2</sub>) la raport a/c redus moderat (cantitate de apă de preparare redusă moderat și dozaj de ciment egal cu al betonului martor) și lucrabilitate îmbunătățită limitat, în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice ale betonului întărit îmbunătățite moderat față de betonul martor.

### 3. Clasificarea betoanelor după raportul a/c

Din acest punct de vedere betonul cu aditiv superplastifiant se poate clasifica în următoarele două tipuri de betoane :

- a) Beton cu raport a/c egal ;
- b) Beton cu raport a/c redus.

a) Betonul cu raport a/c egal se obține prin adăugarea de aditiv superplastifiant față de betonul martor, având caracteristica principală lucrabilitatea îmbunătățită față de cea a betonului martor.

El se obține :

a<sub>1</sub>) la cantitate de apă de preparare și dozaj de ciment egale cu ale betonului martor, în condițiile obținerii unei lucrabilități îmbunătățite a betonului proaspăt și a unor rezistențe mecanice ale betonului întărit cel puțin egale cu ale betonului martor ;

b) Betonul cu raportul a/c redus se obține prin adăugarea de aditiv superplastifiant față de betonul martor, având caracteristica principală rezistențe mecanică superioară față de cea a betonului martor.

Se realizează în următoarele moduri :

b<sub>1</sub>) la cantitate de apă de preparare redusă și dozaj de ciment egal cu al betonului martor, în condițiile unei lucrabilități egale cu a betonului martor și a unor rezistențe mecanice superioare betonului martor ;

b<sub>2</sub>) la cantitate de apă redusă moderat și dozaj de ciment egal cu al betonului martor, în condițiile unei lucrabilități îmbunătățite limitat și a unor rezistențe mecanice îmbunătățite moderat față de betonul martor ;

b<sub>3</sub>) la cantitate de apă de preparare și dozaj de ciment reduse față de betonul martor, în condițiile unei lucrabilități a betonului proaspăt și rezistențe mecanice ale betonului întărit egale cu ale betonului martor.

### 4. Clasificarea betoanelor după scopul propus

În funcție cu scopul urmărit, privind câteva direcții mai

importante de utilizare a betoanelor cu aditivi superplastifianți în producție, se propun următoarele tipuri de betoane :

- a) beton fluid ;
- b) beton cu raport a/c redus ;
- c) beton cu dozaj de ciment redus.

a) Betonul fluid se obține la raport a/c egal (reduc moderat) în condițiile obținerii unei lucrabilități îmbunătățite (sensibil/limitat) a betonului proaspăt și a unor rezistențe mecanice a betonului întărit egale (îmbunătățite moderat) față de betonul mator (v. clasificările  $la_1, la_2, la_3$ ) Caracteristica lui principală este lucrabilitatea îmbunătățită față de cea a betonului mator.

b) Betonul cu raport a/c redus se obține la cantitate de apă de preparare redusă (reducă moderat) și dozaj de ciment egal cu al betonului mator în condițiile unei lucrabilități egale (îmbunătățite limitat) și a unor rezistențe mecanice superioare (îmbunătățite moderat) față de betonul mator (v. clasificările  $3b_1, 3b_2$ ). Caracteristica lui principală este raportul a/c redus față de betonul mator și obținerea unor rezistențe mecanice superioare.

c) Betonul cu dozaj de ciment redus se obține la raport a/c redus (cantitate de apă de preparare și dozaj de ciment reduse față de betonul mator), în condițiile unei lucrabilități a betonului proaspăt și a unor rezistențe mecanice ale betonului întărit egale cu ale betonului mator (v. clasificarea  $2a_2$ ) . Caracteristica lui principală este obținerea de economii de ciment față de betonul mator, cimentul fiind un material energointensiv.

#### 4.2. Condiții de realizare a cercetărilor

Primele cercetări pe plan mondial privind obținerea de noi tipuri de aditivi superplastifianți pentru betoane au început în anii 1958-60 în Japonia, realizându-se în anul 1964 primul editiv superplastifiant pentru betoane denumit MIGHTY.

În țară cercetări privind obținerea de noi tipuri de aditivi pentru betoane au început în anii 1978-79, realizându-se aditivii superplastifianți VIMC 11, VIMC 22 și FLUBET. Interesul deosebit acordat utilizării acestor aditivi, în special în ultimii 10-15 ani privind obținerea de noi tipuri de superplastifianți și de utilizare a lor în tehnologia betoanelor a făcut să speră necesitatea efectuării

de noi cercetări în acest domeniu.

Programul de studii și cercetări experimentale care face obiectul lucrării de față, se înscrie în preocupările amintite mai sus și se referă la cercetări experimentale privind identificarea unui nou aditiv superplastifiant și utilizarea lui la realizarea betoanelor și mortarelor de ciment..

Primele cercetări privind posibilitatea de utilizare a unor noi tipuri de aditivi în tehnologia betoanelor au fost întreprinse în cadrul Laboratorului de materiale de construcții, Catedra de Construcții civile, industriale și agricole, Facultatea de Construcții, Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, începând din anul 1979. Ele au fost inițiate de prof.em.ing. Constantin Avram, M.C.al Academiei Române /72/.

La programele de cercetări au participat Laboratorul de Cercetări ICECHIM - Intreprinderea de Detergenți Timișoara, Trustul de Antrepriză Generală Construcții-Montaj Timiș, Timișoara, ICCPDC București, Fil.Timișoara, Trustul de Antrepriză Generală Construcții Industriale Timișoara.

Cercetările de laborator, studiile teoretice și experimentale precum și valorificările prezentei teze de doctorat au la bază mai multe contracte de cercetare încheiate între Catedra CCIA, Facultatea de Construcții, I.P.T. Timișoara cu diverși beneficiari, în perioade enilor 1982-1988.

Astfel, cercetările privind identificarea unui nou tip de aditiv superplastifiant indigen precum și de utilizare a lui la realizarea betoanelor și mortarelor de ciment au constituit obiectul următoarelor contracte de cercetare :

- cu TAGCM Timiș, Timișoara s-au încheiat trei contracte de cercetare în anii : 1982 /195/, 1985 cu două faze : Faza I și II 1985 /196/, iar al treilea în 1987 tot cu două faze : faza I 1987 și faza II 1988 /183/ ;

- cu ICCPDC București, Filiale Timișoara s-a încheiat un contract cu trei faze : faza I/1983 /169/, faza II/1984 /169/, și faza III/1984 /169/ ;

- cu TAGCInd Timișoara s-a încheiat un contract în anul 1986 /179/.

Ca rezultat al acestor cercetări, pe lângă elaborarea protocoalelor pentru fiecare contract și fază, care au cuprins rezultatele acestor experimentări precum și utilizarea în producție a rezulta-



lor cercetărilor, n-au mai elaborat :

- Brevet de Invenție nr.91.423/1986 cu titlul "Compoziție aditivă superplastifiantă pentru betoane și procedeu de obținere a acesteia" /83/ ;

- Recomandări privind utilizarea aditivului superplastifiant SP4 la realizarea betoanelor și mortarelor de ciment /169/ ;

- Participarea cu lucrări la un număr de simpozioane naționale și unul internațional precum și publicarea unui număr de lucrări în diverse publicații cu profil tehnic din țară./11/,/12/,/72/, /73/,/74/,/75/,/76/,/77/,/78/,/79/,/80/,/81/,/82/.

#### 4.3. Scopul programului experimental și etapele de desfășurare

Scopul principal al programului experimental, inițiat și desfășurat la catedra CCIA, Facultatea de Construcții Timișoara, în perioada 1979-1988 și care face obiectul lucrării de față, se înscrie în cadrul cercetărilor prioritare din țara noastră privind identificarea de noi tipuri de aditivi și extinderea domeniului de utilizare a lor la realizarea betoanelor și mortarelor.

El a avut următoarele două etape principale :

I. Cercetări experimentale privind identificarea unui nou tip de aditiv superplastifiant pentru betoane și mortare.

Faza 1: Testarea preliminară și selecționarea aditivilor pe criterii de optimizare.

Faza 2: Testarea finală a aditivilor selecționați și definitivarea compoziției aditivului superplastifiant SP4.

Faza 3: Considerații teoretice și cercetări experimentale privind mecanismul de acțiune al aditivului superplastifiant SP4.

II. Cercetări experimentale privind realizarea betoanelor și mortarelor cu aditiv superplastifiant SP4.

Faza 1: Cercetarea experimentală privind tipurile de betoane grele și mortare cu aditiv superplastifiant SP4

Faza 2: Proprietățile lor fizico-mecanice.

Faza 3: Tehnologie betoanelor și mortarelor cu aditiv superplastifiant SP4 și aplicații în producție.

Programul experimental în ansamblu urmărește și alte aspecte, ca de exemplu realizarea betoanelor ușoare cu granulat de Lugoj cu aditiv superplastifiant SP4, tehnologia de obținere a lor etc., aspecte care însă nu fac obiectul acestei teze de doctorat.

În continuare sînt prezentate rezultatele cercetărilor experimentale întreprinse în etapa I-a, în cap.5. cele întreprinse în etapa II-a, fazele 1, 2 cercetări experimentale privind tipurile de betoane grele și mortare cu aditiv SP4 și a proprietăților lor fizico-mecanice, iar în cap.6 cele cuprinse tot în etapa II-a, faza 3-a, de tehnologie a betoanelor și mortarelor cu aditiv SP4 și aplicații în producție.

#### 4.4. Cercetări experimentale privind identificarea unui nou tip de aditiv superplastifiant pentru betoane și mortare

Cercetările experimentale întreprinse în această primă etapă au cuprins următoarele trei faze:

- Testarea preliminară și selecționarea aditivilor optimi ;
- Testarea finală a aditivilor selecționați și definitivarea compoziției aditivului superplastifiant SP4.
- Studiul mecanismului de acțiune al aditivului superplastifiant SP4.

##### 4.4.1. Testarea preliminară și selecționarea aditivilor pe criterii de optimizare

###### 4.4.1.1. Materiale componente

Aditivii testați și principalele lor caracteristici tehnice sînt prezentate în tab.4.5.a, 4.5.b, și 4.5.c.

Ei fac parte din categoria agenților de suprafață și sînt produși la Întreprinderea de Detergenți Timișoara. Atît aditivii comerciali cît și cei preparați anume pentru testări au fost obținuți prin colaborarea cu Laboratorul de Cercetări Detergenți, Timișoara.

Pe tot parcursul încercărilor, în funcție de rezultatele experimentale obținute s-a procedat la schimbarea compoziției aditivilor, pînă s-a obținut structura de aditiv cu caracteristici optime din punct de vedere a utilizării lui în tehnologia betoanelor. S-au testat următoarele clase de agenți de suprafață :

- anionici, alchilnaftalinulfonați și alchilonilsulfonați ;
- anionici pe bază de esteri ai acidului sulfosuccinic ;
- anionici, polifuncționali pe bază de polietilenpoliamină ;
- neionici, alcooli grași și nonilfenol etoxilați.

Testarea preliminară s-a efectuat în perioada 1979-1983 după cum urmează :

e) 5 tipuri de aditivi în perioada 1979-1980 (tab.4.5.a)

Principalele caracteristici tehnice ale aditivilor produși la I.D. Timișoara, testați ca aditivi superplastifianți în perioada 1979-1980. tabelul 4.5.a

nr. crt.	Denumirea comercială/convențională a aditivului	Aspect	Culoare	Cont. subst. activă (%)	pH	Caracterul cationic/hidrofob	Structura cationic/hidrofob
0	1	2	3	4	5	6	7
1	ACVA FIL	pastă	galben-brun	30	6,0 - 7,5	anionic	alchil-naftalină
2	ROMOPAL LN	lichid transp.	slab-gălbui	30	7,0 - 8,5	neionic	C12-C14
3	EMULGATOR OF 8	lichid viscos-pastă	galben-brun	99	6,5 - 7,5	neionic	dodecibenzen
4	EMULGATOR NF 16	pastă	galben-brun	98	7,0 - 8,5	neionic	nonil-fenol
5	DETERSIN DBS	lichid-pastă	brun-gălbui	40	6,0 - 8,0	anionic	nonil-fenol

b) 10 tipuri de aditivi în perioada 1981-1982 (tab.4.5.b) ;

c) 7 tipuri de aditivi în perioada 1983 (tab.4.5.c).

Numărul total de aditivi testați ca aditivi superplastifianți a fost de 22.

Cimentul utilizat la încercări a fost Pe 35, în dozaj de  $280 \text{ kg/m}^3$  la compoziția 1 și de  $405 \text{ kg/m}^3$  la compoziția 2.

Agregatele folosite au fost silicioase de râu, uscate și sortate pe sorturile 0/3, 3/7 și 7/16 iar curbele granulometrice utilizate au respectat prevederile Normativelor C140-79 și 86.

Apa de preparare a fost cea din rețeaua publică a municipiului Timișoara.

#### 4.4.1.2. Încercări experimentale și rezultatele obținute

Pentru a pune în evidență influența tipului și procentului de aditiv asupra unor caracteristici mai importante ale betonului proaspăt s-au preparat mai multe amestecuri mortar și cu aditivii prezentați anterior. În toate cazurile amestecurile au fost realizate la același raport a/c. Încercările experimentale s-au efectuat conform

prevederilor Normativelor C140-79 și 86 în toate cele trei perioade, după cum urmează :

Principalele caracteristici tehnice ale aditivilor produși de I.D.Timișoara testați ca aditivi superplastifianți în perioada 1981-1982. tabelul 4.5 b

Nr.crt.	Denumirea comercială/convențională a aditivului.	Aspect	Culoare	cont. subst. activă (%)	pH	Caracterul cationic/hidrofob	Structura cationic/hidrofob
0	1	2	3	4	5	6	7
1	EMULGATOR NF9	lichid viscos-pastă	galben-brun	99	6,5-7,5	neionic	nonil-fenol
2	EMULGATOR NF 20	pastă	galben-brun	99	6,5-7,5	neionic	nonil-fenol
3	EMULGATOR NF 40	lichid viscos-pastă	incolor-galben	70	5,5-7,0	neionic	nonil-fenol
4	MESS 1	pastă	alb-gălbui	50	6,5-7,5	anionic	C8
5	MESS. 2	pastă	alb-gălbui	25	6,5-7,5	anionic	C12-C14
6	MESS 3	pastă	alb-gălbui	35	6,5-7,5	anionic	nonil-fenol
7	MESS 4 A	lichid	incolor-gălbui	50	6,5-7,5	anionic	nonil-fenol
8	MESS 4 B	lichid	incolor-gălbui	50	6,5-7,5	anionic	nonil-fenol
9	MEM 1 A	lichid	incolor-gălbui	50	6,5-7,5	anionic	nonil-fenol
10	MEM 1 B	lichid	incolor-gălbui	50	6,5-7,5	anionic	nonil-fenol

a) În perioada 1979-1980 s-au testat primii 5 aditivi (tab. 4,5,a). Compoziția amestecurilor de beton (nr.1) a fost  $A=2051/m^3$ ,  $C=280 kg/m^3$ ,  $Ag=1840 kg/m^3$  ( $0/3 = 810 kg/m^3$ ,  $3/7 = 440 kg/m^3$ ,  $7/16 = 590 kg/m^3$ ).

Atât amestecurile mortar cât și cu aditivi s-au realizat mecanic, în o betonieră cu amestecare prin cădere liberă, timpul total de amestecare fiind de 5 minute. Aditivii au fost introduși în amestec împreună cu o parte din apă de preparare în ultimele 2 minute de amestecare. Procentele de aditiv utilizate au fost între 0,00-2,00% substanță uscată din cantitatea de ciment. Asupra probelor de

beton proaspăt s-au efectuat următoarele determinări : lucrabilitatea (tasarea), densitatea aparentă și volumul de aer oclus.

Principalele caracteristici tehnice ale aditivilor produși de I.D.Timisoara testați ca aditivi superplastifianți în perioada 1983. tabelul 4.5c

Nr.crt.	Denumirea comercială/convențională a aditivului	Aspect	Culoare	Cont.subs. activă,%	pH	Caracterul cationic/hidrofob	Structura cationic/hidrofob
0	1	2	3	4	5	6	7
1	α	lichid	galben-brun roșcat	50	6,5-7,5	anionic	alchil polietilen poliamina
2	EMULGATOR NF10	lichid viscos. pasta	galben-brun	99	6,5-7,5	neionic	nonil-fenol
3	P 1 B	lichid	galben-brun roșcat	50	6,5-7,5	anionic polifuncțional	alchil polietilen poliamina
4	P 4	lichid	galben-brun roșcat	50	6,5-7,5	anionic polifuncțional	alchil polietilen poliamina
5	P 5	lichid	galben-brun roșcat	50	6,5-7,5	anionic polifuncțional	alchil polietilen poliamina
6	P 7	lichid	galben-brun roșcat	50	6,5-7,5	anionic polifuncțional	alchil polietilen poliamina
7	P 11	lichid	galben-brun roșcat	50	6,5-7,5	anionic polifuncțional	alchil polietilen poliamina

Rezultatele încercărilor experimentale sînt prezentate în tab.4.6.

Se constată următoarele :

- lucrabilitatea betonului proaspăt cu aditivi este îmbunătățită în toate cazurile față de cea a betonului martor. Astfel, tasarea crește de la 5,0 cm la betonul martor la 20,0-22,0 cm la betoanele cu aditivi, cele mai bune rezultate obținîndu-se la betoanele cu ACVA FIL, EMULGATOR OF 8 și EMULGATOR NF 16. (fig.4.2) ;

- densitatea aparentă a betoanelor proaspete cu aditivi scade cu creșterea procentului de aditiv. Cele mai apropiate densități aparente de cele ale betonului martor le au betoanele cu LETERSIIN DBS, EMULGATOR NF 16 și cu EMULGATOR OF 8 (fig.4.3) ;

-- volumul de aer oclus al betonului proaspăt crește cu sporirea procentului de aditiv, variînd între 2,60-11,83%. Cele mai apropiate valori de cele ale betonului martor le au betoanele cu LETERSIIN

DBS, EMULGATOR NF 16 și EMULGATOR OF 8 (fig.4.4).

Variatia principalelor caracteristici ale betoanelor proaspete cu aditivii testati în perioada 1979-1980  
tabelul 4.6

Tipul de beton	Caracteristicile betonului proaspăt		lucrabilitatea		$\rho_{bp}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$V_{ao}$ [%]
	% aditiv	tasare [cm]	L			
0	1	2	3	4	5	
BETON CU ACVATIL	0,00	5,0	L3	2370	0,50	
	0,50	12,5	L4	2205	7,43	
	1,00	17,5	L5	2150	9,73	
	2,00	22,0	>L5	2100	11,83	
BETON CU ROMOPAL LN	0,00	5,0	L3	2370	0,50	
	0,50	11,0	L4	2225	6,59	
	1,00	15,5	L5	2185	8,27	
	2,00	20,0	L5	2120	10,99	
BETON CU EMULGATOR OF 8	0,00	5,0	L3	2370	0,50	
	0,50	10,0	L4	2250	5,54	
	1,00	16,0	L5	2210	7,22	
	2,00	20,0	L5	2120	10,99	
BETON CU EMULGATOR NF 16	0,00	5,0	L3	2370	0,50	
	0,50	11,0	L4	2250	5,54	
	1,00	20,8	>L5	2220	6,80	
	2,00	22,0	>L5	2185	8,27	
BETON CU DETER-SIN DBS	0,00	5,0	L3	2370	0,50	
	0,50	6,0	L3	2320	2,60	
	1,00	12,0	L4	2250	5,54	
	2,00	21,0	>L5	2200	7,64	

b) În perioada 1981-1982 s-au continuat testările cu încă un aditiv. Caracteristicile tehnice ale aditivilor sînt prezentate în tab.4.5.b, iar compoziția utilizată (nr.2) a fost  $A=210 \text{ l/m}^3$ ,  $C=405 \text{ kg/m}^3$ ,  $Ag=1730 \text{ kg/m}^3$  ( $o/3=670 \text{ kg/m}^3$ ,  $3/7=430 \text{ kg/m}^3$ ,  $7/16=630 \text{ kg/m}^3$ ).

Amestecurile s-au efectuat mecanic, în betonieră cu amestecare prin cădere liberă, toate avînd același raport a/c. Timpul total de amestecare a betoanelor cu aditivi a fost de 3 minute. Procentele utilizate au fost cuprinse între 0,00-0,50%, substanță uscată din cantitatea de ciment.

Începînd din această fază s-au redus procentele de aditiv utilizate, pe baza rezultatelor încercărilor de laborator obținute anterior. S-a constatat că și la procentele mai reduse, prin amestecare mecanică, aditivii au efect de superfluidizare a ameste-

curilor de beton. De asemenea, prin reducerea procentului de aditiv s-a urmărit reducerea efectului de antrenare de aer în beton în procesul de amestecare constat în prima perioadă de testare. S-a avut

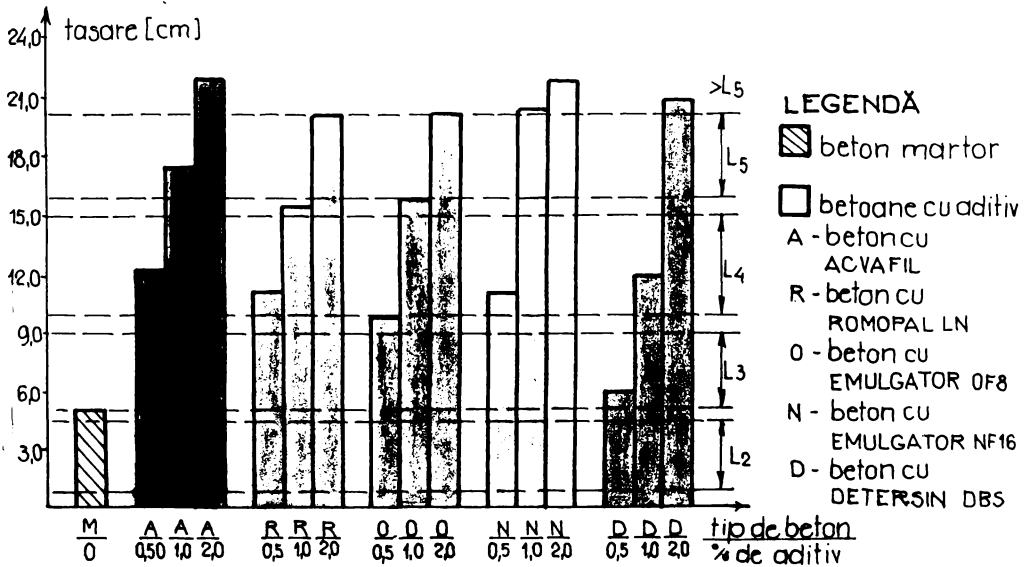


Fig.4.2. Variația țesării betoanelor proaspete în funcție de tipul și procentul de aditiv.

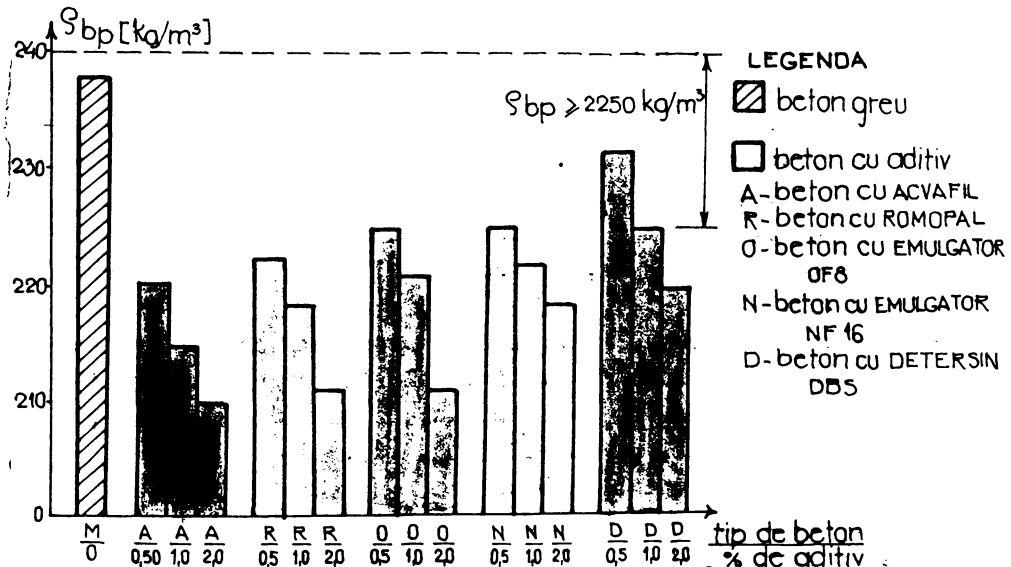


Fig.4.3. Variația densității aparente a betoanelor proaspete în funcție de tipul și procentul de aditiv.

în vedere și efectul economic, știut fiind că cu cât procentul de aditiv este mai redus cu atât cantitatea utilizată la  $m^3$  de beton este mai mică și deci prețul de cost/ $m^3$  de beton scade.

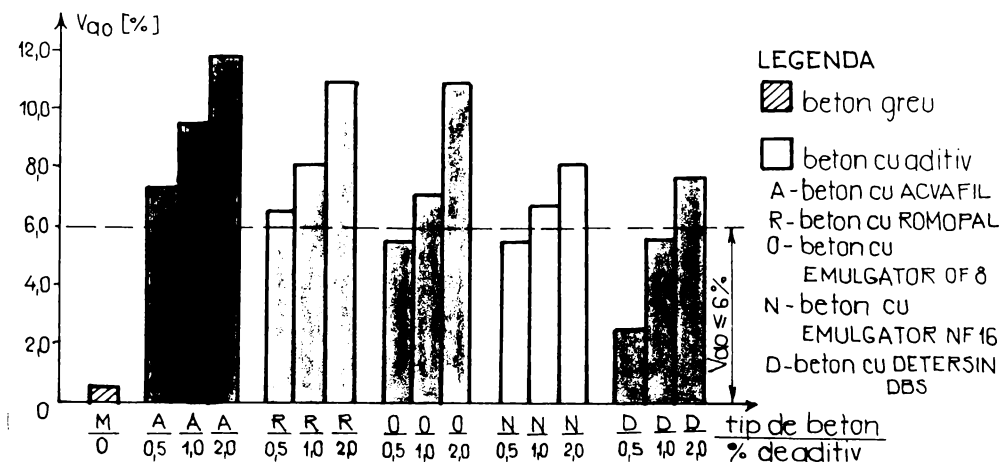


Fig.4.4. Variația volumului de aer oclus al betoanelor proaspete în funcție de tipul și procentul de aditiv.

Si în continuare s-a urmărit ca betoanele cu aditivii încercați să prezinte o lucrabilitate ridicată, densități aparente și volum de aer oclus apropiate de cele de betoanele martor.

Principalele caracteristici ale betoanelor proaspete testate sînt prezentate în tab.4.7.

Se desprind următoarele constatări :

- lucrabilitatea betonului proaspăt cu aditivi este îmbunătățită în majoritatea cazurilor. Tesarea betonului martor crește de la 5,0 cm la 15,0-22,0 cm la betoanele cu aditivi (excepție la betonul cu MESS 1), cele mai bune rezultate obținîndu-se la betoanele cu EMULGATOR NF 9, NF 20, NF 40, MESS 3, MESS 4A, MESS 4B și MEM 1B (fig.4.5).

- densitatea aparentă a betoanelor proaspete cu aditivi scade cu creșterea procentului de aditiv. Valorile cele mai apropiate de cele ale betonului martor le au betoanele cu MESS 1, MESS 2, MESS 4A, MESS 4B, MEM 1A, și MEM 1B (fig.4.6).

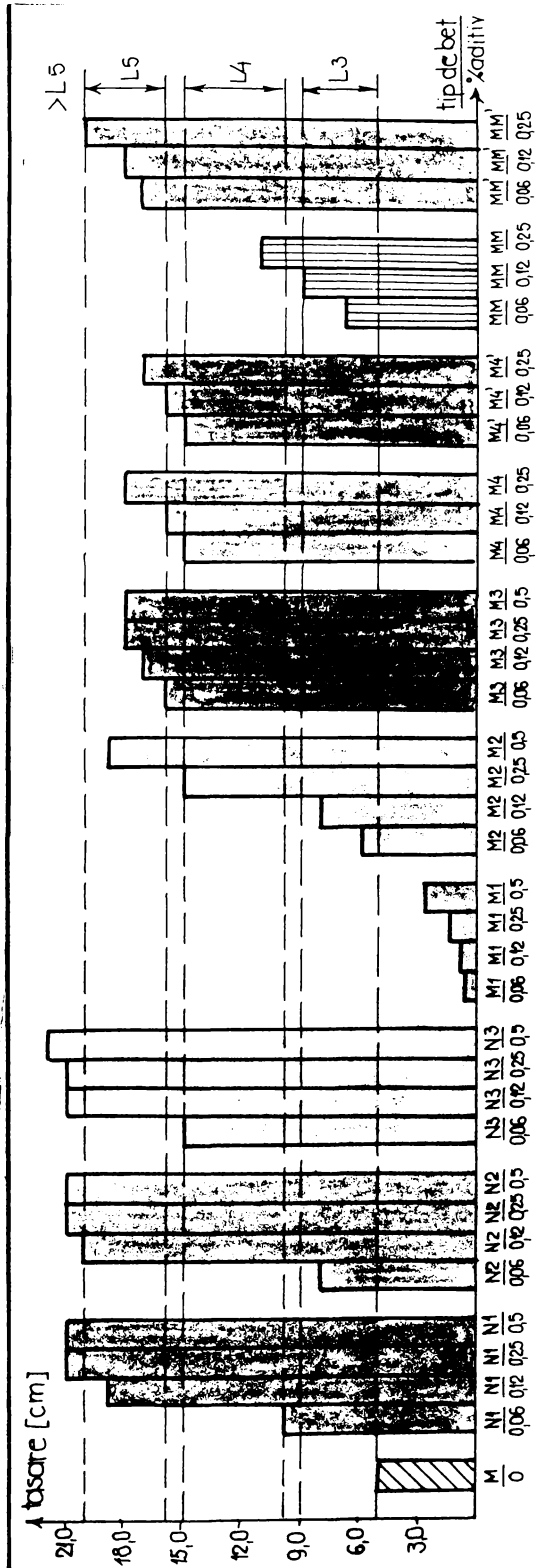
- volumul de aer oclus al betoanelor cu aditivi variază între 2,52-14,28%. Față de volumul de aer oclus al betoanelor martor cele mai apropiate valori le au betoanele cu MESS 1, MESS 4A, MESS 4B, MEM 1A și MEM 1B (fig.4.7).



Variatia principalelor caracteristici ale betoanelor proaspete cu aditivii testati in perioada 1981-1982

tabelul 4.7

Tipul de beton	Caracteristicile beto- nului proaspăt		lucrabilitate		$\rho_{bp}$ [ kg/m <sup>3</sup> ]	V <sub>ao</sub> [ % ]
	% aditiv		tasare [cm]	L		
0	1	2	3	4	5	
Beton cu EMULGATOR NF9	0,000	5,0	L3	2340	1,68	
	0,0625	10,0	L4	2300	3,36	
	0,125	19,0	L5	2160	9,24	
	0,250	21,0	>L5	2060	13,44	
	0,500	21,0	>L5	2040	14,28	
Beton cu EMULGATOR NF 20	0,000	5,0	L3	2340	1,68	
	0,0625	8,0	L3	2320	2,52	
	0,125	20,0	L5	2160	9,24	
	0,250	21,0	>L5	2120	10,92	
	0,500	21,0	>L5	2100	11,76	
Beton cu EMULGATOR NF 40	0,000	5,0	L3	2340	1,68	
	0,0625	15,0	L4	2300	3,36	
	0,125	21,0	>L5	2180	8,40	
	0,250	21,0	>L5	2140	10,08	
	0,500	22,0	>L5	2100	11,76	
Beton cu MESS 1	0,000	5,0	L3	2340	1,68	
	0,0625	0,5	L1	2335	1,89	
	0,125	1,0	L2	2320	2,52	
	0,250	1,5	L2	2310	2,94	
	0,500	2,5	L2	2290	3,78	
Beton cu MESS 2	0,000	5,0	L3	2340	1,68	
	0,0625	6,0	L3	2310	2,94	
	0,125	8,0	L3	2260	5,04	
	0,250	15,0	L4	2150	9,66	
	0,500	19,0	L5	2110	11,34	
Beton cu MESS 3	0,000	5,0	L3	2340	1,68	
	0,0625	16,0	L5	2210	7,14	
	0,125	17,0	L5	2170	8,82	
	0,250	18,0	L5	2150	9,66	
	0,500	18,0	L5	2090	12,18	
Beton cu MESS 4A	0,000	5,0	L3	2345	1,47	
	0,0625	15,0	L4	2360	0,84	
	0,125	16,0	L5	2350	1,26	
	0,250	18,0	L5	2340	1,68	
Beton cu MESS 4B	0,000	5,0	L3	2345	1,47	
	0,0625	15,0	L4	2325	2,52	
	0,125	16,0	L5	2310	2,94	
	0,250	17,0	L5	2300	3,36	
Beton cu MEM 1A	0,000	5,0	L3	2350	1,26	
	0,0625	7,0	L3	2375	0,21	
	0,125	9,0	L3	2380	0,10	
	0,250	11,0	L4	2380	0,10	
Beton cu MEM 1B	0,000	5,0	L5	2355	1,05	
	0,0625	12,0	L5	2370	0,42	
	0,125	18,0	L5	2365	0,63	
	0,250	20,0	L5	2365	0,63	

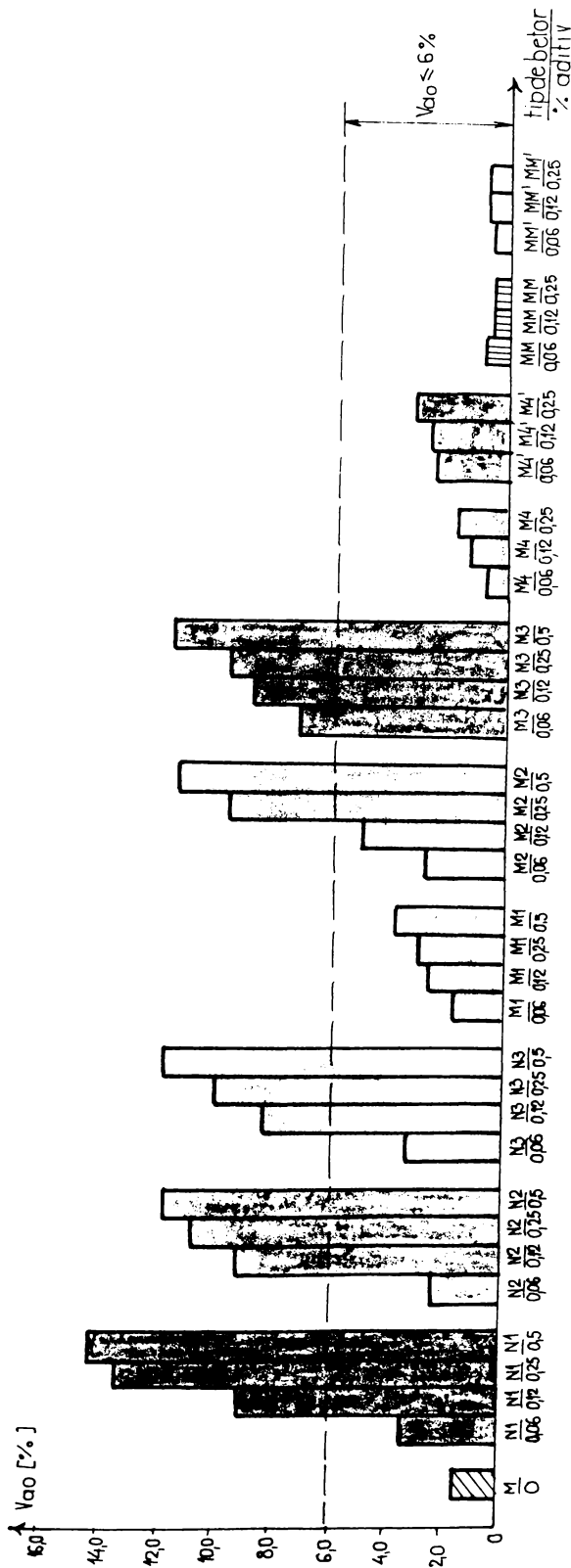


**LEGENDA :**

- beton maritor
- beton cu aditiv
- N1 beton cu EMULGATOR NFS
- N2 beton cu EMULGATOR NF 20
- N3 beton cu EMULGATOR NF 10
- M1 beton cu MESS 1
- M2 beton cu MESS 2
- M3 beton cu MESS 3
- M4 beton cu MESS 4A
- M4' beton cu MESS 4B
- MM beton cu MEM 1A
- MM' beton cu MEM 1B

Fig. 4.5 Variația tasării betoanelor proaspete în funcție de tipul și procentul de aditiv





**LEGENDA :**

- beton maritor
- beton cu aditiv
- M1 beton cu EMULGATOR NFS
- N2 beton cu EMULGATOR NF20
- N3 beton cu EMULGATOR NF10
- M1 beton cu MESS 1
- M2 beton cu MESS 2
- M3 beton cu MESS 3
- M4 beton cu MESS 4A
- M4' beton cu MESS 4B
- MM beton cu MEM 1A
- MM' beton cu MEM 1B

fig. 4.7 Variatia volumului de aer oclos al betoanelor proaspete in functie de tipul si procentul de aditiv

c) În ultima perioadă de testare, a anului 1983, s-au continuat cercetările cu ultima serie de 7 aditivi, a căror principale caracteristici tehnice au fost prezentate în tab.4.5.c.

Procentele de aditiv utilizate au fost cuprinse între 0,00-0,40% substanță uscată din cantitatea de ciment. Pentru a pune în evidență influența tipului și procentului de aditiv asupra betonului proaspăt s-au preparat mai multe amestecuri de beton martor și cu aditivi, utilizându-se compoziția de beton nr.2 (conf.b.).

Amestecarea s-a efectuat mecanic, în o betonieră cu amestecare prin cădere liberă, timpul total de amestecare al betoanelor cu aditivi fiind de 3 minute. La toate amestecurile s-a păstrat raportul a/c constant. Principalele caracteristici ale betonului cu aditivi testați sînt prezentate în tab.4.8.

Analizînd rezultatele obținute se poate aprecia că :

- Lucrabilitatea betonului proaspăt, determinată prin metoda tasării, se îmbunătățește sensibil la betoanele cu aditivi. Tasarea crește de la 5,0 cm la betonul martor, la 16,0-24,0 cm la betonul cu aditivi (fig.4.8).

Tasările cele mai mari le au betoanele cu aditivii  $\alpha$ . EMULGATO NR 10, P4, P5, P7, și P 11.

- Densitatea aparentă a betonului proaspăt cu aditivi scade cu creșterea procentului de aditiv (fig.4.9). Cele mai apropiate densități de cele ale betonului martor le au betoanele cu aditivi P4 și P5.

- Volumul de aer redus crește cu creșterea procentului de aditiv, variînd între 2,52-18,06% (fig.4.10).

Betoanele cu aditivi P4 și P5 au volumul de aer oclus cel mai apropiat de cel al betonului martor.

La sfîrșitul acestei prime faze de testare preliminară, în vederea selecționării aditivilor optimi din cei 22 încercați, pentru care rezultatele experimentale obținute în cele trei perioade de încercare au fost prezentate anterior, s-au considerat următoarele criterii de selecție :

1. Aditivul să îmbunătățească lucrabilitatea betonului proaspăt asigurînd creșterea sensibilă a tasării betonului cu aditiv față de cea a betonului martor, la același raport a/c ( $\geq$  L5 față de L3).

2. Procentul de aditiv utilizat să fie cît mai redus, pentru a obține un preț de cost pe  $m^3$  de beton cît mai scăzut, astfel ca aditivul să fie competitiv cu tipurile similare de aditivi din țară și străinătate.



3. Caracteristicile betonului proaspăt, densitatea aparentă și volumul de aer oclus, să fie cât mai apropiate de cele ale betonului martor, pentru a asigura obținerea unor rezistențe mecanice ale betonului întărit cel puțin egale cu ale betonului martor la același raport a/c.

Variația principalelor caracteristici ale betoanelor proaspete cu aditivii testați în perioada 1983.

tabelul 4.8

Tipul de beton	Caracteristicile betonului proaspăt		Lucrabilitate		$\rho_{bp}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$V_{ao}$ [%]
	% aditiv	tasare [cm]	L			
0	1	2	3	4	5	
Beton cu $\alpha$	0,00	5,0	L3	2350	1,26	
	0,05	21,0	>L5	2180	8,40	
	0,10	23,0	>L5	2060	13,44	
	0,20	23,0	>L5	2000	15,96	
	0,40	24,0	>L5	1975	17,01	
Beton cu EMULGATOR NF 10	0,00	5,0	L3	2350	1,26	
	0,05	19,0	L5	2150	9,66	
	0,10	22,0	>L5	2000	15,96	
	0,20	23,0	>L5	1980	16,80	
	0,40	24,0	>L5	1950	18,06	
Beton cu aditiv P 10	0,00	5,0	L3	2350	1,26	
	0,05	14,0	L4	2215	6,93	
	0,10	16,0	L5	2175	8,61	
	0,20	17,0	L5	2150	9,66	
	0,40	17,0	L5	2130	10,50	
Beton cu aditiv P 4	0,00	5,0	L3	2350	1,26	
	0,05	20,0	L5	2320	2,52	
	0,10	21,0	>5	2300	3,36	
	0,20	22,0	>5	2275	4,41	
	0,40	22,0	>5	2260	5,04	
Beton cu aditiv P 5	0,00	5,0	L3	2350	1,26	
	0,05	17,0	L5	2300	3,36	
	0,10	18,0	L5	2260	5,04	
	0,20	19,0	L5	2245	5,67	
	0,40	20,0	L5	2230	6,30	
Beton cu aditiv P 7	0,00	5,0	L3	2350	1,26	
	0,05	20,0	L5	2130	10,50	
	0,10	21,0	>L5	2100	11,76	
	0,20	22,0	>L5	2080	12,60	
	0,40	23,0	>L5	2050	13,86	
Beton cu aditiv P 11	0,00	5,0	L3	2350	1,26	
	0,05	15,0	L4	2300	3,36	
	0,10	21,0	>L5	2190	7,98	
	0,20	21,0	>L5	2155	9,45	
	0,40	22,0	>L5	2100	11,76	

# LEGENA

-  beton maritor
-  beton cu aditiv
- $\alpha$  beton cu aditiv  $\alpha$
- N beton cu aditiv NF10
- P1 beton cu aditiv P18
- P4 beton cu aditiv P4
- P5 beton cu aditiv P5
- P7 beton cu aditiv P7
- P11 beton cu aditiv P11

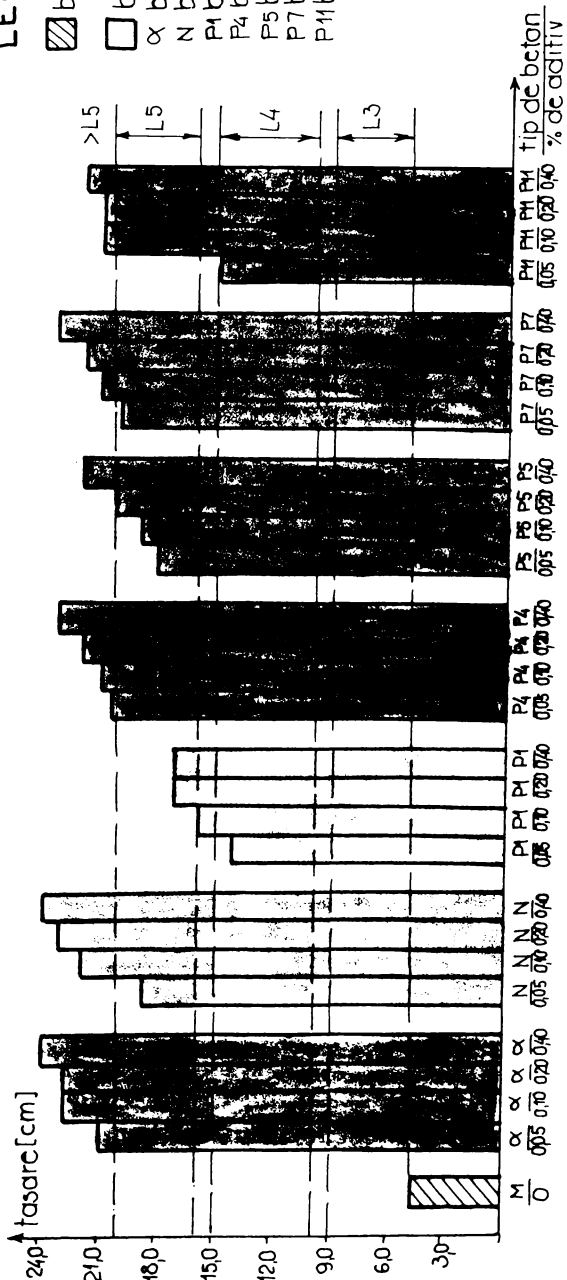


fig. 4.8 Variația tasării betoanelor proaspete în funcție de tipul și procentul de aditiv

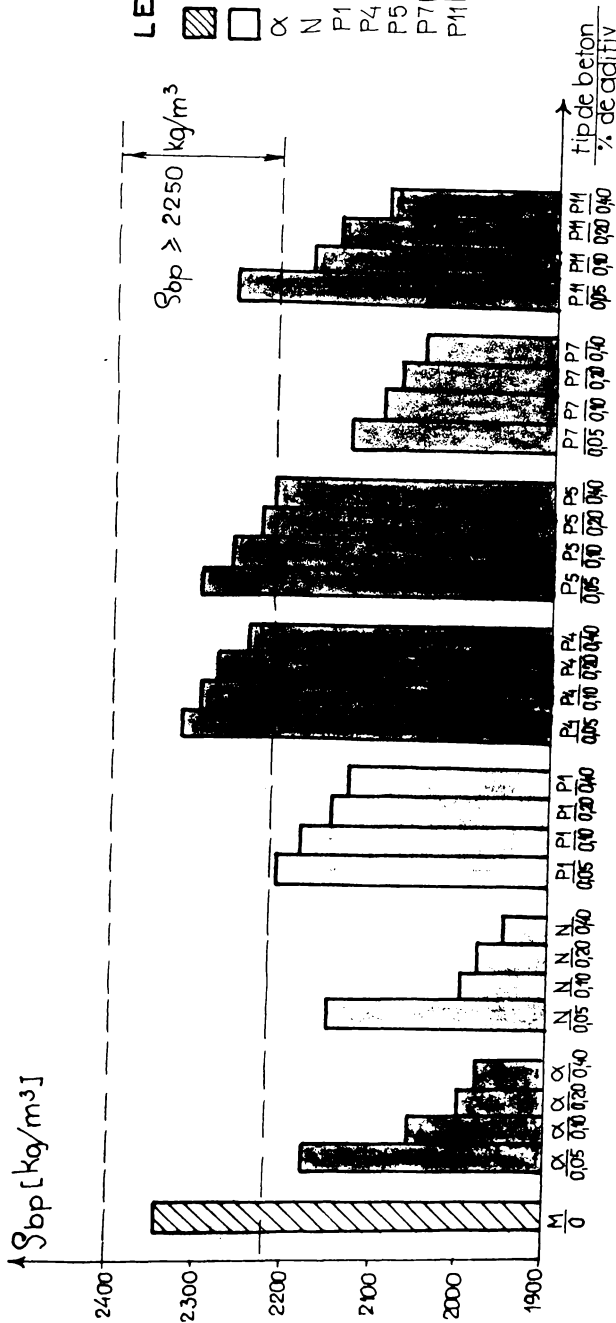


Fig. 4.9 Variația densității aparente a betoanelor proaspete în funcție de tipul și procentul de aditiv



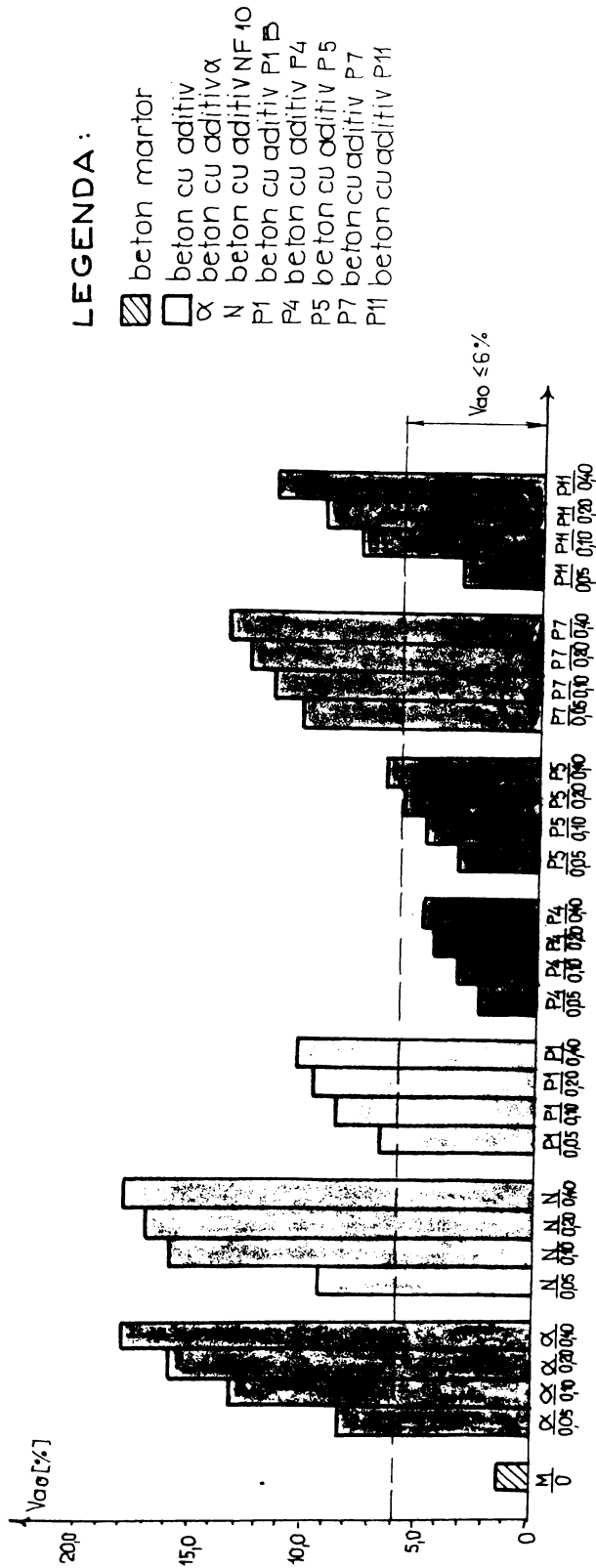


fig. 4.10 Variația volumului de aer occlus al betoneilor proaspete în funcție de tipul și procentul de aditiv.

4. Posibilitatea producerii aditivului selecționat pe cale industrială, în vederea asigurării cantităților necesare utilizării lui în producție la realizarea betoanelor și mortarelor. Stabilirea aditivilor optimi s-a făcut din punct de vedere calitativ și cantitativ.

În primul rând s-a făcut o selecționare calitativă (tab.4.9) alegându-se aditivii care utilizați la realizarea betoanelor îndeplinesc concomitent criteriile de lucrabilitate, densitate aparentă și volum de aer oclus: P4, P5, MESS 4A, MESS 4B, și MESS 1B.

Pentru aprecierea din punct de vedere cantitativ s-au considerat doi indici de eficiență ai betoanelor realizate cu diferitele tipuri de aditivi:

$$- \mathcal{E} = \frac{T \cdot S_{bp}}{A} \quad (\text{g/cm}^2, \%) \quad (4.1)$$

$$- \delta = \frac{T}{A \cdot S_{bp}} \quad (\text{cm}^4/\%, \text{g}) \quad (4.2)$$

unde  $T$  = tasarea betonului proaspăt (cm) ;

$S_{bp}$  = densitatea aparentă a betonului proaspăt ( $\text{g/cm}^3$ ) ;

$A$  = cantitatea de aditiv (%).

Din punct de vedere al criteriilor prezentate anterior, tasarea și densitatea aparentă trebuie să aibă valorile maxime iar procentul de aditiv să fie minim, rezultând că interesează valorile maxime ale lui  $\mathcal{E}$ .

Având în vedere că în timpul testărilor preliminare s-a constatat că unii aditivi introduc aer oclus în beton în cantități mari și că densitatea aparentă a betonului proaspăt scade sensibil, s-a introdus și indicele  $\delta$  care s-a calculat corespunzător densităților aparente minime și tasării și procentului de aditiv aferent.

Valorile lui  $\mathcal{E}$  și  $\delta$  calculate pentru toate cele 22 tipuri de betoane cu aditivi sînt date în tab.4.10.

În fig.4.11 s-au reprezentat valorile cele mai semnificative ale lui  $\mathcal{E}$  și  $\delta$  în funcție de densitatea aparentă maximă, respectiv minimă.

Se constată că din punctul de vedere al lui  $\mathcal{E}_{\max}$  cele mai bune rezultate le dau betoanele cu P4 și P5 iar al lui  $\delta_{\max}$  betoanele cu  $\alpha$ , EMULGATOR NF 9, NF 10, ACVAFIL, ROMOPAL LN, EMULGATOR OF & etc.

Rezultatele cercetărilor conduc din acest punct la două posibile direcții de cercetare :

1. Posibilitatea obținerii unor noi tipuri de aditivi super-

plastifianți pentru betoane grele și mortare, direcție în care se înscriu cercetările prezentei teze de doctorat.

2. Posibilitatea obținerii unor noi tipuri de aditivi pentru betoane ușoare spumate, direcție urmată de alte colective de cercetare din cadrul catedrei CCI. /45/.

În cadrul primei direcții de cercetare s-au continuat testările cu cei doi aditivi selecționați, P4 și P5.

#### 4.4.2. Testarea finală a aditivilor selecționați și definitivarea compoziției aditivului superplastifiant SP 4.

##### 4.4.2.1. Incercări experimentale pe betoane grele cu aditivi P4 și P5 și rezultatele obținute

În condițiile în care în urma etapei preliminară au fost selecționați cei doi aditivi optimi, P4 și P5, pe baza criteriilor de selecție prezentate, în cadrul testării finale ei au fost utilizați la realizarea de betoane, pe care s-au efectuat încercări atât în stare proaspătă cât și întărită.

Materialele componente au avut aceleași caracteristici de bază ca și cele prezentate în §.4.4.1.1. Compoziția betonului martor, la același raport a/c cu al betonului fluid cu aditiv a fost:  $A=210 \text{ l/m}^3$ ,  $C=405 \text{ kg/m}^3$ ,  $Ag=1730 \text{ kg/m}^3$ , iar a betonului cu raport a/c redus a fost:  $A=188 \text{ l/m}^3$ ,  $C=405 \text{ kg/m}^3$ ,  $Ag=1730 \text{ kg/m}^3$ . Cimentul utilizat a fost P40.

S-au realizat amestecuri de beton martor precum și cu aditivii P4 și P5 în procent de 0,01% substanță uscată din cantitatea de ciment. Amestecarea s-a efectuat mecanic, în o betonieră cu amestecare prin cădere liberă, timpul total de amestecare fiind de 3 minute, aditivii fiind introduși în partea a doua a amestecării (ultimele 2 minute) în restul de 20-30% din cantitatea de apă de preparare.

S-a realizat amestecuri de beton la același raport a/c cu al betonului martor precum și la raport a/c redus.

Pe betoanele proaspete s-au determinat lucrabilitatea (metoda tasării), densitatea aparentă și volumul de aer occlus.

Pentru încercările pe betoanele întărite s-au turnat cuburi cu latura de 14,1 cm, determinându-se densitatea aparentă și rezistența la compresiune la 1,3,7 și 28 zile. Rezultatele experimentale obținute sînt prezentate în tab.4.11.

Selectionarea aditivilor optimi din punct de vedere calitativ  
in functie de criteriile de selectie.

tabel 4.9

Nr crt.	criteriile de selectie		$L \geq L_5$	$S_{bp} \geq 2250$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Volum de aer oclus $\leq 6\%$
	Tipul de beton	%ad			
0	1	2	3	4	5
1	Beton cu ACVAFIL	0,50	—	—	—
		1,00	*	—	—
		2,00	*	—	—
2	Beton cu ROMOPAL LN	0,50	—	—	—
		1,00	—	—	—
		2,00	*	—	—
3	Beton cu EMULGATOR OF8	0,50	—	*	*
		1,00	*	—	—
		2,00	*	—	—
4	Beton cu EMULGATOR NF16	0,50	—	*	*
		1,00	*	—	—
		2,00	*	—	—
5	Beton cu DETERSIN DB5	0,50	—	*	*
		1,00	—	*	*
		2,00	*	—	—
6	Beton cu EMULGATOR NF9	0,0625	—	*	*
		0,125	*	—	—
		0,250	*	—	—
		0,500	*	—	—
7	Beton cu EMULGATOR NF20	0,0625	—	*	*
		0,125	*	—	—
		0,250	*	—	—
		0,500	*	—	—
8	Beton cu EMULGATOR NF40	0,0625	—	*	*
		0,125	*	—	—
		0,250	*	—	—
		0,500	*	—	—
9	Beton cu MESS 1	0,0625	—	*	*
		0,125	—	*	*
		0,250	—	*	*
		0,500	—	*	*
10	Beton cu MESS 2	0,0625	—	*	*
		0,125	—	*	*
		0,250	—	—	—
		0,500	*	—	—
11	Beton cu MESS 3	0,0625	*	—	—
		0,125	*	—	—
		0,250	*	—	—
		0,500	*	—	—
12	Beton cu MESS 4A	0,0625	—	*	*
		0,125	*	*	*
		0,250	*	*	*
13	Beton cu MESS 4B	0,0625	—	*	*
		0,125	*	*	*
		0,250	*	*	*
14	Beton cu MEM 1A	0,0625	—	*	*
		0,125	—	*	*
		0,250	—	*	*

continuare tab. 4.9

0	1	2	3	4	5
15	Beton cu MEM 1B	0,0625	—	*	*
		0,125	*	*	*
		0,250	*	*	*
16	Beton cu aditiv α	0,05	*	—	—
		0,10	*	—	—
		0,20	*	—	—
		0,40	*	—	—
17	Beton cu EMULGATOR NF 10	0,05	*	—	—
		0,10	*	—	—
		0,20	*	—	—
		0,40	*	—	—
18	Beton cu aditiv P1B	0,05	—	—	—
		0,10	*	—	—
		0,20	*	—	—
		0,40	*	—	—
19	Beton cu aditiv P4	0,05	*	*	*
		0,10	*	*	*
		0,20	*	*	*
		0,40	*	*	*
20	Beton cu aditiv P5	0,05	*	*	*
		0,10	*	*	*
		0,20	*	*	*
		0,40	*	—	—
21	Beton cu aditiv P7	0,05	*	—	—
		0,10	*	—	—
		0,20	*	—	—
		0,40	*	—	—
22	Beton cu aditiv P11	0,05	—	*	*
		0,10	*	—	—
		0,20	*	—	—
		0,40	*	—	—

Analizând rezultatele obținute se constată următoarele.:

a) la betoanele fluide cu aditivi P4 și P5 realizate la același raport a/c cu al betonului martor.

- lucrabilitatea betoanelor cu aditivii P4 și P5 crește de la L3 la betonul martor la L5 respectiv L4. Pasarea crește de la 5,0 cm la betonul martor la 17,0 cm (+240%) respectiv 12 cm (+140%), betoanele devenind fluide.

- densitatea aparentă a betoanelor fluide proaspete cu aditivi P4 și P5 se menține apropiată de cea a betonului martor, variind între -0,64... -1,15% față de martor. La betoanele întărite (la 28 zile)

ea variază între -0,27% față de marter la betonul cu P4, respectiv - la betonul cu P5.

- volumul de aer oclus nu depășește valoarea limită admisă de 6%, variind între 1,47% la betonul cu P4 respectiv 1,97% la betonul cu P5.

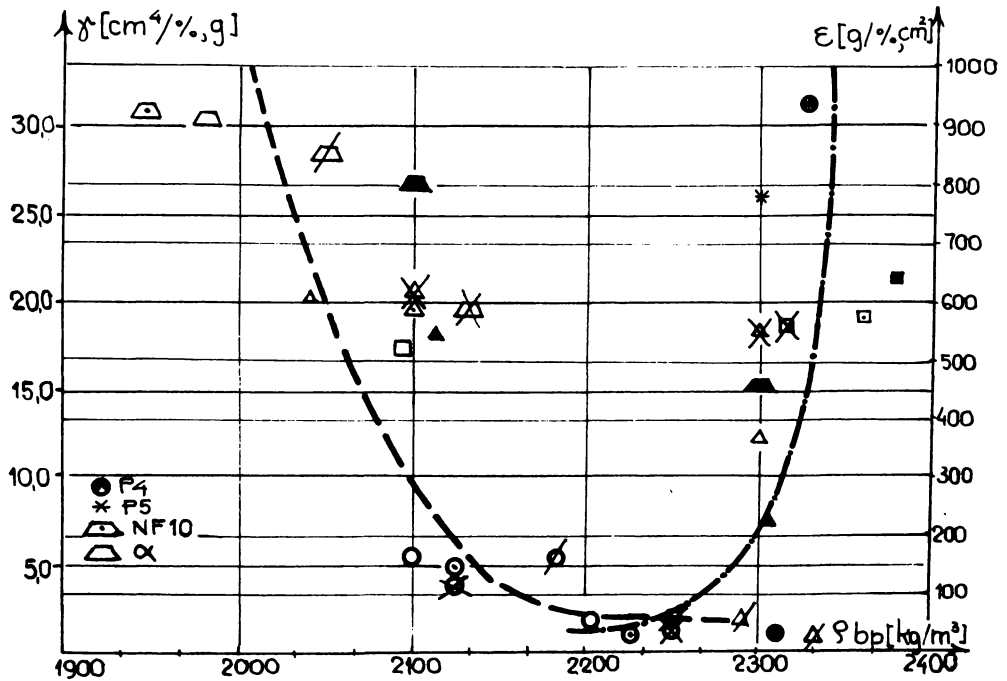


Fig.4.11. Variația parametrilor  $\epsilon$  și  $\delta$  în funcție de  $S_{bp}$  la betoanele cu aditivii testați.

- rezistența la compresiune a betoanelor cu aditivii P4 și P5 la 28 zile variază între +1,92%, respectiv -8,70% față de betonul marter.

Variația rezistenței la compresiune la 1,3,7 și 28 zile a betoanelor fluide cu aditivii P4 și P5 comparativ cu betonul marter este prezentată în fig.4.12.

Din cele prezentate se constată că cele mai bune rezultate la toate caracteristicile fizico-mecanice ale betoanelor proaspete și întărite se obține prin utilizarea aditivului P4.

b) La betoanele cu raport a/c redus cu aditivul P4:

- lucrabilitatea betonului marter și cu aditiv este egală L3,

Selectionarea aditivilor optimi din punct de vedere cantitativ în funcție de criteriile de selecție

tabelul 4.10

Nr.crt	Indicatori de eficiență ai criteriului de selecție		$\varepsilon = \frac{T \cdot S_{bp}}{A}$	$\delta = \frac{T}{A \cdot S_{bp}}$	$S_{bp, \text{min. max}}$
	Tipul de beton		[g/%, cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>4</sup> /%, g]	[kg/m <sup>3</sup> ]
0	1		2	3	4
1	Beton cu ACVAFIL	○	55,12	5,23	2100 - 2205
2	Beton cu ROMOPAL LN	⊙	48,95	4,71	2120 - 2225
3	Beton cu EMULGATOR OF 8	⊗	45,00	4,71	2120 - 2250
4	Beton cu EMULGATOR NF 16	⊕	49,50	5,03	2185 - 2250
5	Beton cu DETERSIN DBS	●	27,84	4,77	2200 - 2320
6	Beton cu EMULGATOR NF 9	△	368,0	20,58	2040 - 2300
7	Beton cu EMULGATOR NF 20	▲	345,0	20,0	2100 - 2160
8	Beton cu EMULGATOR NF 40	★	552,0	20,95	2100 - 2300
9	Beton cu MESS 1	♣	18,68	2,18	2290 - 2255
10	Beton cu MESS 2	▲	221,76	18,00	2110 - 2310
11	Beton cu MESS 3	□	565,76	17,22	2090 - 2210
12	Beton cu MESS 4 A	▣	566,40	30,76	2340 - 2360
13	Beton cu MESS 4 B	⊗	558,00	29,56	2300 - 2320
14	Beton cu MEM 1A	⊕	266,00	30,25	2375 - 2380
15	Beton cu MEM 1B	■	644,64	33,82	2365 - 2370
16	Beton cu α	▵	915,60	30,37	1975 - 2180
17	Beton cu EMULGATOR NF 10	▱	817,00	30,76	1950 - 2150
18	Beton cu P1B	⊗	620,20	19,75	2130 - 2215
19	Beton cu P4	⊙	928,0	25,44	2260 - 2320
20	Beton cu P5	*	782,0	22,42	2230 - 2300
21	Beton cu P7	♣	852,0	28,04	2050 - 2130
22	Beton cu P11	■	459,9	26,19	2100 - 2190

Variatia principalelor caracteristici fizico-mecanice ale betoanelor cu aditivii P4 și P5 selectonați în faza preliminară.

tabelul 4.11

Z	Caracteristici fizico-mecanice			Beton proaspăt			Beton întărit									
	Tipul de beton	a/c	V <sub>ad</sub> [%]	lucrabilitate	S <sub>bp</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	V <sub>ao</sub> [%]	S <sub>b</sub> [kg/m <sup>3</sup> ] la:		R <sub>b</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] la:		7 zile	28 zile	1zi	3 zile	7 zile	28 zile
							tasare [cm]	L	1 zi	3 zile						
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15
1	Beton maritor	0,52	0,00	5,0	L3	2360	0,84	2355	2321	2304	2286	7,5	17,0	22,6	31,2	31,2
2	Beton fluid cu P4	0,52	0,01	17,0	L5	2345	1,47	2339	2315	2300	2280	8,0	18,0	23,0	31,8	31,8
3	±Δ (%)	-	-	+340	-	-0,64	+75,0	-0,68	-0,26	-0,18	-0,27	+6,66	+5,88	+1,76	+1,92	+1,92
4	Beton fluid cu P5	0,52	0,01	12	L4	2333	1,97	2300	2267	2250	2232	6,0	16,0	18,5	28,5	28,5
5	±Δ (%)	-	-	+240	-	-1,15	+234,0	-2,34	-2,33	-2,35	-2,37	-20,0	-5,89	-18,15	8,70	8,70
6	Beton cu aditiv P4 cu raport a/c redus	0,46	0,01	5,0	L3	2370	0,42	2365	2340	2325	2305	10,3	22,7	27,0	36,5	36,5
7	±Δ (%)	-11,6	-	-	-	+0,42	-50,0	+0,42	+0,81	+0,91	+0,83	+37,3	+33,5	19,4	+16,9	+16,9



La aceeași lucrabilitate L3 (tasarea 5,0 cm) raportul a/c s-a redus la betonul cu aditiv cu 11,6%.

- densitatea aparentă a betoanelor proaspete cât și întărite este puțin superioară betonului martor (+0,42% respectiv +0,83%) ;

- rezistența la compresiune la 28 zile a betoanelor cu aditiv P4 prezintă un spor de rezistență de 16,9% față de betonul martor. Variația rezistențelor la compresiune la 1,3,7 și 28 zile a betonului cu aditiv P4 comparativ cu betonul martor este prezentată în fig.4.13.

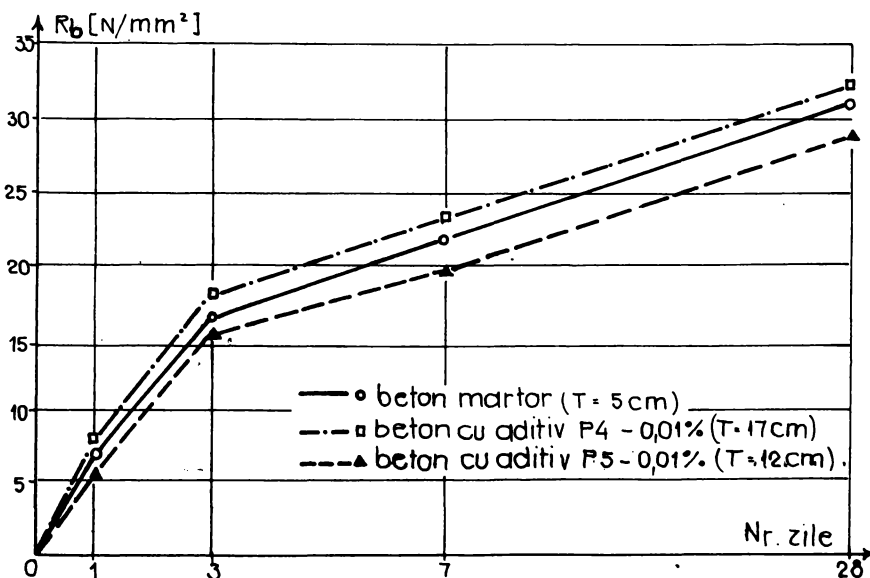


Fig.4.12. Variația în timp a rezistențelor la compresiune a betoanelor cu aditivi P4 și P5 la același raport a/c cu al betoanelor martor.

Se constată că se obțin sporuri de rezistență la 1 zi de 37,3% și la 28 zile de 16,9% față de betonul martor. Având în vedere că utilizarea superplastifianților este considerată eficientă /63/ dacă sporul de rezistență inițială (1 zi) reprezintă cel puțin 2% pentru fiecare procent din apa de preparare redusă, iar sporul de rezistență finală (28 zile) reprezintă cel puțin 1% pentru fiecare procent din apa de preparare redusă, aditivul P4 a fost selecționat ca aditiv superplastifiant care se poate utiliza la realizarea betoanelor și mortarelor.

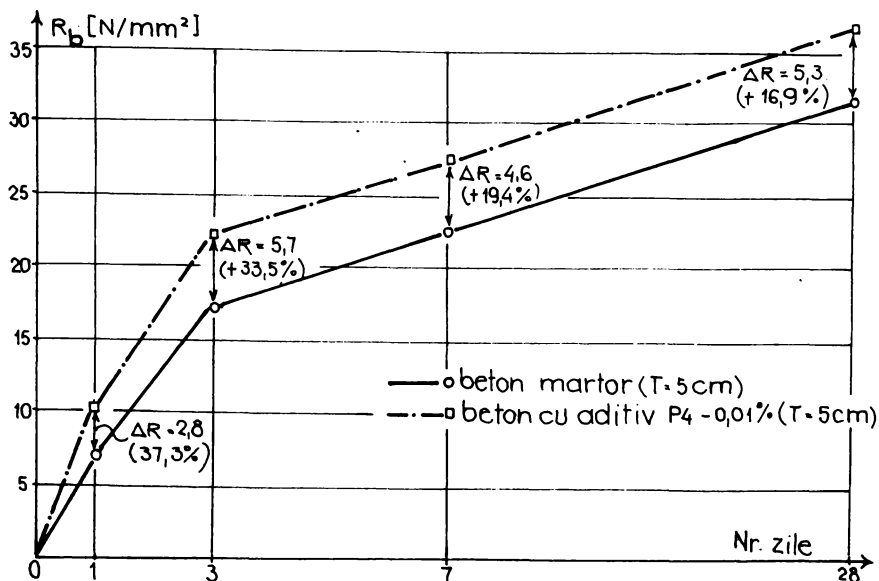


Fig.4.13. Variația în timp a rezistenței la compresiune a betonului cu aditiv P4, la raport a/c redus față de betonul mator.

#### 4.4.2.2. Definitivarea compoziției aditivului superplastifiant SP4. Mod de obținere și caracteristici tehnice.

Date generale. Compoziția aditivului superplastifiant SP4 s-a definitivat pe baza încercărilor experimentale efectuate pe betoane și mortare. Varianta finală a fost propusă spre brevetare la OSIM București, cu nr.117.760/26.02.1985 obținându-se Brevetul de invenție nr.91.423/25.09.1986 cu titlul " Compoziție aditivă superplastifiantă pentru betoane și procedeu de obținere a acesteia"(fig.4.14)."

Aditivul superplastifiant SP4 este un aditiv pe bază de compuși polifuncționali derivați de la polietilenpoliamină și conform invenției :

- completează gama de aditivi pentru betoane cu noi produse cu compoziții chimice complet diferite de cele cunoscute ;
- asigură superplastifierea betoanelor și mortarelor la doze reduse, de 0,02-0,10% soluție din cantitatea de ciment, ceea ce

este de 2-30 ori mai puțin față de alți aditivi similari din țară și străinătate ;

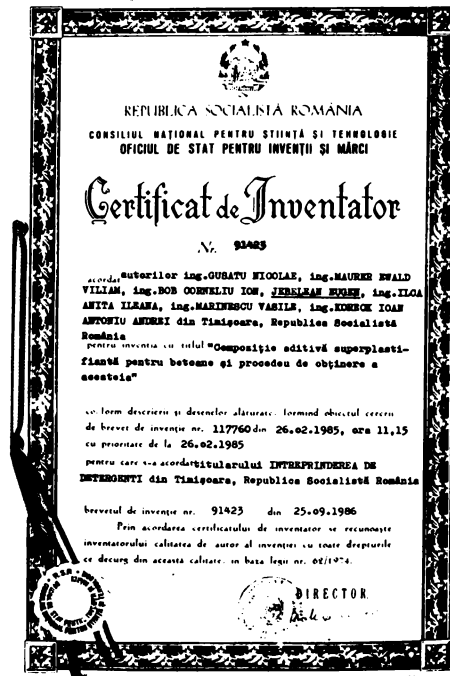
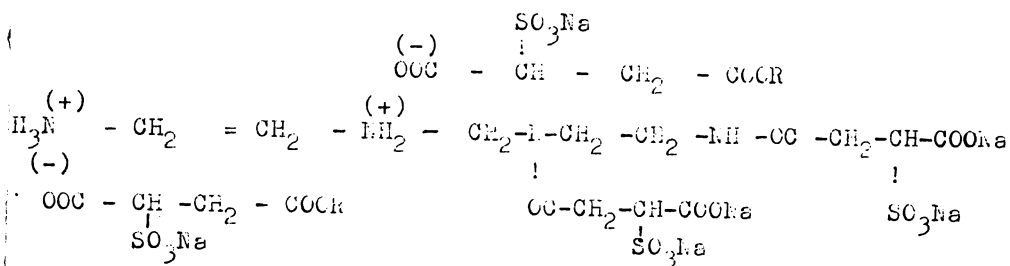


Fig.4.14. Brevet de invenție nr.91.423/25.09.1986, Compoziție aditivă superplastifiantă pentru betoane și procedeu de obținere a acesteia.

- se obține din materii prime uzuale și disponibile ;
- procedeu de obținere este simplu și nu necesită instalații complicate ;
- reacțiile fiind exoterme, nu necesită la fabricare un aport exterior de căldură ;

Mod de obținere . Aditivul superplastifiant SP4 are următoarea compoziție: 25-50% derivat al trietilentetramină și 75-50% apă.

Derivatul trietilentetraminei are următoarea structură chimică:



unde : R = C<sub>4</sub>-C<sub>8</sub>

aditivul SP4 se obține în trei faze și anume :

- neutralizarea parțială a trietilentetraminei cu monoesteri maleici derivați de la alcooli a căror catenă hidrocarbonată poate varia între C<sub>4</sub> și C<sub>8</sub> ;
- obținerea amidei acidului maleic ;
- sulfonarea cu sulfat de sodiu.

Caracteristici tehnice ale aditivului superplastifiant SP4

Aditivul superplastifiant SP4 este un aditiv superplastifiant (superfluidificator) - reducător de apă. El este produs de Intreprinderea de Detergenți Timișoara pe baza Caietului de sarcini nr.54 LD 84 și trebuie să îndeplinească condițiile de calitate prezentate în tab.4.12. El face parte din grupa IV-a de aditivi superplastifianți- aditivi superplastifianți diverși.

Caracteristicile tehnice ale aditivului superplastifiant SP4  
tabelul 4.12

Nr. crt	Proprietăți	SP4
1	Aspect	lichid viscos
2	Culoare	galben-brun-roșcat
3	Conținut de substanță activă, min [%]	50,0
4	Densitate [ 20°C ], [g/cm <sup>3</sup> ]	1,10 ± 0,10
5	Viscozitate [ 20°C ], [cP]	2-5
6	pH (soluție 2%)	7,0-8,5

Aditivul se livrează sub formă de soluție, cu un conținut de substanță activă de minim 50,0%, în butoaie de polietilenă. Fiecare

lot de aditiv trebuie să fie însoțit de certificatul de calitate eliberat de producător. Înainte de utilizare se va verifica îndeplinirea condițiilor tehnice de calitate.

Nu se vor utiliza loturile de aditiv care nu au un certificat de calitate și care nu îndeplinesc condițiile de calitate prevăzute prin fișa tehnică a aditivului.

Depozitarea se face în spații închise, ferite de umezeală.

Temperatura minimă nu trebuie să fie sub + 5°C.

Termenul de garanție al produsului este de 12 luni.

#### 4.5. Considerații teoretice și cercetări experimentale privind mecanismul de acțiune al aditivului superplastifiant SP4

##### 4.5.1. Considerații teoretice

Aditivii superplastifianți se clasifică după substanțele chimice din care sînt produși în următoarele 4 tipuri: MFS, NFS, LSCM și DIVERSI (cap.2, paragraful 2.2.2).

Ei acționează în sistemul ciment-apă-agregate prin următoarele mecanisme /25/, /31/, /33/, /43/, /50/, /58/, /63/, /72/, /99/, /101/, /104/, /122/, /123/, /151/, /153/ ;

- a) micșorarea tensiunii superficiale a apei ;
- b) orientarea particulelor de ciment încît le sporește gradul de dispersie ;
- c) producerea unui film lubrifiant la suprafața particulelor, rezultînd o mărire a lunecărilor.

Cele 4 tipuri de aditivi superplastifianți, au acțiuni diferite, după cum urmează . Mecanismul de acțiune al aditivilor din primele două grupe (tip MFS și NFS), care dețin ponderea principală de utilizare în producție în prezent, se explică prin procese fizico-chimice de adsorbție a lor la suprafața granulelor de ciment și parțial a produselor de hidratare, creînd filme (pelicule) lubrifiante în jurul particulelor individuale (c). Acestea exercită o acțiune de microlubrifiere, care împiedică (pentru un timp limitat la maximum 2-4 ore) aglomerarea (flocularea) lor, asigurînd o mobilitate maximă a pastelor de ciment, mortarelor și betoanelor, prin anihilarea totală sau parțială a forțelor de frecare internă, comparativ cu amestecurile similare preparate fără aditivi (fenomen foarte bine pus în

evidență prin cercetări microscopice).

Superplastifianții din grupa a doua (tip NFS) acționează și prin micșorarea tensiunii superficiale (a), sporind în același timp și gradul de dispersie al particulelor de ciment (b).

Aditivii superplastifianți din grupa a treia (tip LSCM) acționează prin micșorarea tensiunii superficiale a apei (a) iar cei din grupa a patra (tip -LIVERSI) prin micșorarea tensiunii superficiale (a) și prin sporirea gradului de dispersie a particulelor de ciment (b).

Datele prezentate anterior se referă în principal la aditivii superplastifianți din clasele 1,2 aditivi superfluidificatori sau superreducători de apă, precum și aditivi cu efect mixt (conform clasificării după efectul la utilizare prezentat în cap.2, paragraful 2.2.2) care constituie ponderea importantă a aditivilor superplastifianți utilizați în practică.

În cazul aditivilor superplastifianți cu efect mixt (clasa 2-a), de superplastifiant și antrenor moderat de aer, la cele prezentate anterior privind mecanismul de acțiune, intervine suplimentar efectul de antrenare de aer, care favorizează creșterea efectului de lubrifiere și a efectului de anihilare a forțelor de frecare internă (c) având ca rezultat o puternică acțiune de fluidifiere a pastelor de ciment, mortarelor și betoanelor.

#### 4.5.2. Cercetări experimentale privind mecanismul de acțiune al aditivului superplastifiant SP4

Aditivul SP4 se încadrează în grupa a 4-a de aditivi superplastifianți (aditivi diverși), având un caracter de superplastifiant și reducător de apă.

Pentru a urmări efectul aditivului SP4 asupra pastelor de ciment și betoanelor, prin prisma acțiunii de superfluidifiere a pastelor de ciment și betoanelor proaspete precum și a posibilităților de reducere a apei de preparare, s-au propus prin programul experimental, următoarele cercetări :

- Cercetări experimentale pe paste de ciment ;
- Cercetări experimentale pe betoane.

##### 4.5.2.1. Cercetări experimentale pe paste de ciment

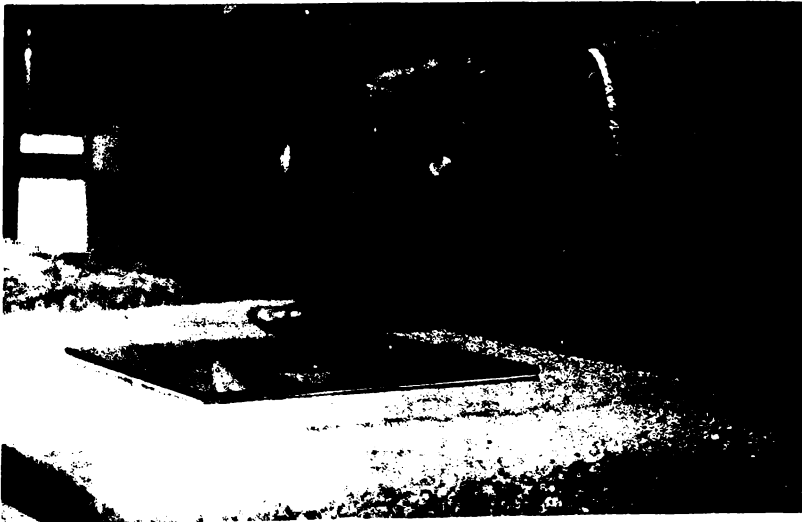
Pentru a stabili mecanismul de acțiune al aditivului SP4 s-au efectuat determinări privind hidratarea și întărirea cime-

tului. Ele au constat în diferite teste și încercări efectuate asupra pastelor de ciment proaspete și întărite pentru a pune în evidență efectul aditivului SP4.

- Teste calitative de verificare a fluidității pastelor de ciment, cu aditiv SP4 la cantitatea de apă de preparare egală cu a pastelor de ciment martor, care indică în mod calitativ, printr-un test rapid și ușor de efectuat, efectul de fluidifiere a pastelor de ciment (fig.4.15).



a)



b)

Fig.4.15. Efectul de fluidifiere a pastelor de ciment  
a) Pastă de ciment preparată cu 30% apă.  
b) Pastă de ciment preparată cu 30% apă, în care s-a introdus aditiv superplastifiant SP4 -0,05%.

- Stabilirea timpului de amestecare, a timpului optim de introducere a aditivului precum și a procentului optim de utilizare a aditivului pentru obținerea unei fluidifieri maxime a pastelor de ciment.

Pentru încercări s-a utilizat ciment Pe 35, în cantitate de 500 g, pastele de ciment mător și cu aditiv SP4 s-au preparat la același raport a/c = 0,30, prin amestecare mecanică. Aditivul s-a utilizat în următoarele procente soluție din cantitatea de ciment: 0,0250; 0,05; 0,10; 0,20; 1,0; 2,0; 3,0.

S-au preparat următoarele 4 tipuri de probe :

- Probă mător - PM, timpul de amestecare a apei cu cimentul , 3 minute ;
- Probă cu aditiv - PA<sub>1</sub>, timpul de amestecare 3 minute, aditivul a fost introdus inițial în apa de preparare ;
- Probă cu aditiv - PA<sub>2</sub>, timpul de amestecare 5 minute, aditivul a fost introdus inițial în apa de preparare ;
- Probă cu aditiv- PA<sub>3</sub>, timpul de amestecare 5 minute, aditivul a fost introdus după 3 minute de amestecare a apei cu cimentul, amestecarea continuând încă 2 minute.

Rezultatele experimentale obținute pe cele 4 tipuri de paste sînt prezentate în fig.4.16.

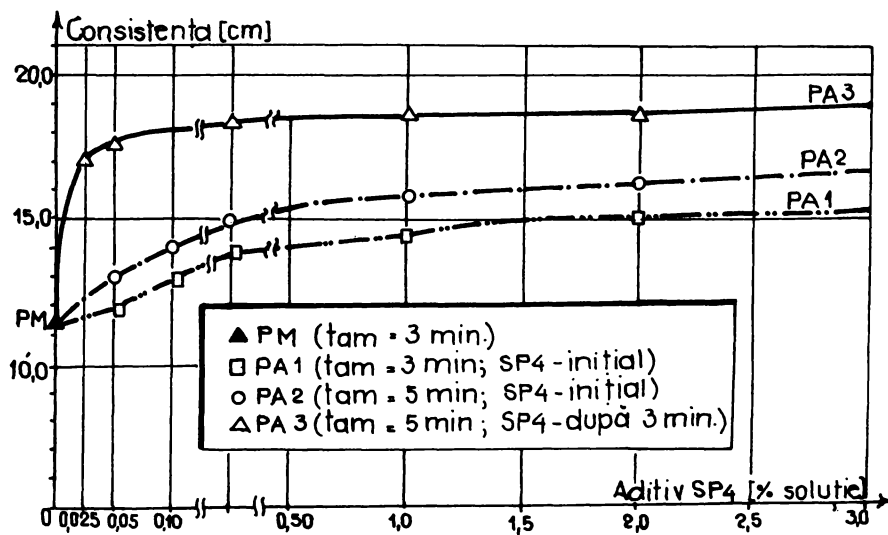


Fig.4.16. Fluidifiera pastelor de ciment cu aditiv superplastifiant SP4 în funcție de timpul de amestecare, timpul de introducere al aditivului în amestec și procentul de aditiv.



Se constată o accentuare a fluidifierii pastelor de ciment cu aditiv SP4 față de cele martor, cele mai bune rezultate obținându-se la proba PA<sub>3</sub>, efectul maxim de fluidifiere se produce la timpul de amestecare de 5 minute și dacă aditivul se introduce în amestec după 3 minute de amestecare a apei cu cimentul. Rezultatul este asemănător cu cel obținut pe pastele de ciment cu aditiv VINC I /127/. De asemenea se constată că oca 90% din fluidifierea maximă a pastelor de ciment se obține la procente reduse de aditiv SP4, de 0,02-0,10% soluție din cantitatea de ciment.

- Timpul de priză al pastelor de ciment cu aditiv SP4

Incercările s-au efectuat pe ciment Pa 35. S-au preparat paste de ciment martor și cu aditiv pe care s-a determinat timpul de început și de sfârșit de priză. Probele cu aditiv s-au realizat cu apa de preparare în cantitate egală cu a martorului și cu consistență (lucrabilitate) egală cu martorului.

Rezultatele experimentale sînt prezentate în fig.4.17.

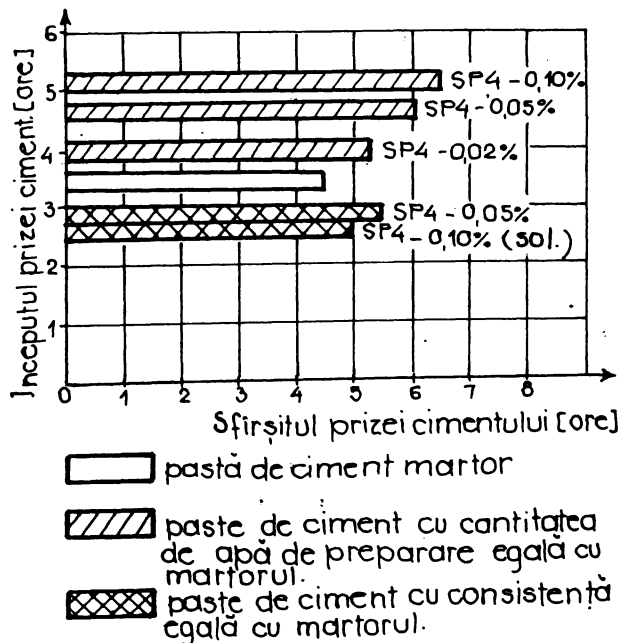


Fig.4.17. Variația timpului de priză al cimentului Pa 35 cu aditiv superplastifiant SP4 în funcție de cantitatea de apă de preparare și de procentul de aditiv.

La pastele de ciment cu apa de preparare egală cu a martorului atât începutul cât și sfârșitul de priză sînt întirziate, cu oca 30'-1 h

45' începutul de priză, respectiv cu oca 45'-2h sfârșitul de priză, în funcție de procentul de aditiv SP4. La pastele de ciment cu consistență (lucrabilitate) egală cu mortarul se constată o ușoară reducere a începutului de priză cu oca 15' și o ușoară prelungire a sfârșitului de priză cu oca 45'-1 h 15'.

Rezultatele sînt asemănătoare cu cele obținute pe pastele cu VIMC 11 și VIMC 22 la care s-au folosit cimenturi cu adoesuri de cenușă /59/, /63/, (v. cap. 3, fig. 3.10a, b, c).

- Constanta de volum. Pentru determinări s-a utilizat ciment Pa 35, preparîndu-se probe martor și cu aditiv SP4, la aceeași cantitate de apă de preparare și la aceeași lucrabilitate (consistență). Constanta de volum determinată prin metoda tur-telor a fost bună în ambele cazuri.

- Lucrabilitatea (consistența) pastelor de ciment, rezis-tențe mecanice și analiza roentgenografică pentru stabilirea com-poziției fazale.

Incercările pe pastele de ciment s-au efectuat în conformi-tate cu STAS 227/86. Pentru încercări s-a utilizat ciment Pa 35, pastele de ciment realizîndu-se în 2 variante.

- paste de ciment realizate cu apă pentru pasta de consis-tență normală ( $a/c=0,26$ );
- paste de ciment realizate cu raportul  $a/c=0,30$ .

a) Paste de ciment realizate cu apă pentru pasta de consis-tență normală.

Principalele caracteristici ale cimentului Pa 35 utilizat la experiențe, determinate pe mortare plastice, au fost: apă pentru pasta de consistență normală 26%, finețea de măcinare 10%, rezis-tența la compresiune la 2 zile,  $10,1 \text{ n/mm}^2$  și la 28 zile  $35,2 \text{ n/mm}^2$ , începutul de priză 3h 15' și sfârșitul de priză 4h 30'.

Pentru a urmări influența aditivului SP4 asupra pastelor de ciment s-au confecționat 2 tipuri de paste:

- pastă de ciment martor realizată cu apă pentru pasta de consistență normală ( $a/c=0,26$ );
- pastă de ciment cu aditiv SP4 realizată cu apă de prepa-rare egală cu a pastei de ciment martor ( $a/c=0,26$ ).

Aditivul SP4 s-a introdus în proporție de 0,04% soluție din can-titatea de ciment. Amestecurile s-au realizat mecanizat, pe pas-

tele proaspete determinându-se consistența prin răspîndirea pastei de ciment pe o suprafață plană, la un număr de 10 șocuri pe masă de șoc, iar pe cele întărite, pe cuburi cu latură de 31 mm, rezistența la compresiune la 28 zile.

Caracteristicile pastelor de ciment martor și cu aditiv SP4 precum și rezultatele experimentale obținute sînt prezentate în tab.4.13.

Incercări experimentale pe paste de ciment martor și cu aditiv superplastifiant SP4 confectionate cu apă pentru pasta de consistență normală (a/c = 0,26)

Tabelul 4.13

Tipul pastei de ciment	Caracteristici ale pastei de ciment a/c	Cantități apă [cm <sup>3</sup> ] ciment [g]	Consistența (Răspîndirea) [mm]	Rc [ $\frac{N}{mm^2}$ ]	Spor de consistență	Spor de rezistență $\pm \Delta Rc$
					[%]	[%]
0	1	2	3	4	5	6
Pastă de ciment martor	0,26	$\frac{130}{500}$	30	50,8	—	—
Pastă de ciment cu aditiv SP4 și apă de preparare egală cu a pastei de ciment martor	0,26	$\frac{130}{500}$	60	50,6	100	-0,4

Se constată că la pastele de ciment proaspete cu aditiv SP4, consistența crește cu 100% în condițiile în care rezistența la compresiune la 28 zile este apropiată de cea a probelor martor (-0,4%). Pe eșantioane din probele martor și cu aditiv SP4 s-au efectuat analize roentgenografice la 2 zile de la preparare. Rezultatele sînt prezentate în fig.4.18 și 4.19.

b). Paste de ciment cu raportul a/c=0,30.

S-au preparat, prin amestecare mecanică, următoarele 3 tipuri de paste :

- pastă de ciment martor (a/c=0,30) ;

- pastă de ciment cu aditiv SP4 realizată cu apa de preparare în cantitate egală cu a pastei de ciment mător - pastă fluidă ( $a/c=0,30$ ) ;

- pastă de ciment cu aditiv SP4 și consistență (lucrabilitate) egală cu a pastei de ciment mător ( $a/c=0,26$ ).

Aditivul SP4 s-a utilizat în proporție de 0,04% soluție din cantitatea de ciment. Pe pastele proaspete s-a determinat rășnindirea pe o placă de sticlă iar pe cele întărite rezistențe la compresiune la 28 zile pe cuburi cu latura de 31 mm. Caracteristicile pastelor preparate precum și rezultatele experimentale obținute sînt prezentate în tab.4.14.

Încercări experimentale pe paste de ciment mător și cu aditiv superplastifiant SP4 ( $a/c = 0,30$ )

Tabloul 4.14

Caracteristici ale pastei de ciment Tipul pastei de ciment	a/c	Cantități apă [cm <sup>3</sup> ] ciment [g]	Consistența (Răspindirea) [mm]	R <sub>c</sub> [ $\frac{N}{mm^2}$ ]	Spor de consistență [%]	Spor de rezistență $\pm \Delta R_c$ [%]
0	1	2	3	4	5	6
Pastă de ciment mător	0,300	$\frac{150}{500}$	30	45,5	—	—
Pastă de ciment cu aditiv SP4 și apă de preparare egală cu a pastei de ciment mător	0,300	$\frac{150}{500}$	75	45,3	+150	-0,5
Pastă de ciment cu aditiv SP4 și consistență egală cu a pastei de ciment mător.	0,26	$\frac{150}{500}$	30	55,1	—	+21,0

$\Delta$   $\text{Ca}(\text{OH})_2$   
 $\square$   $\text{C}_3\text{S}$

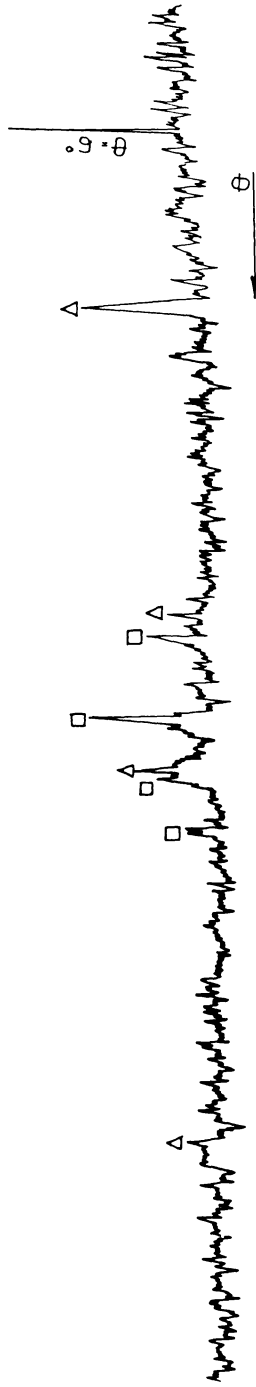


Fig. 4.18 Roentgenograma probei de ciment maritor, realizată cu apa pentru pasta de consistență normală, la 2 zile ( $a/c = 0,26$ )

$\Delta$   $\text{Ca}(\text{OH})_2$   
 $\square$   $\text{C}_3\text{S}$

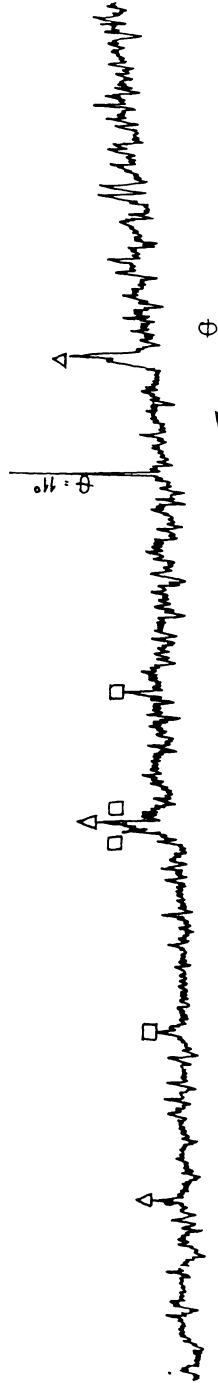


Fig. 4.19 Roentgenograma probei de ciment cu aditiv superplasticifiant SP4 - 0,04% realizată cu apă pentru pasta de consistență normală, la 2 zile ( $q_k = 0,26$ ).

Se constată că :

- pasta de ciment cu aditiv SP4 cu apă de preparare în cantitate egală cu a pastei martor ( $a/c=0,30$ ) devine fluidă, consistența ei măsurată prin răspîndirea pastei de ciment pe o placă de sticlă, crește cu 150% față de cea a pastei martor, în condițiile în care rezistența la compresiune la 28 zile este apropiată de a pastei martor ( $-0,5\%$ ) ;

- pasta de ciment cu aditiv SP4 cu consistență (lucrabilitate) egală cu a pastei martor, are cantitatea de apă de preparare redusă cu 14% față de pasta martor, sporul de rezistență la 28 zile fiind de 21% față de proba martor. Pentru a urmări efectul aditivului SP4 asupra procesului de hidratare în paste de ciment precum și a cristalizării componentilor mineralogici și a noilor formațiuni hidratate s-a efectuat pentru fiecare tip de pastă de ciment cîte o roentgenogramă la 28 zile (fig.4.20, fig.4.21, fig.4.22).

Analizînd în ansamblu rezultatele obținute pe pastele de ciment proaspete și întărite, martor și cu aditiv SP4 precum și din interpretarea analizelor roentgenografice rezultă :

- nu se constată diferențe semnificative calitative și cantitative din punct de vedere al compoziției fazelor a probelor de ciment martor și cu aditiv SP4 ;

- creșterea fluidității pastelor de ciment proaspete cu aditiv SP4, față de pastele martor, se datorește efectului de superfluidifiere al aditivului SP4 ;

- efectul aditivului este maxim dacă se introduce după o amestecare inițială a apei cu cimentul iar procentul optim este de 0,02-0,10% soluție din cantitatea de ciment ;

- aditivul SP4 acționează în cadrul pastelor de ciment fluide (cu aceeași cantitate de apă ca pastele martor) ca întîrziator de priză, iar în cazul pastelor de ciment, cu consistență (lucrabilitate) egală (cu cantitate de apă redusă față de martor) ca accelerador de început de priză și întîrziator de priză (pentru tipul de ciment experimentat). Aceasta se datorește reducerii cantității de apă de preparare (efectului de reducător al aditivului SP4) ;

- creșterea rezistențelor mecanice ale pastelor de ciment cu aditiv față de probele martor se datorește efectului de reducător al aditivului prin reducerea cantității de apă de preparare, la aceeași consistență (lucrabilitate), datorită creșterii fluidității pastelor de ciment.

#### 4.5.2.2. Cercetări experimentale pe betoane

Pentru a studia influența mecanismului de acțiune al aditivului superplastifiant SP4, asupra sistemului de pori și a cristalizării componentelor din matricea betonului, s-au realizat mai multe imagini la microscopul electronic a unor probe recoltate de la un beton martor și un beton cu raport a/c redus cu aditiv superplastifiant SP4. Compozițiile betoanelor Bc 22,5 (B30c) au fost :

Bc 22,5 M:  $A=205 \text{ l/m}^3$  ;  $C(\text{Pc } 35) = 450 \text{ kg/m}^3$  ;  $A_g(\text{o-16}) = 1650 \text{ kg/m}^3$  ;

Bc 22,5-SP4 -0,03% :  $A=181 \text{ l/m}^3$  ;  $C(\text{Pc } 35)=450 \text{ kg/m}^3$  ,  $A_g(\text{o-16}) = 1650 \text{ kg/m}^3$  , SP4 = 0,03% soluție din cantitatea de ciment.

Imaginile la microscopul electronic cu baleaj s-au realizat la 28 zile, atât pentru probele de beton martor cât și cu aditiv SP4, mărire 1000 x (fig.4.23) și 3000 x (fig.4.24).

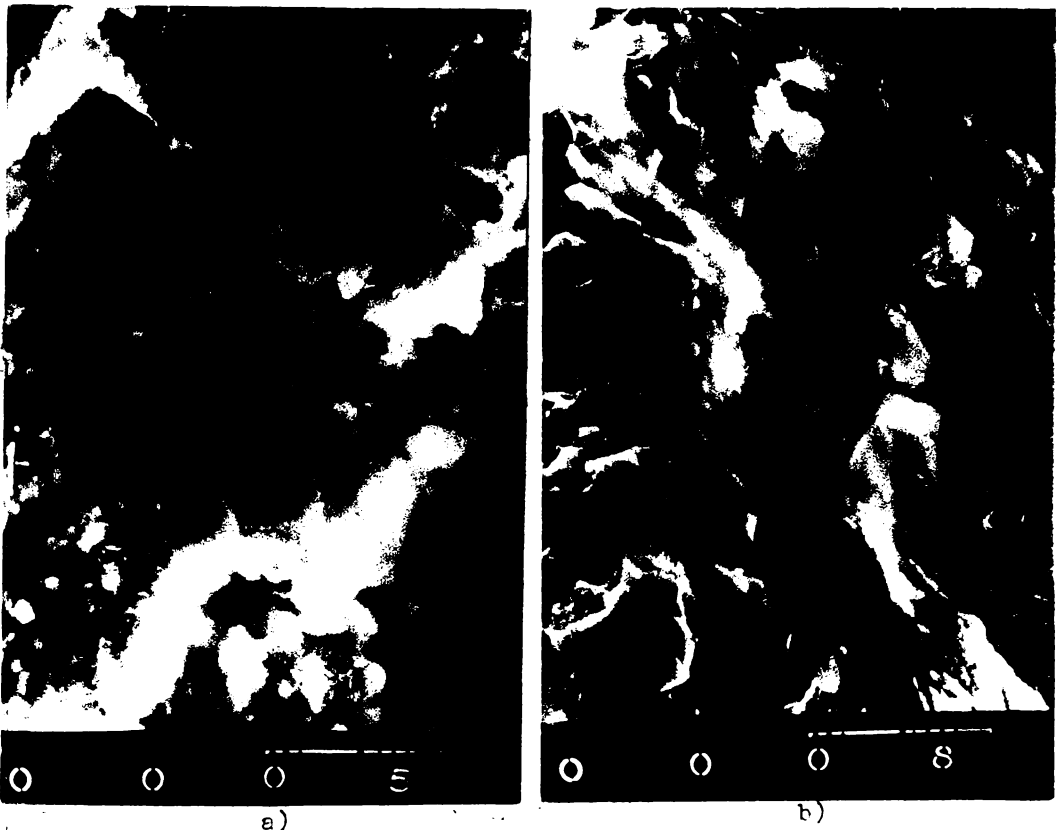


Fig.4.23. Imagine electronmicroscopică la 28 zile, 1000x.  
a) Probă de beton martor, Bc 22,5(a/c=0,45).  
b) Probă de beton cu aditiv superplastifiant SP4, Bc 22,5-0,03%, (a/c=0,40).



△ Ca(OH)<sub>2</sub>  
□ C<sub>3</sub>S  
○ β-C<sub>2</sub>S

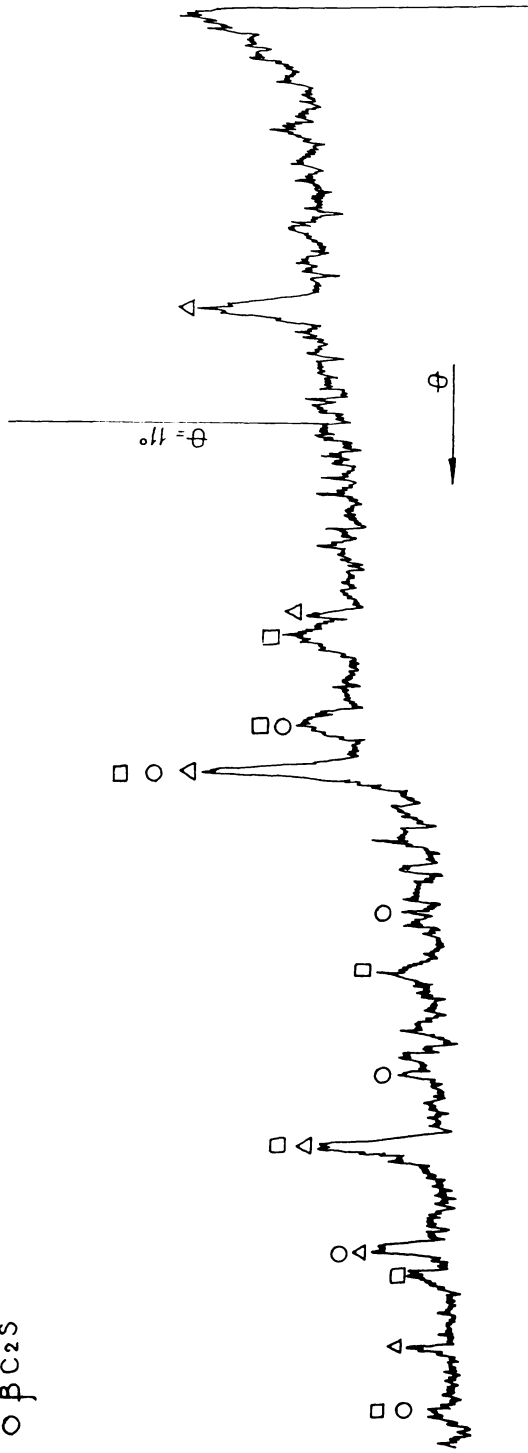


Fig. 4.20 Roentgenograma probei de ciment mortar, la 28 zile ( $\alpha/c = 0,30$ )

- △ Ca(OH)<sub>2</sub>
- C<sub>3</sub>S
- C<sub>2</sub>S
- CaSiO<sub>3</sub> · H<sub>2</sub>O

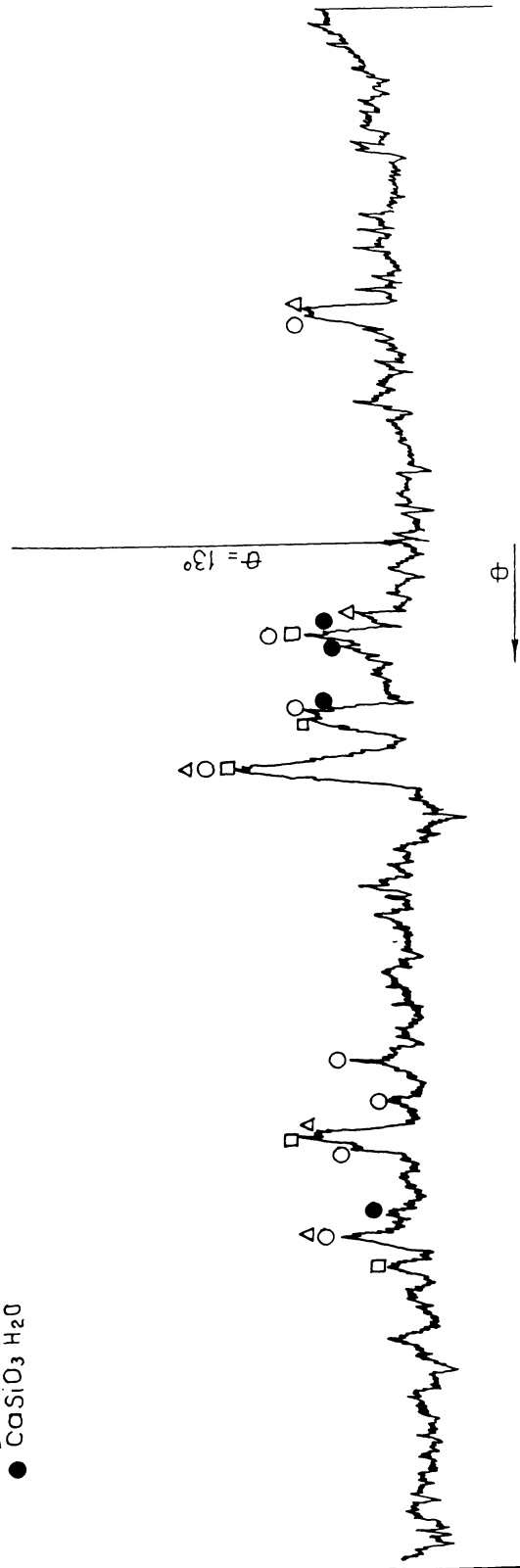


Fig. 4.21 Roentgenograma probei de ciment cu aditiv superplastiifiant SF<sub>4</sub>-0,04% și apă de pre-  
parare egală cu a probei de ciment maritor, la 28 zile (a/c - 0,30).

$\Delta$   $\text{Ca}(\text{OH})_2$   
 $\square$   $\text{C}_3\text{S}$   
 $\circ$   $\beta\text{-C}_2\text{S}$

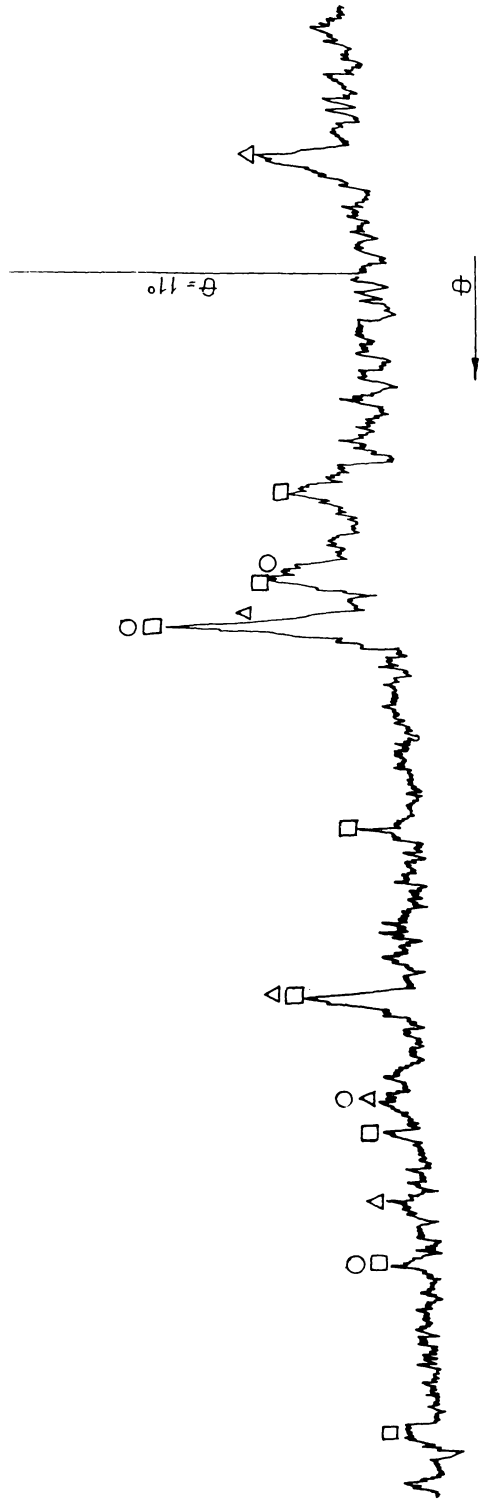


Fig. 4.22 Roentgenograma probei de ciment cu aditiv superplastifiant SP4 -0,04% și consistență egală cu a probei de ciment mortar, la 28 zile (a/c = 0,26).

Lin imaginile prezentate se constată o cristalizare mai puternică la proba cu aditiv SP4 față de proba martor.

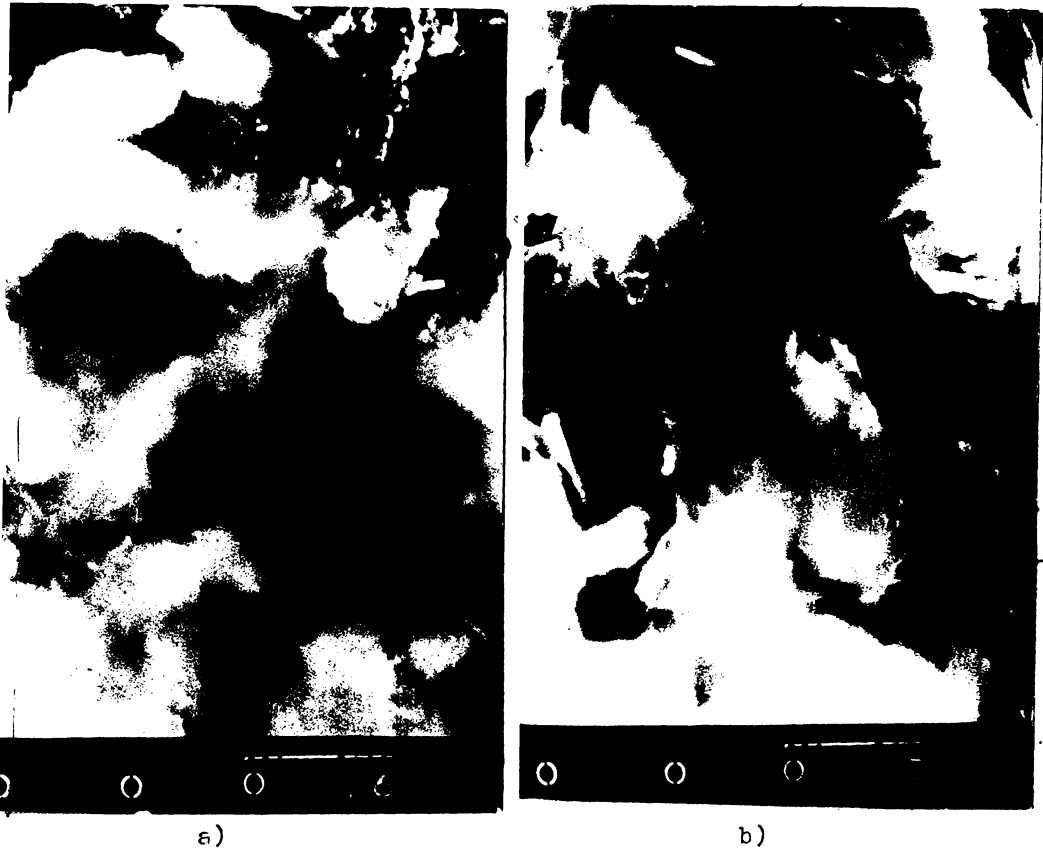


Fig.4.24. Imagine electronmicroscopică la 28 zile, 3000x

- a) Probă de beton martor, Bc 22,5(a/c=0,45).
- b) Probă de beton cu aditiv superplastifiant SP4, Bc 22,5-SP4 -0,03% (a/c=0,40).

Toate acestea arată influența pozitivă a aditivului SP4 privind accelerarea proceselor de cristalizare, de reducere și uniformizare a porozității betoanelor datorită efectului de reducător de apă al aditivului.

#### 4.5.3. Concluzii privind mecanismul de acțiune al aditivului superplastifiant SP4.

Sintetizînd studiile teoretice și rezultatele cercetărilor experimentale întreprinse pe paste de ciment și betoane se apreciază

ză că mecanismul de acțiune al aditivului SP4 se bazează pe adsorbția sa la limita dintre faze, determinând micșorarea tensiunii superficiale a apei și realizând un înalt grad de dispersie al cimentului și al formațiunilor hidratate ale acestuia, influențând în special procesele de nucleație și de creștere a dimensiunii cristalelor, ducând în final la obținerea unei structuri compacte cu consecințe directe asupra rezistențelor mecanice.

Datorită acestor acțiuni, pastele de ciment, mortarele și betoanele proaspete cu aditiv SP4, realizate la aceeași cantitate de apă de preparare cu probele martor, prezintă o îmbunătățire sensibilă a lucrabilității (consistenței) datorită efectului de superplastifiant (superfluidifiant al aditivului SP4). Creșterea semnificativă a rezistențelor mecanice a pastelor de ciment, mortarelor și betoanelor cu aditiv SP4 întărite, realizate la aceeași lucrabilitate (consistență) cu probele martor, se datorește efectului de reducător de apă al aditivului SP4 și deci posibilității de reducere a cantității de apă de preparare. Aceasta contribuie la creșterea unei structuri compacte și cu rezistențe mecanice superioare (datorită creșterii dimensiunii cristalelor și a gradului de cristalizare, aspect ce se poate observa în imaginile obținute la microscopul electronic cu baleaj). Din aceste efecte ale aditivului SP4 rezultă și direcțiile principale de utilizare a lui în tehnologia betoanelor (direcții care constituie etapa a II-a a cercetărilor întreprinse în cadrul programului experimental al tezei de doctorat și care sînt prezentate în următorul capitol 5 și în capitolul 6 :

- creșterea sensibilă a lucrabilității betonului proaspăt cu aditiv SP4 la raport a/c egal cu al betonului martor (betonul fluid) ;
- reducerea raportului a/c la betoanele cu aditiv SP4, respectiv a cantității de apă de preparare, la dozaj de ciment și lucrabilitate egale cu ale betonului martor și creșterea rezistențelor mecanice ale betoanelor întărite (betonul cu raport a/c redus) ;
- reducerea dozei de ciment la betoanele cu aditiv SP4 la lucrabilitate a betonului proaspăt și rezistențe mecanice ale betonului întărit egale cu ale betonului martor, prin reducerea cantității de apă de preparare (betonul cu dozaj de ciment redus).

## CAPITOLUL 5. CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND REALIZAREA BETOANELOR SI MORTARELOR CU ADITIV SUPERPLASTIFIANT SP 4.

Cercetările experimentale întreprinse în cadrul etapei a II-a, fazele 1, 2 a programului experimental și care constituie obiectul prezentului capitol, s-au desfășurat în perioada 1984-1988 și au avut următoarele 2 direcții :

- cercetări experimentale privind tipurile de betoane și mortare cu aditiv superplastifiant SP 4 ;
- cercetări experimentale privind proprietățile betoanelor și mortarelor cu aditiv superplastifiant SP 4.

### 5.1. Cercetări experimentale privind tipurile de betoane grele și mortare cu aditiv superplastifiant SP 4.

În conformitate cu clasificarea betoanelor cu aditivi superplastifianți prin compararea efectelor obținute față de un beton martor (vezi cap.4. §.4.1., Tab.4.1), în cadrul tezei de doctorat, având în vedere direcțiile uzuale de utilizare în practică, s-a considerat utilă realizarea betoanelor cu aditivi superplastifianți după scopul propus, și anume :

- Betoane fluide ;
- Betoane cu raport a/c redus ;
- Betoane cu dozaj de ciment redus.

La realizarea betoanelor s-a utilizat ciment Pa 35, agregat silicios de rîu 0/16 mm (cu sorturile 0/3, 3/7 și 7/6), apă de la rețeaua publică a municipiului Timișoara pentru betoanele martor și suplimentar aditiv superplastifiant SP 4 pentru betoanele cu aditiv.

#### 5.1.1. Betonul fluid

Betonul fluid (vezi cap.4 ; §.4.1 și tab.4.1) se obține prin adăugare de aditiv SP 4 la compoziția betonului martor, în condițiile păstrării aceluși raport a/c. El se caracterizează prin îmbunătățirea substanțială a lucrabilității betonului proaspăt iar caracteristicile fizico-mecanice ale betonului întărit fiind apro-

piate de cele ale betonului martor.

Pentru încercări s-au propus 4 clase de betoane și diferite compoziții :

Bc 15 (B 200) :  $A=235 \text{ l/m}^3$ ,  $C(\text{Pa } 35)=318 \text{ kg/m}^3$ ,  $Ag(o-16) =1783 \text{ kg/m}^3$   
Bc 20(B 250), Compoziția 1:  $A=216,5 \text{ l/m}^3$ ,  $C(\text{Pa } 35)=375 \text{ kg/m}^3$ ,  
 $Ag(o-16) =1769 \text{ kg/m}^3$ .

Compoziția 2:  $A=213 \text{ l/m}^3$ ,  $C(\text{Pa } 35)=384 \text{ kg/m}^3$ ,  
 $Ag(o-16) =1751 \text{ kg/m}^3$ .

Bc 22,5 (B 300):  $A=205 \text{ l/m}^3$ ,  $C(\text{Pa } 35) =450 \text{ kg/m}^3$ ,  $Ag(o-16)=1650 \text{ kg/m}^3$   
Bc 30(B 400):  $A=220 \text{ l/m}^3$ ,  $C(\text{Pa } 35) =565 \text{ kg/m}^3$ ,  $Ag(o-16) =1559 \text{ kg/m}^3$ .

Lucrabilitatea betoanelor martor s-a considerat  $L_3$  (teserea  $7 \pm 2$  cm). Prepararea betonului s-a efectuat în o betonieră cu amestecare prin cădere liberă cu capacitatea de 100 l, timpul total de amestecare fiind de 2 minute pentru betonul martor și de 4 minute pentru betonul cu aditiv SP 4.

Pentru fiecare clasă de beton s-au calculat 1-2 compoziții de beton, atât pentru betonul martor cât și cu aditiv. Pe betonul proaspăt s-au determinat lucrabilitatea (teserea), densitatea aparentă și volumul de aer oclus iar pe betonul întărit densitatea aparentă și rezistența la compresiune la 7 și 28 zile, pe epruvete cubice cu latura de 14,1 cm care au fost păstrate în aer.

Rezultatele experimentale obținute sînt prezentate în tab.

### 5.1.

Se constată următoarele :

- lucrabilitatea betoanelor cu aditiv este îmbunătățită față de cea a betoanelor martor ( $L_5$  față de  $L_3$ ). Astfel, teserea a fost cuprinsă între 6,5-8,0 cm la betoanele martor, respectiv între 16,5-18,0 cm la cele cu aditiv, ceea ce corespunde unui spor de tasare a betoanelor cu aditiv de 118-260% față de cele martor ;

- densitatea aparentă a betoanelor cu aditiv este apropiată de cea a betoanelor martor, atât la cele în stare proaspătă cât și la cele întărite ;

- volumul de aer oclus este puțin mai mare la betoanele proaspete cu aditiv (1,44-2,29%) decît la cele martor, (0,80-1,45%) nedepășind valoarea maximă admisă de 6% ;

- rezistențele mecanice ale betoanelor cu aditiv la 7 și 28 zile sînt apropiate de cele ale betoanelor martor (-1,1 - -4,7%), nedepășind  $\pm 5\%$  ;

# BETOANE FLUIDE

Tabelul 5.1

Caracteristici fizico-mec. de beton	a/c	Beton proaspăt			Beton întărit						± ΔT [%]	± ΔRb [%]
		f <sub>asarc</sub> [cm]	S <sub>bp</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	V <sub>ao</sub> [%]	S <sub>b</sub> [kg/m <sup>3</sup> ] la:		R <sub>b</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] la:		± ΔT [%]	± ΔRb [%]		
					7 zile	28 zile	7 zile	28 zile				
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Bc 15 - L3 - M	0,738	6,5	2340	0,80	2270	2250	10,5	18,5	-	-		
Bc 15 - L5 - SF4 - 0,02%	0,738	16,5	2325	1,44	2260	2230	10,2	18,3	+153	-1,6		
Bc 20 - L3 - M (comp. 2)	0,577	5,0	2360	0,84	2285	2260	11,5	17,9	-	-		
Bc 20 - L5 - SF4 - 0,02%	0,577	18,0	2345	1,47	2265	2240	11,0	17,5	+260	-2,3		
Bc 20 - L3 - M (comp. 2)	0,554	7,0	2365	0,88	2305	2285	14,5	21,0	-	-		
Bc 20 - L5 - SF4 - 0,02%	0,554	17,5	2340	1,92	2285	2265	13,4	20,0	+150	-4,7		
Bc 22,5 - L3 - M	0,455	8,0	2365	1,45	2315	2300	20,5	29,2	-	-		
Bc 22,5 - L5 - SF4 - 0,02%	0,455	17,5	2345	2,29	2300	2285	19,8	29,0	+118	-1,1		
Bc 30 - L3 - M	0,389	7,0	2370	1,16	2330	2320	29,5	38,6	-	-		
Bc 30 - L5 - SF4 - 0,02%	0,389	16,5	2340	1,63	2310	2285	28,0	37,5	+128	-2,8		



Rezultatele experimentale obținute în direcția realizării betoanelor fluide cu aditiv superplastifiant SP 4 la raport a/c și dozaj de ciment egale cu ale betonului martor sînt bune. Se constată că betoanele proaspete cu aditiv se caracterizează prin creșterea substanțială a tasării față de cea a betonului martor în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice ale betoanelor întărite apropiate de cele ale betoanelor martor.

### 5.1.2. Betonul cu raport a/c redus

Betonul cu raport a/c redus (vezi cap.4. §.4.2.2 și tab.4.1) se obține prin utilizarea de aditiv superplastifiant SP 4 și reducerea corespunzătoare a apei de preparare față de betonul martor. Caracteristica lui principală este rezistența mecanică superioară față de betonul martor care se obține prin reducerea raportului a/c (reducerea cantității de apă de preparare și dozaj de ciment egal) față de cel al betonului martor.

Pentru încercări s-au propus 3 clase de betoane și 1-2 compoziții de beton pentru fiecare clasă, după cum urmează :

Bc 20 (B 250), Compoziția :  $1:A=216,5 \text{ l/m}^3$ ,  $C(Pa \ 35)=375 \text{ kg/m}^3$ ,  
 $A_g(o-16)=1769 \text{ kg/m}^3$ .

Compoziția 2: $A=213 \text{ l/m}^3$ ,  $C(Pa \ 35)=384 \text{ kg/m}^3$ ,  
 $A_g(o-16)=1751 \text{ kg/m}^3$ .

Bc 22,5(B 300):  $A=205 \text{ l/m}^3$ ,  $C(Pa \ 35)=450 \text{ kg/m}^3$ ,  
 $A_g(o-16)=1650 \text{ kg/m}^3$ .

Bc 30(B 400):  $A=218 \text{ l/m}^3$ ,  $C(Pa \ 35) =565 \text{ kg/m}^3$ ,  
 $A_g(o-16)=1559 \text{ kg/m}^3$ .

Pentru a urmări reducerea raportului a/c (respectiv a apei de preparare, dozajul de ciment fiind egal) al betoanelor cu aditiv față de cel al betoanelor martor la aceeași lucrabilitate, s-au preparat pentru fiecare clasă de beton și compoziție, probe de beton martor cu lucrabilitatea  $L_3$  (tasarea  $7 \pm 2$  cm). Apoi, la betoanele cu aditiv, prin încercări, s-a redus apa de preparare (decî raportul a/c) pînă cînd ele au avut lucrabilitatea (tasarea) egală cu cea a betonului martor (respectiv  $L_3$ ).

Prepararea betonului s-a efectuat în o betonieră cu amestecare prin cădere liberă cu capacitatea de 100 l, timpul total de

amestecare fiind de 2 minute pentru betonul martor și de 4 minute pentru betonul cu aditiv.

Pe betonul proaspăt s-au determinat lucrabilitatea (tasarea), densitatea aparentă și volumul de aer occlus iar pe betonul întărit densitatea aparentă și rezistența la compresiune la 7 și 28 zile pe epruvete cubice cu latura de 14,1 cm care s-au păstrat în aer.

Rezultatele experimentale obținute sînt prezentate în tab. 5.2.

Se desprind următoarele constatări :

- posibilitatea reducerii raportului a/c (respectiv a cantității de apă de preparare la dozaj de ciment egal) la betoanele cu aditiv, la aceeași lucrabilitate cu a betonului martor (respectiv  $L_3$ , tasarea  $7 \pm 2$  cm) cu 10-12,4% în condițiile creșterii rezistențelor mecanice față de cele ale betonului martor ;

- posibilitatea reducerii limitate a raportului a/c (respectiv reducerii moderate a apei de preparare) cu 7,7% în condițiile îmbunătățirii limitate a lucrabilității betonului proaspăt cu aditiv ( $L_4$ , tasarea  $12 \pm 2$  cm) față de cea a betonului martor ( $L_3$ , tasarea  $7 \pm 2$  cm) și creșterii moderate a rezistențelor mecanice cu 9,40% față de betonul martor;

- posibilitatea obținerii unor rezistențe mecanice ale betoanelor cu aditiv la 28 zile superioare cu 10-17,9% față de cele ale betoanelor martor, la aceeași lucrabilitate ( $L_3$ , tasarea  $7 \pm 2$  cm), în condițiile reducerii raportului a/c (respectiv a cantității de apă de preparare la dozaj egal de ciment) față de betoanele martor.

Aditivul SP4 se poate utiliza la realizarea betoanelor cu raport a/c redus în condițiile reducerii raportului a/c cu 8,6-12,4% la aceeași lucrabilitate ( $L_3$ ) și a obținerii unor rezistențe mecanice superioare cu 10,8-17,9% față de cele ale betonului martor.

Prin utilizarea aditivului superplastifiant SP4 s-au stabilit compoziții de betoane fine (mortare) cu rezistențe inițiale mari pentru meterea rosturilor între planșee și stâlpi la o structură prefabricată asamblată prin postcompresie /21/. S-a utilizat ciment P40 și agregat 0-7 mm. Compoziția de bază (martor) s-a realizat la raport a/c=0,347 iar cu aditiv SP4 de 0,315 (reducere cu 9,3%), la o consistență a mortarelor determinată cu conul etalon de 9 cm. Rezistențele la compresiune la 1,2 și 3 zile au fost

# BETOANE CU RAPORT a/c REDUS

Tabelul 5.2

Caracteristici fizico-mec. Tipul de beton	a/c		Reducere apă din total [l/m <sup>3</sup> ]		Beton proaspăt [cm]		Beton întărit [kg/m <sup>3</sup> ] [a]:		± ΔRb [%]			
										a/c, g	3	4
	0	1	2	3	4	5	6	7		8	9	10
Bc 20-L3-M (comp.1)	0,577	—	—	216,5	5,0	2360	0,84	2285	2260	11,5	17,9	—
Bc 20-L3-SP4-0,02%	0,506	12,4	190,0	26,5	5,0	2355	1,05	2285	2265	15,0	21,1	+17,9
Bc 20-L4-SP4-0,02%	0,533	7,7	200,0	16,5	11,0	2345	1,47	2270	2250	13,2	19,6	+9,4
Bc 20-L3-M (comp.2)	0,554	—	—	213,0	7,0	2365	0,88	2305	2285	14,5	21,0	—
Bc 20-L3-SP4-0,02%	0,490	11,6	188,5	24,5	7,0	2380	0,50	2315	2295	17,0	23,9	+13,9
Bc 22,5-L3-M	0,455	—	—	205,0	8,0	2365	1,45	2315	2300	20,5	29,2	—
Bc 22,5-L3-SP4-0,03%	0,402	11,5	181,0	24,0	8,0	2380	0,83	2335	2321	23,5	33,3	+14,0
Bc 30-L3-M	0,386	—	—	218,0	5,0	2380	0,75	2335	2325	31,1	39,5	—
Bc 30-L3-SP4-0,02%	0,353	8,6	200,0	18,0	5,0	2390	0,40	2340	2330	33,0	43,8	+10,8

la probele martor de 15,9, 27,6 și 33,4 l/mm<sup>2</sup> iar la cele cu aditiv SP4 de 23,7, 35,1 și 45,0 l/mm<sup>2</sup>. S-au obținut sporuri de rezistență inițială de 14,9% la 1 zi, 12,7% la 2 zile și 13,4% la 3 zile față de probele martor. Se constată că aditivul superplastifiant SP4 se poate utiliza în condiții bune și la realizarea mortarelor.

### 5.1.3. Betonul cu dozaj de ciment redus

Betonul cu dozaj de ciment redus (vezi cap.4.§.4.2.2, tab. 4.1) se obține prin utilizarea de aditiv superplastifiant SP4 și reducerea concomitentă a cantității de apă de preparare și a dozei de ciment. El se caracterizează prin rezistență mecanică egală cu a betonului martor la lucrabilitate egală, dar în condițiile unor reduceri ale dozajului de ciment, obținându-se astfel economii de ciment față de betonul martor.

Încercările s-au efectuat pe 4 clase de betoane cu câte 1 compoziție la fiecare clasă, astfel:

Bc 15(B 200) : A=235 l/m<sup>3</sup>, C(Pa 35)=318 kg/m<sup>3</sup>,  
Ag(o-16)=1783 kg/m<sup>3</sup>.

Bc 20(B 250) : A=216,5 l/m<sup>3</sup>, C(Pa 35)=375 kg/m<sup>3</sup>,  
Ag(o-16)=1769 kg/m<sup>3</sup>.

Bc 22,5(B 300) : A=215 l/m<sup>3</sup>, C(Pa 35)=450 kg/m<sup>3</sup>,  
Ag(o-16)=1650 kg/m<sup>3</sup>.

Bc 30(B 400) : A=218 l/m<sup>3</sup>, C(Pa 35)=565 kg/m<sup>3</sup>,  
Ag(o-16)=1559 kg/m<sup>3</sup>.

Prepararea betonului s-a efectuat în o betonieră cu amestecare prin cădere liberă cu capacitatea de 100 l, timpul total de amestecare fiind de 2 minute pentru betonul martor și de 4 minute pentru betonul cu aditiv. Pentru fiecare clasă de beton s-a preparat câte o compoziție de beton martor și cu aditiv SP4, realizate la aceeași lucrabilitate a betonului proaspăt (L<sub>3</sub>, tesarea 7±2 cm). Pentru a realiza aceeași lucrabilitate, la betoanele cu aditivi, prin încercări, s-a redus concomitent, atât cantitatea de apă de preparare cât și dozajul de ciment.

Pe betonul proaspăt s-au determinat lucrabilitatea (tesarea), densitatea aparentă și volumul de aer occlus iar pe betonul întărit densitatea aparentă și rezistența la compresiune la 7 și 28 zile pe epruvete cubice cu latura de 14,1 cm, păstrate în aer.

rezultatele experimentale obținute sînt prezentate în tab. 5.3.

Se constată următoarele :

- la aceeași lucrabilitate ( $L_3$ ), se poate reduce dozaul de ciment cu 5,3-10,6% prin reducerea cantității de apă de preparare cu 8,3-16,8% în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice ale betoanelor cu aditiv aproape de cele ale betonului martor;

- densitățile aparente și volumul de aer oclus ale betoanelor cu aditiv SP4 sînt apropiate de cele ale betoanelor martor.

Se constată că aditivul SP4 se poate utiliza la realizarea betoanelor cu dozaj de ciment redus, obținîndu-se reduceri ale dozajului de ciment cu 5,3-10,6%, în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice apropiate de cele ale betoanelor martor.

#### 5.1.4. Concluzii privind utilizarea aditivului superplastifiant SP4 la realizarea betoanelor și mortarelor.

Aditivul SP4 este un aditiv superplastifiant (superfluidifiant) - reducător de apă, care are efecte apropiate de cele ale produselor similare din țară și străinătate.

Rezultatele obținute în cadrul programului experimental indică faptul că el se poate utiliza în condiții bune la realizarea unor noi tipuri de betoane (fluide, cu raport a/c redus, cu dozaj de ciment redus), existînd posibilitatea obținerii unor avantaje tehnico-economice :

1. Îmbunătățirea sensibilă a lucrabilității betonului proaspăt, la cantitate de apă de preparare egală cu a betonului martor și același dozaj de ciment, în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice ale betonului întărit apropiate de cele ale betonului martor.

Tasarea betonului fluid cu aditiv SP4 crește la  $18 \pm 2$  cm ( $L_5$ ) față de  $7 \pm 2$  cm ( $L_3$ ) la betonul martor, obținîndu-se un spor de tasare de cca 250% (fig.5.1.a).

2. Îmbunătățirea limitată a lucrabilității betonului proaspăt cu aditiv și ameliorarea caracteristicilor fizico-mecanice ale betonului întărit, la dozele de ciment egale cu ale betonului martor, prin reducerea cantității de apă de preparare cu 4,0-8,0%.

Tasarea betonului proaspăt cu aditiv crește la  $12 \pm 2$  cm ( $L_4$ ) față de tasarea betonului martor de  $7 \pm 2$  cm ( $L_3$ ), obținîndu-se

# Betoane cu dozaj de ciment redus

Tabelul 5.3

Tipul de beton	Caracteristici fiz. mec.	a/c	Apă/ciment [kg/m <sup>3</sup> ]	Reducere			Beton proaspăt			Beton întărit			±ARb [%]		
				Apă		Ciment	Tasare	S <sub>bp</sub>	V <sub>ao</sub>	S <sub>b</sub> [kg/m <sup>3</sup> ] la:		R <sub>b</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] la			
				3	4	5	6	7	8	9	7 zile	10		11	12
0		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Bc 15 - L3 - M		0,738	<u>235,0</u> 318,0	-	-	-	-	6,5	2340	0,80	2270	2250	10,5	18,5	-
Bc 15 - L3 - SP4 - 0,02%		0,700	<u>210,0</u> 300,0	25,0	4,9	18,0	5,7	5,0	2325	1,44	2260	2245	11,0	19,1	+3,2
Bc 20 - L3 - M		0,577	<u>216,5</u> 375,0	-	-	-	-	5,0	2360	0,84	2285	2260	11,5	17,9	-
Bc 20 - L3 - SP4 - 0,02%		0,535	<u>190,0</u> 355,0	26,5	12,3	20,0	5,3	5,0	2355	1,05	2290	2260	13,6	19,7	+10,0
Bc 20 - L3 - SP4 - 0,02%		0,537	<u>180,0</u> 335,0	36,5	16,8	40,0	10,6	5,5	2350	1,26	2285	2255	13,4	19,6	+9,4
Bc 22,5 - L3 - M		0,477	<u>215,0</u> 450,0	-	-	-	-	7,5	2370	0,67	2321	2285	18,2	25,3	-
Bc 22,5 - L3 - SP4 - 0,03%		0,458	<u>195,0</u> 425	20,0	9,3	25,0	5,6	6,5	2380	0,25	2315	2280	18,5	25,5	+0,8
Bc 30 - L3 - M		0,386	<u>210,0</u> 565,0	-	-	-	-	5,0	2380	0,75	2335	2325	31,1	39,5	-
Bc 30 - L3 - SP4 - 0,02%		0,373	<u>200,0</u> 535,0	18,0	8,3	30,0	5,3	5,0	2369	1,20	2340	2320	31,0	39,6	+0,2

sporuri de tasare de cca 150% (fig.5.1.b).

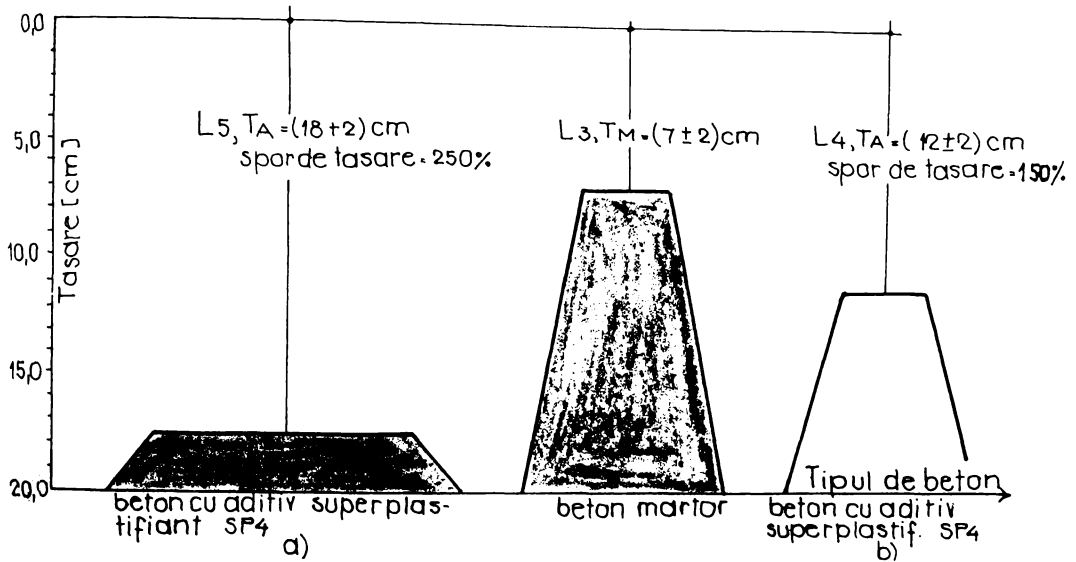


Fig.5.1.a, b. Betonul fluid

- a) Imbunătățirea sensibilă a lucrabilității betonului proaspăt cu aditiv superplastifiant SP4.
- b) Imbunătățirea limitată a lucrabilității betonului proaspăt cu aditiv superplastifiant SP4.

3. Creșterea sensibilă a rezistențelor mecanice ale betonului cu aditiv SP4 și obținerea de beton cu raport a/c redus (beton cu rezistență superioară), la lucrabilitate egală cu a betonului mator ( $L_3$ , tasarea  $7 \pm 2$  cm), prin reducerea cantității de apă de preparare (raportului a/c) cu 9,0-13,0% față de betonul mator.

Prin reducerea raportului a/c la betoanele cu aditiv SP4, la aceeași lucrabilitate și dozaj de ciment cu betonul mator, se obțin sporuri de rezistență la compresiune la 28 zile de 10,0-17,9% (fig.5.2.a).

4. Creșterea moderată a rezistențelor mecanice ale betonului cu aditiv SP4 și obținerea de beton cu raport a/c redus moderat (beton cu rezistență superioară), prin reducerea cantității de apă de preparare (a raportului a/c) cu 4,0-8,0% față de betonul mator, la dozaj de ciment egal cu al betonului mator și lucrabilitate îmbunătățită limitată ( $L_4$ , tasare  $12 \pm 2$  cm) față de cea a betonului mator ( $L_3$ , tasarea  $7 \pm 2$  cm).

Prin reducerea limitată a raportului a/c la betonul cu aditiv SP4 față de betonul martor, la dozaj de ciment egal cu lucrabilitate îmbunătățită limitat față de betonul martor, se obțin sporuri de rezistență la compresiune de 5,0-9,4% (fig.5.2.b).

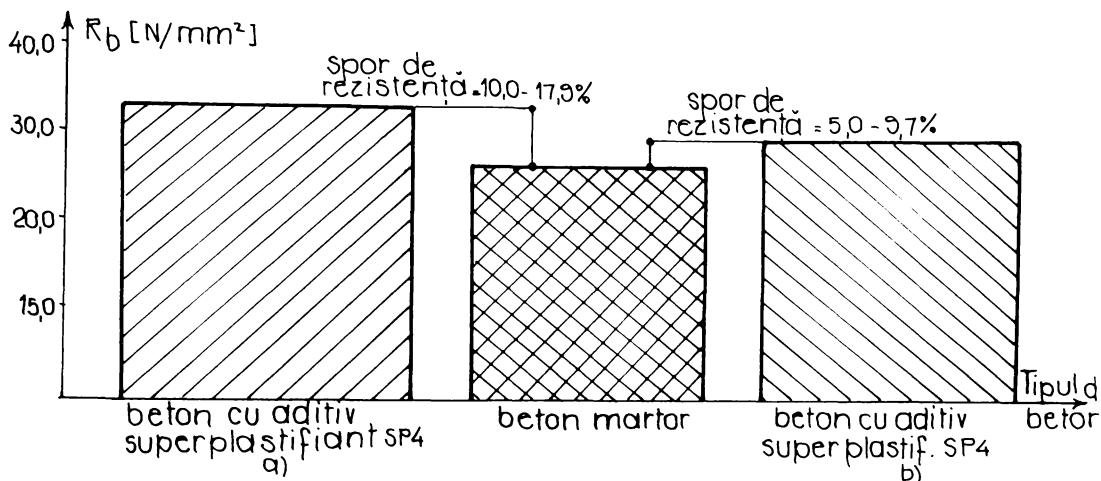


Fig.5.2.a,b. Betonul cu raport a/c redus

- a) Creșterea sensibilă a rezistenței la compresiune a betonului cu aditiv superplastifiant SP4.
- b) Creșterea moderată a rezistenței la compresiune a betonului cu aditiv superplastifiant SP4.

5. Reducerea dozajului de ciment la betonul cu aditiv superplastifiant SP4 cu 5,3-10,6% față de betonul martor, prin reducerea cantității de apă de preparare cu 8,3-16,8%, la aceeași lucrabilitate ( $L_3$ , tasarea  $7 \pm 2$  cm) cu betonul martor, în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice ale betonului întărit cu aditiv apropiate de cele ale betonului martor (fig.5.3).

Prin reducerea dozajului de ciment cu 20,0-40,0 kg/m<sup>3</sup> de beton, se obțin economii de ciment, care fiind un material energo-intensiv, conduce și la economii de energie.

6. Extinderea folosirii cimenturilor cu adaosuri (de tipul Pa 35 la realizarea elementelor de construcții prefabricate și monolite precum și a celor de tipul M 30 la realizarea elementelor de construcții monolite din beton armat) la realizarea betoanelor de clasă Bc 15 și Bc 20, reducându-se consumul de energie înglobată.



Betoanele cu aditiv SP4 se realizează la dozaaje de ciment și lucrabilitate egale cu ale betonului martor, prin reducerea cantității de apă de preparare cu 4,0-13,0%.

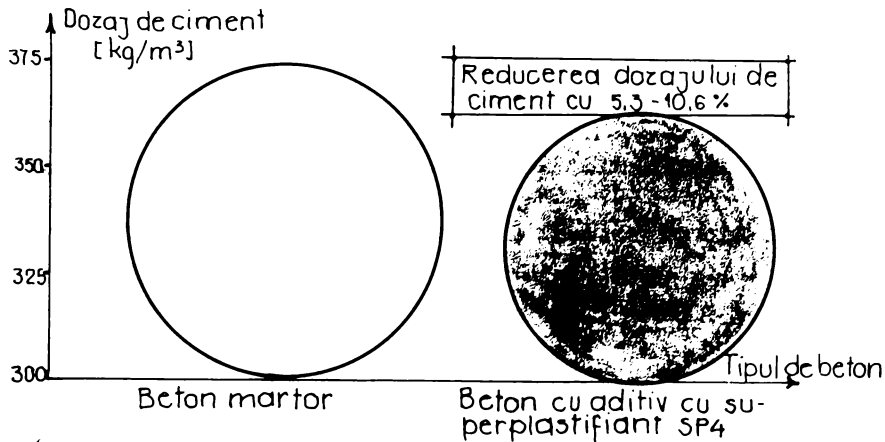


Fig.5.3. Betonul cu dozaj de ciment redus.  
Reducerea dozajului de ciment la betonul cu aditiv superplastifiant SP4.

7. Posibilitatea de utilizare în condiții de eficiență economică a aditivului superplastifiant SP4 la realizarea betoanelor fluide, betoanelor cu raport a/c redus, betoanelor cu dozaj de ciment redus precum și a altor tipuri de betoane, avînd în vedere cantitatea redusă care este folosită la realizarea acestor tipuri de betoane. Astfel, din cercetările întreprinse a rezultat că aditivul SP4 se poate folosi în proporție de 0,02-0,10% soluție din cantitatea de ciment, spre deosebire de alți aditivi similari din țară și străinătate care se utilizează în proporție de 0,5-2,5% soluție din cantitatea de ciment.

Aceasta conduce la consumuri specifice de aditiv SP4 mai reduse /m<sup>3</sup> de beton, comparativ cu alți aditivi similari.

Principalele avantaje tehnico-economice prezentate, stabilite în urma studiilor teoretice și a experimentărilor practice realizate în conformitate cu programul experimental al tezei de doctorat, impur necesitatea elaborării tehnologiei betoanelor și morterelor cu aditiv superplastifiant SP4, în vederea aplicării lor în producție. Acestea va fi expusă pe larg în capitolul 6.

## 5.2. Cercetari experimentale privind proprietățile betoanelor grele și mortarelor cu aditiv superplastifiant SP4

### 5.2.1. Influența aditivului superplastifiant SP4 și a altor factori de compoziție asupra proprietăților betoanelor și mortarelor în stare proaspătă

Cercetările experimentale întreprinse au pus în evidență unele aspecte importante ale influenței aditivului superplastifiant SP4 asupra proprietăților betoanelor și mortarelor proaspete. S-a urmărit în special multitudinea de factori de compoziție care influențează (cantitatea de apă de preparare, tipul și dozajul de ciment, agregatele, etc), precum și acțiunea aditivului superplastifiant SP4 (prin dozajul utilizat, redozare, momentul adăugării etc).

Aspectele principale cercetate se prezintă în continuare:

- aditivul superplastifiant SP4 ;
- cimentul ;
- agregatele ;
- lucrabilitatea ;
- variația în timp a lucrabilității ;
- temperatura mediului ambiant ;
- dozarea repetată (redozarea) ;
- intervalul de timp dintre prepararea betonului și adăugarea aditivului SP4 ;
- densitatea aparentă ;
- volumul de aer occlus ;
- tendința de segregare .

#### 5.2.1.1. Aditivul superplastifiant SP4

Aditivul superplastifiant influențează lucrabilitatea betonului proaspăt în principal prin tipul și procentul de aditiv utilizat. În fig.5.4. se prezintă influența tipului și procentului de aditiv utilizat asupra tasării betoanelor proaspete.

Este prezentată tasarea obținută prin utilizarea aditivului SP4 la diferite procente de aditiv substanța uscată din cantitatea de ciment, comparativ cu cea obținută prin utilizarea altor tipuri și procente de aditivi, din lucrări publicate în literatura de

specialitate din țara și străinătate.

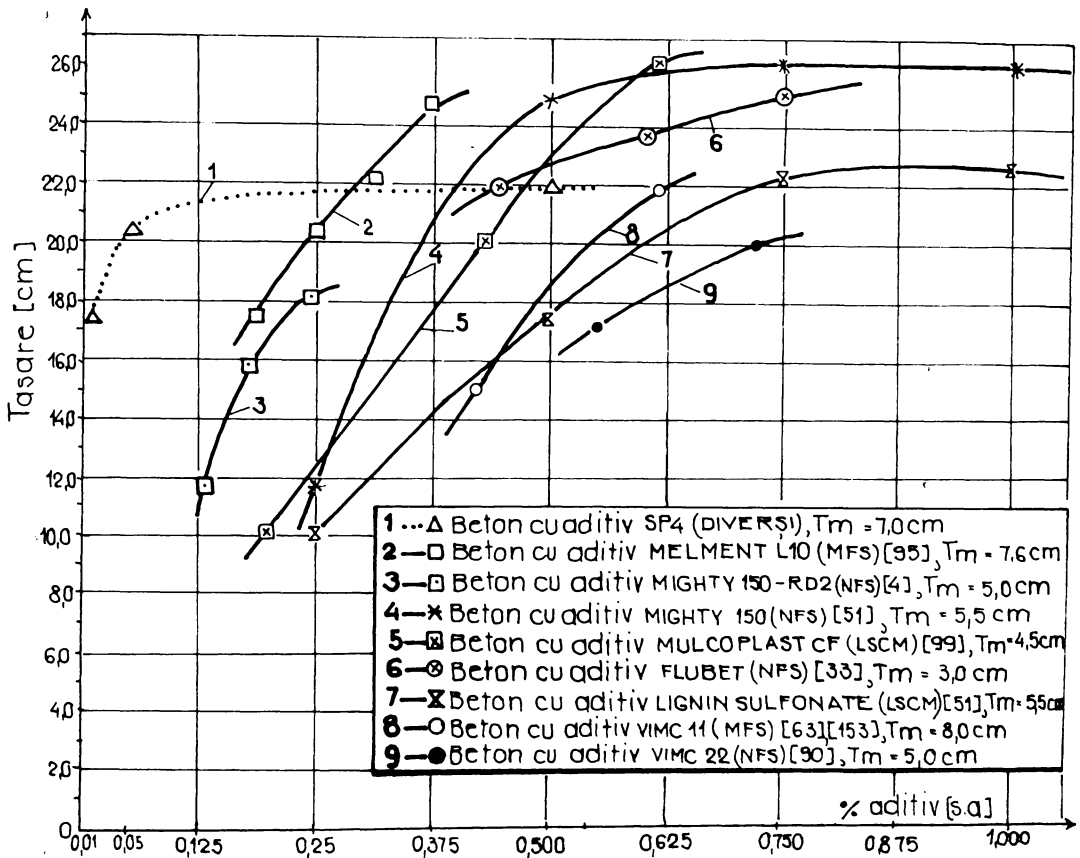


Fig.5.4. Influența procentului de aditiv superplastifiant asupra tasării betonului proaspăt.

Se constată că efectul de superplastifiere al aditivului SP4 este asemănător cu a celorlalte tipuri de aditivi, cu mențiunea că el se obține prin utilizarea unor procente mult mai reduse. Astfel, el se utilizează în proporție de 0,01-0,05% ș.a. din cantitatea de ciment (aspect cercetat și pe pastele de ciment la mecanismul de acțiune al aditivului, cap.4. paragraful 4.5.2) comparativ cu alte tipuri de aditivi din țară și străinătate, care se folosesc în proporție de 0,10-1,00% ș.a. din cantitatea de ciment (vezi și tab.2.3 cap.2, paragraful 2.2.2).

Din cele prezentate, se constată că aditivul SP4 are un efect de superplastifiere (superfluidifiere) a betonului asemănător cu celelalte tipuri de aditivi superplastifianți, dar el se obține prin utilizarea unei cantități de aditiv de cca.2-20 ori mai mica,

ceea ce conduce în final la obținerea unor preguri de cost/m<sup>3</sup> beton mai reduse decât prin utilizarea altor tipuri de aditivi.

Influența procentului de aditiv superplastifiant SP4 asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale unui beton de clasă Bc 20 (B 250) este prezentată în tab.5.4.

Influența procentului de aditiv superplastifiant SP4 asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale betonului.

Tabelul 5.4

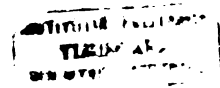
Tipul de beton	Caracteristici fizico-mecanice % aditiv soluție	Beton proaspăt				Beton întărit	
		T [cm]	L	$\rho_{bp}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$V_{av}$ [%]	$\rho_b$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]
0	1	2	3	4	5	6	7
BC 20	0,00	7,0	L3	2365	0,88	2285	21,0
	0,02	17,5	L5	2340	1,92	2265	20,0
	0,10	20,0	L5	2325	2,50	2257	19,5
	1,00	22,0	>L5	2340	1,92	2250	20,5

Compoziția betonului utilizat a fost: A=213 l/m<sup>3</sup>, C(Pa 35)=384 kg/m<sup>3</sup>, Ag(0-16)=1751 kg/m<sup>3</sup>, iar aditivul SP4 s-a utilizat în cantitate de 0,00; 0,02; 0,10 și 1,0% soluție din cantitatea de ciment.

Pe baza rezultatelor experimentale obținute pe betonul fluid cu diferite procente de aditiv SP4 și raport a/c egal cu al betonului martor, se pot face următoarele aprecieri :

- tasarea betonului cu aditiv SP4 crește la 17,5-22,0 cm față de cea a betonului martor, care este de 7,0 cm, iar cca.80-90% din tasarea maximă a betonului proaspăt se obține la o cantitate de aditiv SP4 de 0,02-0,10% soluție din cantitatea de ciment, rezultat similar cu cel obținut și pe pastele de ciment (cap.4, paragraful 4.5.2.1). Valoarea maximă a tasării se obține la o cantitate de aditiv 1,0% soluție din cantitatea de ciment, dar sporul de tasare de 10-20% nu justifică sporul de cantitate de aditiv 10 ori ;

- celelalte caracteristici fizico-mecanice ale betonului cu aditiv SP4 (densitatea aparentă, volum de aer oclus, rezistența la compresiune), sînt apropiate de cele ale betonului martor.



Pentru a urmări influența tipului de aditiv superplastifiant asupra unor proprietăți fizico-mecanice ale betonului, s-au efectuat încercări experimentale pe un beton de clasă Bc 15(B200) la care s-a utilizat aditiv superplastifiant SP4 -0,02% și MIGHTY 150 -0,5% soluție din cantitatea de ciment. Compoziția de bază utilizată a fost :  $A=235 \text{ l/m}^3$ ,  $C(Pa 35)=318 \text{ kg/m}^3$ ,  $A_s(o-16)=1784 \cdot \text{kg/m}^3$ .

S-au realizat în ambele cazuri betoane fluide, cu același raport a/c cu betonul martor, iar cu aditivul SP4 s-a realizat și o compoziție de beton la lucrabilitate egală cu a betonului martor, prin reducerea raportului a/c.

Rezultatele experimentale obținute sînt prezentate în tab. 5.5.

Influența aditivilor superplastifianți SP4 și MIGHTY 150 asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale betonului:

Tab. 5.5

Caracteristici fizico-mecanice Tipul de beton	Beton proaspăt			Beton întărit			
	Tasare [cm]	$S_{bp}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$V_{a0}$ [%]	$S_b$ [kg/m <sup>3</sup> ] la:		$R_b$ [N/mm <sup>2</sup> ] la:	
				7 zile	28 zile	7 zile	28 zile
0	1	2	3	4	5	6	7
Bc 15 - L3 - M	6,5	2340	0,80	2270	2250	10,5	18,5
Bc 15 - L5 - SP4 - 0,02 %	16,5	2325	1,44	2260	2230	10,2	18,3
Bc 15 - L3 - SP4 - 0,02 %	5,0	2335	1,01	2260	2240	13,0	21,2
Bc 15 - L5 - MIGHTY - 0,5%	18,0	2335	1,01	2265	2250	10,6	19,1

Se constată următoarele :

- efectul de fluidizare a ambilor aditivi asupra betoanelor proaspete, tasarea crescînd la 16,5-18,0 cm față de 6,5 cm la betonul martor;

- celelalte caracteristici fizico-mecanice ale betoanelor cu aditivi la raport a/c egal sînt apropiate de cele ale betoanelor martor ;

- la betonul cu aditiv SP4 realizat la aceeași lucrabilitate cu betonul martor, prin reducerea raportului a/c cu 8,5% se obțin sporuri de rezistență la compresiune la 28 zile de 11,4% ;

- efectul de fluidizare a betonului proaspăt este obținut prin utilizarea aditivului SP4 în proporție de 0,02% soluție din cantitatea de ciment, iar a aditivului MIGHTY 150 în proporție de 0,5% soluție din cantitatea de ciment.

#### 5.2.1.2. Cimentul

Pentru încercări s-a utilizat ciment P<sub>a</sub> 35, urmărindu-se în special influența dozajului de ciment asupra lucrabilității betonului proaspăt și a rezistențelor mecanice ale betoanelor întărite.

S-au preparat mai multe amestecuri de beton martor și cu aditiv SP4 cu următoarele doze de ciment: 318, 375, 384, 450 și 565 kg/m<sup>3</sup>. S-au utilizat agregate silicioase de râu cu dimensiunea maximă de 16 mm.

Rezultatele experimentale au fost prezentate în tab.5.1; 5,2; 5,3; 5,5; 5,6.

Se constată următoarele :

- la același raport a/c (aceeași cantitate de apă de preparare și dozaj de ciment) cu betonul martor, lucrabilitatea betoanelor cu aditiv SP4 a fost L<sub>5</sub> (tasarea 16,5-17,5 cm) față de L<sub>3</sub> (tasarea 5,0-8,5 cm) la betoanele martor, în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice ale betoanelor cu aditiv apropiate de cele ale betoanelor martor (betoane fluide) ;

- la aceeași lucrabilitate a betoanelor cu aditiv SP4 și martor (L<sub>3</sub>, tasarea 5,0-8,0 cm), la raport a/c redus (prin reducerea cantității de apă de preparare la dozaj de ciment egal) față de betoanele martor, se obțin creșteri de rezistență la compresiune de 10,0-17,9% față de betoanele martor (betoane cu raport a/c redus) ;

- la aceeași lucrabilitate, prin reducerea cantității de apă de preparare se poate reduce și dozajul de ciment cu 5,3-10,6% la betoanele cu aditiv SP4, obținându-se betoane cu rezistențe mecanice apropiate de cele ale betoanelor martor (betoane cu dozaj de ciment redus).

Pentru asigurarea unei superplastifieri corespunzătoare a betoanelor se recomandă ca dozajul de ciment utilizat să nu scadă sub 300 kg/m<sup>3</sup>.

#### 5.2.1.3. Agregetele

maximă a granulelor de 16 mm. S-au efectuat cercetări și pe betoane ușoare cu granulit de Lugoj, dar aceste încercări nu fac obiectul tezei de doctorat, rezultatele obținute fiind prezentate în contractele de cercetare /169/, /195/ și în lucrările publicate în Revista Materiale de Construcții /72/, /76/.

Pe baza celor constatate din încercările experimentale efectuate, se recomandă la utilizarea aditivului superplastifiant SP4 îndeplinirea următoarelor condiții :

- utilizarea unor agregate cu granulozitate continuă ;
- asigurarea unui conținut de parte fină de minimum 25-30% care să contribuie în mai mare măsură la obținerea unei superplastifi-eri a amestecurilor. Valoarea maximă se referă la amestecurile la care dozaajul de ciment este minim, ca descrescând cu creșterea do-zaajului de ciment ;
- dimensiunea maximă a granulelor agregatului să nu depășească 31,5 mm.

#### 5.2.1.4. Lucrabilitatea

Lucrabilitatea este un important criteriu de apreciere a stării betonului proaspăt. Ea s-a determinat prin metode cea mai utilizată în practică, metode tasării.

Conform propunerii de clasificare după lucrabilitate, prezen-tată în detaliu în cap.4, paragraful 4.1, tab.4.1, betoanele cu adi-tivi superplastifianți pot fi:

- Betoane cu lucrabilitate îmbunătățită ; . .
- Betoane cu lucrabilitate egală.

Betonul cu lucrabilitate îmbunătățită are caracteristicile prin-cipală lucrabilitatea îmbunătățită față de cea a betonului martor.

Betonul cu lucrabilitate egală are caracteristicile principală lucrabilitatea egală cu a betonului martor.

Având în vedere că în acest paragraf urmărim efectul aditivu-lui SP4 în mărirea lucrabilității betonului proaspăt, vom trata în continuare numai betonul cu lucrabilitate îmbunătățită urmînd ca al doi-lea tip să fie urmărit în par.5.2.2.1 cînd se va discuta despre rezistențele mecanice, avînd în vedere că în acest caz se obțin rezis-tențe superioare față de betonul martor.

În cadrul tezei de doctorat din cadrul betoanelor cu lucrabi-litate îmbunătățită a fost studiat betonul fluid, iar în cadrul be-

toanelor cu lucrabilitate egală, betonul cu raport  $a/c$  redus și betonul cu dozaj de ciment redus.

Efectul aditivului superplastifiant SP4 asupra lucrabilității (tasării) betonului în funcție de raportul  $a/c$  este prezentat în fig.5.5.

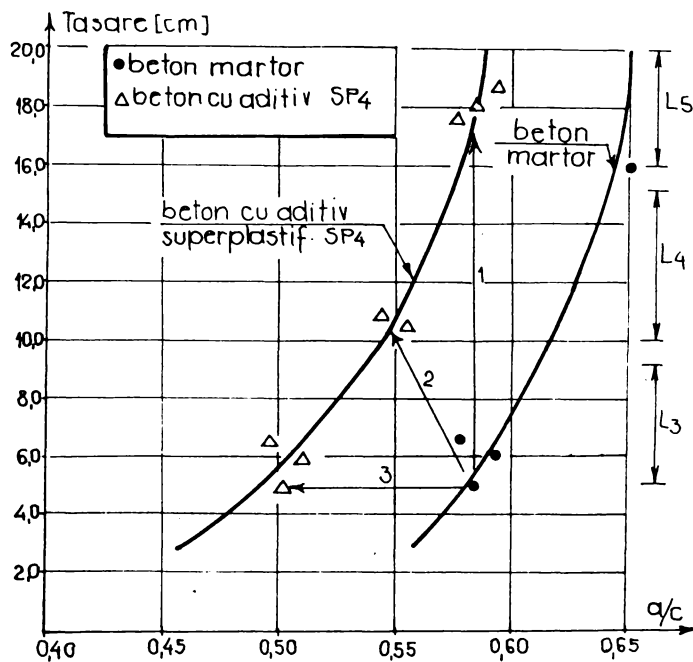


Fig.5.5. Influența aditivului superplastifiant SP4 asupra lucrabilității betonului proaspăt.

- 1) îmbunătățirea sensibilă a lucrabilității la raport  $a/c$  egal prin creșterea valorii tasării;
- 2) îmbunătățirea limitată a lucrabilității prin reducerea moderată a raportului  $a/c$ ;
- 3) lucrabilitate egală prin reducerea raportului  $a/c$ .

Pentru reprezentare s-au utilizat rezultatele experimentale obținute pentru un beton de clasă Bc 20 (B 250).

Curbele obținute sînt esemănătoare cu cele pentru aditivii superplastifianți VLMC 11 și VLMC 22./58/,/59/,/63/,/90/.

Din fig.5.5, precum și din cercetările efectuate pe mai multe clase de betoane (Bc.15; Bc 20; Bc 22,5; Bc 30), care au fost prezentate în paragraful 5.1 al prezentului capitol, se constată că prin utilizarea aditivului SP4 se pot obține următoarele efecte



asupra lucrabilității :

- îmbunătățirea sensibilă a lucrabilității betonului proaspăt cu aditiv, la același raport a/c (cantitate de apă de preparare și dozaj de ciment egale) cu betonul martor. Lucrabilitatea (tasarea) betonului proaspăt martor crește de la  $L_3$  (tasare  $7 \pm 2$  cm) la  $L_5$  (tasare  $18 \pm 2$  cm) la betonul cu aditiv, în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice apropiate (fig.5.5, cazul 1) ;

- îmbunătățirea limitată a lucrabilității betonului proaspăt cu aditiv, prin reducerea moderată a raportului a/c (cantitatea de apă de preparare redusă cu cca.5-10% și dozaj de ciment egal) față de betonul martor. Lucrabilitatea (tasarea) betonului cu aditiv crește la  $L_4$  (tasarea  $12 \pm 2$  cm) față de cea a betonului martor  $L_3$  (tasarea  $7 \pm 2$  cm), în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice ameliorate la betonul cu aditiv față de betonul martor (fig.5.5, cazul 2);

- lucrabilitate egală cu a betonului martor ( $L_3$ , tasarea  $7 \pm 2$  cm), prin reducerea raportului a/c la betonul cu aditiv (cantitatea de apă de preparare redusă cu cca.10-15% și dozaj de ciment egal), în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice superioare (a reducerii duratei tratamentului termic, a scurtării timpului de utilizare a cofrajelor la întreprinderile de prefabricate). (fig.5.5, cazul 3). Se poate obține și reducerea dozajului de ciment, utilizarea de cimenturi de calitate inferioară, în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice cel puțin egale cu ale betoanelor martor.

Principalele avantaje tehnico-economice ce se pot obține prin utilizarea aditivului SP4 au fost prezentate în capitolul 4, paragraful 4.1 și tab.4.2; 4.3 și 4.4.

Îmbunătățirea lucrabilității betoanelor cu aditiv SP4 (betosne fluide) la același raport a/c cu betoanele martor este prezentată în fig.5.6.a și 5.6.b.

Compozițiile betoanelor utilizate au fost prezentate în paragraful 5.1.1. Se constată îmbunătățirea sensibilă a lucrabilității la toate clasele de betoane cu aditiv SP4 studiate (Bc 15, Bc 20, Bc 22,5 și Bc 30) față de cea a betoanelor martor (la  $L_5$  de la  $L_3$ ), aditivul SP4 avînd un efect de superplastifiere a betoanelor. Reducerea raportului a/c la betonul cu aditiv SP4 comparativ cu cea a betoanelor preparate cu alți aditivi din țară și străinătate este prezentată în tab.5.6.

Pe baza datelor prezentate se constată că aditivul SP4 este un aditiv reducător al cantității de apă de preparare (cca.5-15%) alături de aditivii LIGII SULFONATE și MIGHTY 150 - RD2, ceea ce

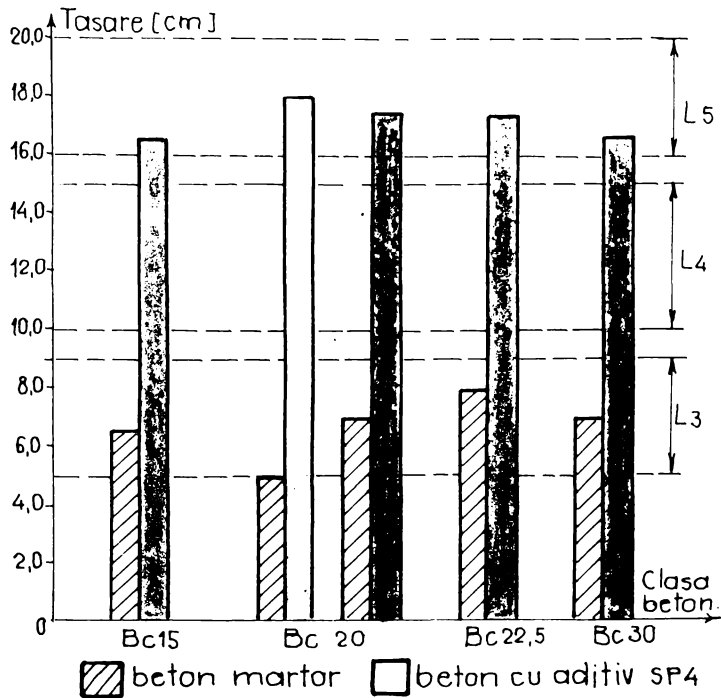


Fig.5.6. a. Imbunătățirea sensibilă a lucrabilității betoanelor cu aditiv superplastifiant SP4 la raport egal a/c egal cu al betoanelor mator.



Fig.5.6.b. Imbunătățirea sensibilă a lucrabilității betonului cu aditiv superplastifiant SP4 ( $L_5$ , tasare  $18 \pm 2$  cm), față de cea a betonului mator ( $L_3$ , tasare  $7 \pm 2$  cm), la raport a/c egal.

## Reducerea raportului a/c la betoanele cu aditivi superplastifianți

Tabelul 5-6

Denumirea aditivului superplastifiant	SP4	MIGHTY 150-RD2	LIGNIN SULFONATE	MELMENT N	VMC 11	VMC 22	FLUBET	MELMENT L10	MIGHTY 150
Grupa Aditivului superplastif.	IV DIVERȘI	II NFS	III LSCM	I MFS	I MFS	II NFS	II NFS	I MFS	II NFS
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Reducerea raportului a/c (a apă de preparare) la lucrabilitate egală.	5,0-15,0 0,02-0,10*	12,0-18,0 0,7-0,8*	10,0-15,0 0,25-0,75**	12,5-20,0 1,0-1,5*	10,0-15,0 2,0-3,0* [46] 12,0-25,0 1,0-4,0* [173] 12,0-25,0 1,0-5,0* [174] 15,0-20,0 2,0* [153]	15,0-30,0 0,8-2,0* [173] 13,6-18,7 1,1-1,8* [46]	15,0-25,0 1,5* [153] 16,0-26,0 1,5-2,5* [33]	17,8-24,4 2,5-5,0* [2]	10,0-33,0 0,25-1,0** [50] 5,9-25,9 0,25-1,0** [51]
[%.]		[4]	[50],[51]	[122]					

\*% aditiv solutie din cantitatea de ciment

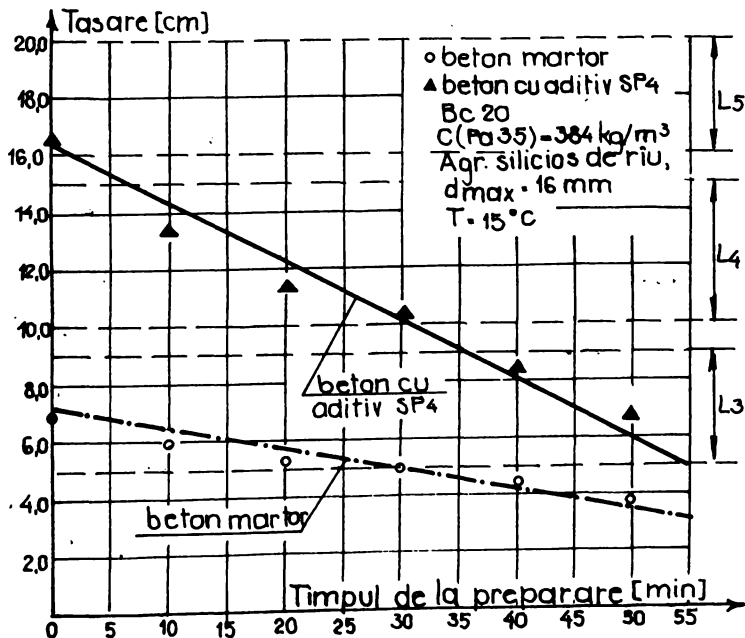
\*\*% aditiv substantă uscată (activă) din cantitatea de ciment.

este în concordanță cu rezultatele prezentate anterior în legătură cu aditivul SP4, la identificarea lui (cap.4, paragraful 4.4.2.2) și la studiul mecanismului lui de acțiune (cap.4, paragraful 4.5). Se impune o precizare despre aditivul MIGHTY 150 - RD2. Acesta este un aditiv superplastifiant cu dozaj redus și efect de întârzietor /4/, utilizându-se pentru a obține betoane fluide la doza de 0,3-0,5% soluție din cantitatea de ciment, iar dacă se urmărește reducerea raportului a/c atunci se utilizează în proporție de 0,7-0,8%.

Aditivii superplastifianți VIMC11, FLUBET, MELMET L10, și MIGHTY 150 reduc apa de preparare cu 15-33%.

### 5.2.1.5. Varietia în timp a lucrabilității

Așa cum a rezultat din cercetările experimentale efectuate, utilizarea aditivului SP4 contribuie la îmbunătățirea sensibilă a lucrabilității betoanelor proaspete. Lucrabilitatea, determinată prin metoda tasării, s-a constatat că scade în timp. Acest aspect prezintă o mare importanță, în special în cazul transportului betonului cu aditiv la locul de punere în operă, când stabilirea timpului cît  $t_{\varepsilon}$  - sarea se menține în anumite limite acceptabile, în variația ei de la o valoare inițială maximă la o valoare finală egală cu tasarea matorului, este necesară.



În fig.5.7 se prezintă variația în timp a tasării unui beton fluid cu aditiv SP4, realizat la același raport a/c cu betonul martor, la temperatura de +15 °C.

Compoziția betonului martor Bc 20 a fost :  $A=230 \text{ l/m}^3$ ,  $C(\text{Pc } 35)=384 \text{ kg/m}^3$ ,  $Ag(o-16 \text{ mm})=1751 \text{ kg/m}^3$ . Aditivul SP4 s-a utilizat în proporție de 0,02% soluție din cantitatea de ciment. Se constată o revenire treptată a tasării betonului fluid cu aditiv (16,5 cm) la valoarea tasării betonului martor (7,0 cm) în circa 45 minute de la prepararea amestecului și dozarea aditivului. Se poate aprecia că un beton fluid cu aditiv SP4 cu lucrabilitate  $L_5$  (tasarea  $18 \pm 2 \text{ cm}$ ) revine la lucrabilitatea  $L_3$  (tasarea  $7 \pm 2 \text{ cm}$ ), egală cu a betonului martor, la temperatura de +15 °C în cca. 35-50 minute de la prepararea betonului.

Datele privind variația în timp a lucrabilității arată că în practică este avantajos cu aditivul superplastifiant SP4 să fie introdus în amestec la prepararea betonului (în a doua jumătate a timpului de amestecare), în situația în care betonul proaspăt este pus în operă în maxim 35 minute de la preparare.

#### 5.2.1.6. Temperatura mediului ambiant

Variația temperaturii mediului ambiant influențează lucrabilitatea betonului proaspăt.

Din experimentările efectuate asupra lucrabilității betoanelor cu aditiv SP4, a rezultat că se produce o scădere a lucrabilității (tasării) betonului proaspăt în timp, cu atât mai accentuată, cu cât temperatura mediului (și deci a betonului) crește. Acest fenomen este explicabil prin intensificarea reacțiilor de hidratare ale cimentului cu creșterea temperaturii.

În fig.5.7 se prezintă variația lucrabilității (tasării) betonului cu aditiv SP4 în funcție de temperatură (la temperatura de +15 °C și +20 °C). Compoziția betonului Bc 20 utilizat a fost :  $A=230 \text{ l/m}^3$ ;  $C(\text{Pc } 35)=384 \text{ kg/m}^3$ ,  $Ag(o-16 \text{ mm})=1751 \text{ kg/m}^3$ . Aditivul SP4 s-a utilizat în proporție de 0,02% soluție din cantitatea de ciment. Se constată că, la temperatura de 15 °C, tasarea betonului cu aditiv SP4 ajunge la tasarea betonului martor după cca.45 minute, în timp ce la temperatura de 20 °C, ajunge la cca. 35 de minute.

Rezultatele sînt similare cu cele prezentate în literatură de specialitate privind variația lucrabilității (tasării) betoanelor.

lor cu diferiți aditivi superplastifianți în funcție de temperatură și a timpului când tasarea atinge valoarea matorului /52/, /63/, /65/, /68/, /95/, /104/, /139/.

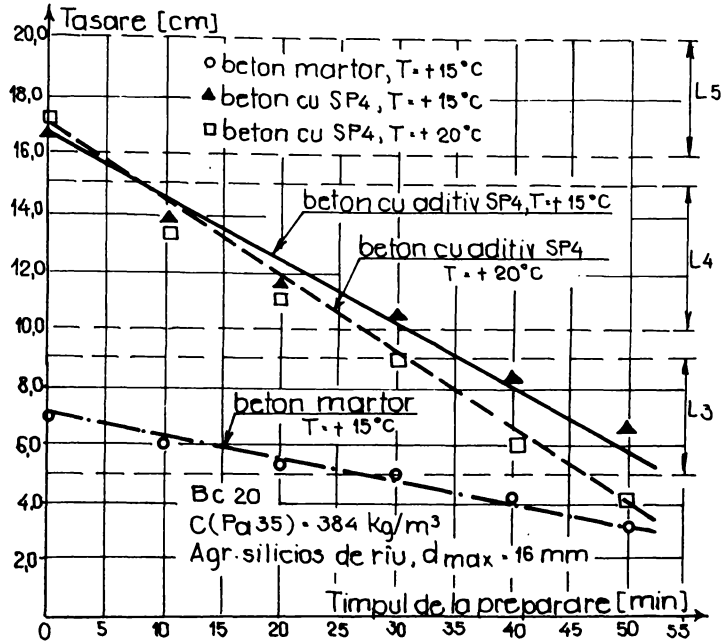


Fig.5.8. Variația în timp a lucrabilității betonului proaspăt cu aditiv superplastifiant SP4 în funcție de temperatură.

#### 5.2.1.7. Dozarea repetată (redozarea)

Din încercările efectuate asupra lucrabilității (tasării) betoanelor proaspete cu aditiv superplastifiant SP4, s-a constatat că ea scade în timp pînă la valoarea matorului, iar dacă se adaugă o nouă cantitate de aditiv, betonul își recapătă practic lucrabilitatea inițială.

Variația tasării în timp în cazul redozării aditivului SP4, se prezintă în fig.5.9.

Compoziția betonului Bc 20 utilizat a fost următoarea :  $A=230 \text{ l/m}^3$ ,  $C(\text{Pa } 35)=384 \text{ kg/m}^3$ ,  $Ag(o-16)=1751 \text{ kg/m}^3$ . Aditivul SP4 s-a utilizat inițial în proporție de 0,02% soluție din cantitatea de ciment. Se constată că redozarea aditivului SP4 are un efect favorabil asupra tasării betonului proaspăt. Dacă la 45 minute de la preparare, când tasarea betonului cu aditiv a ajuns la valoarea

de 7 cm (respectiv valoarea inițială a tasării betonului martor), se adaugă o cantitate suplimentară de aditiv (0,02%), tasarea betonului crește din nou până aproape de valoarea inițială, ajungând iar la valoarea betonului martor după alte 45 minute.

Deci prin re-doizarea aditivului SP4 în intervalul de 30-45 minute de la preparare, se produce o revenire a tasării betonului proaspăt până aproape de valoarea inițială.

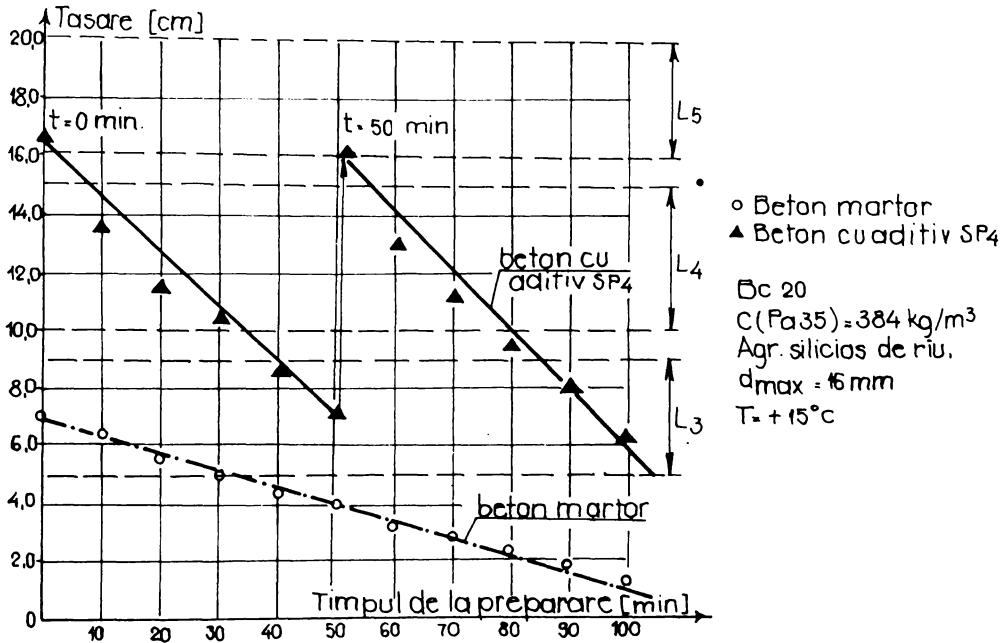


Fig.5.9. Influența dozării repetate a aditivului superplastifiant SP4 asupra variației în timp a lucrabilității betonului proaspăt.

La dozarea repetată a aditivului superplastifiant se recomandă să se respecte condiție :

$$\sum D_n \leq D_{\max, r} \quad (5.1)$$

unde: D - doză de aditiv superplastifiant ce se utilizează în cadrul unei dozări (%);

n - numărul de dozări repetate, de regulă n=1-3.

D<sub>max,r</sub> - dozajul maxim recomandat pentru un aditiv superplastifiant, prescrie în fișa lui tehnică (%).

De asemenea se recomandă să se verifice volumul de aer oclus din beton cu prilejul re-dozărilor și de asemenea să nu se depășeas-

că timpul de început de priză al betonului, pentru a nu afecta rezistențele lui mecanice.

### 5.2.1.8. Intervalul de timp dintre prepararea betonului și adăugarea aditivului SP4

Pentru a urmări influența timpului de introducere a aditivului SP4 în beton asupra lucrabilității (tasării), s-au efectuat încercări de laborator pe probe de beton martor și cu aditiv. Compoziția betonului Bc.20 utilizat a fost :  $A=230 \text{ l/m}^3$ ,  $C(\text{Pa } 35)=384 \text{ kg/m}^3$ ,  $Ag(0-16)=1751 \text{ kg/m}^3$ . Aditivul SP4 s-a utilizat în proporție de 0,02% soluție din cantitatea de ciment.

S-au considerat următoarele momente ale adăugării aditivului SP4 în beton :

- a) în timpul amestecării ( $t=0$  minute) ;
- b) la 30 minute de la preparare ( $t=30$  minute) ;
- c) la 90 minute de la preparare ( $t=90$  minute).

Rezultatele experimentale obținute sînt prezentate în fig.

5.10.

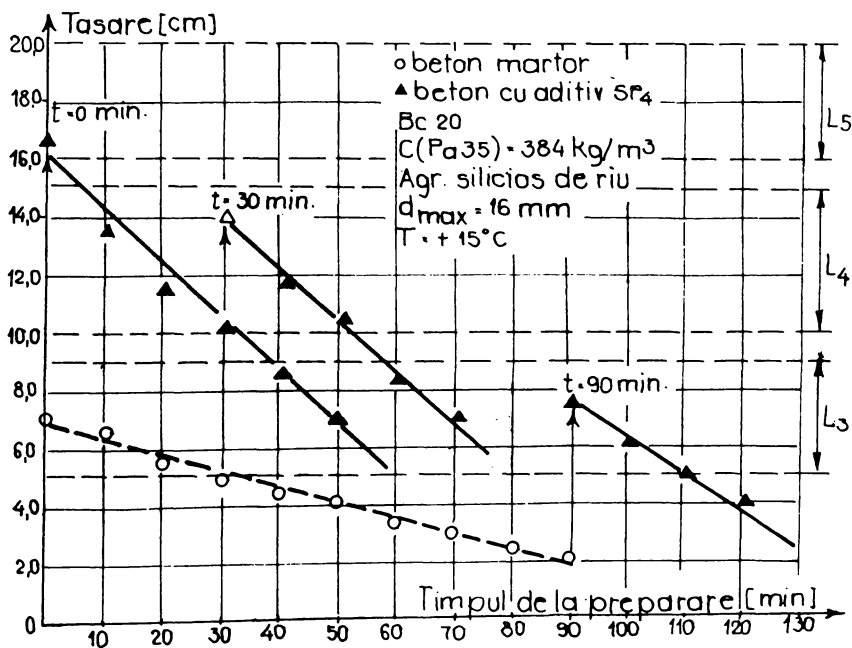


Fig.5.10. Influența intervalului de timp dintre prepararea betonului și adăugarea aditivului superplastifiant SP4 asupra lucrabilității betonului proaspăt.



Se constată următoarele :

- la  $t=0$  minute, tasarea betonului martor este de 7,0 cm, iar a betonului cu aditiv SP4 de 16,5 cm, ea ajungând la valoarea martorului după cca.45 minute (în domeniul betonului fluid, lucrabilitatea  $L_4$  și  $L_5$ , tasarea se menține cca. 30 minute) ;

- la  $t=30$  minute, tasarea betonului martor este de 5,0 cm, iar betonului cu aditiv de 14,0 cm, ea ajungând la valoarea inițială a betonului martor de 7,0 cm în cca.30 minute (tasarea se menține în domeniul betonului fluid, lucrabilitatea  $L_4$ , cca. 20 minute) ;

- la  $t=90$  minute, tasarea betonului martor este de 2,0 cm iar a betonului cu aditiv de 7,5 cm.

Pe baza rezultatelor obținute, pentru ca introducerea aditivului SP4 în beton să aibă efect sensibil asupra tasării betonului proaspăt (să o aducă în domeniul betonului fluid,  $L_4$  sau  $L_5$ ) și să o mențină cel puțin 10-20 minute după momentul introducerii, pentru ca betonul să poată fi pus în operă în condiții corespunzătoare, trebuie :

- să fie în intervalul 0-45 minute de la preparare ;
- ca tasarea betonului martor să fie în domeniul de lucrabilitate  $L_3$  (tasarea  $7 \pm 2$  cm).

Dacă nu se urmărește realizarea unei lucrabilități a betonului proaspăt  $L_4$  atunci aditivul SP4 se poate introduce pînă la 90 minute de la preparare.

Si în acest caz trebuie avut în vedere ca introducerea aditivului superplastifiant să nu se facă după timpul de început de priză al betonului.

Redozarea aditivilor superplastifianți sau adăugarea lor la un anumit interval de timp de la prepararea betonului, sînt soluții tehnologice ce se adoptă în funcție de condițiile concrete și au apărut ca răspuns la necesitatea de a transporta betoanele la distanțe mari de centrale de beton sau în cazul cînd anumite condiții tehnologice impun ca betonul să fie pus în operă la intervale mai mari de timp de la preparare, fără a se utiliza aditivi întîrziători.

Prin utilizarea metodelor prezentate, aditivul superplastifiant SP4 poate asigura betoanelor proaspete lucrabilități  $L_4$  și  $L_5$  (tasări de 10-20 cm) timp de cca. 75-90 minute de la preparare (redozare) respectiv 50-60 minute (la dozarea aditivului la un anumit interval de timp de la preparare).

Redozarea aditivului (sau dozarea lui) la un anumit interval de timp de la prepararea betonului se poate efectua și prin intermediul unei instalații de dozare a aditivului superplastifiant montată pe autobetonieră /90A, cu respectarea precizărilor făcute cu privire la procentele de aditiv precum și la timpul optim de redozare (dozare) a lui.

#### 5.2.1.9. Densitatea aparentă

Densitatea aparentă a betoanelor proaspete cu aditiv superplastifiant SP4 variază în funcție de tipul betonului (fluid, cu raport a/c redus, cu dozaj de ciment redus), procentul de aditiv și clasa betonului. Compozițiile de betoane utilizate au fost prezentate la fiecare tip de beton menționat, respectiv în paragrafele 5.1.1 (beton fluid), 5.1.2 (beton cu raport a/c redus) și 5.1.3 (beton cu dozaj de ciment redus). Rezultatele experimentale sînt prezentate în fig.5.11.

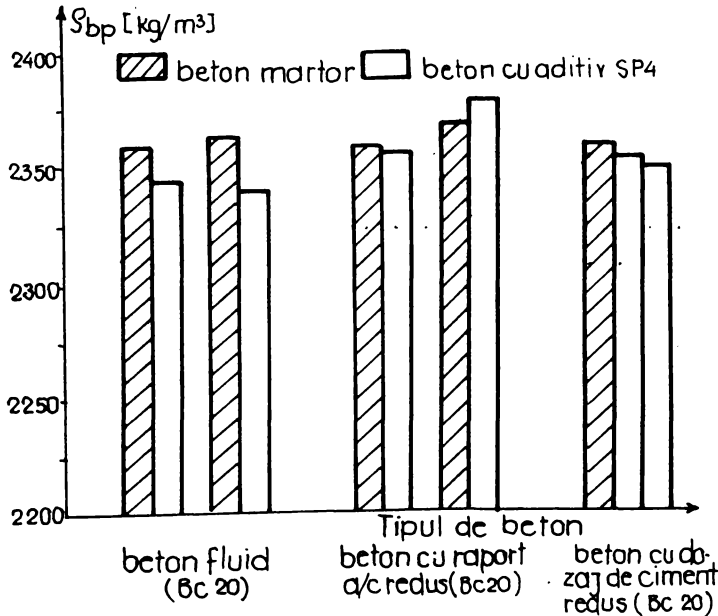


Fig.5.11. Densitatea aparentă a betoanelor proaspete cu aditiv superplastifiant SP4 în funcție de tipul de beton.

Pentru reprezentare s-au utilizat valorile obținute pe betoanele de clasă Bc 20 (B 250), dar rezultatele sînt similare cu cele

obținute și pe celelalte clase de betoane experimentate (Bc 15, Bc 22,5 ; Bc 30). Se poate afirma că :

- la betonul fluid, densitatea aparentă a betonului cu aditiv SP4 este puțin mai mică decât a betonului martor (cu -0,9... -1,8%) ;
- la betonul cu raport a/c redus, densitatea aparentă a betonului cu aditiv SP4 este apropiată sau mai mare decât a betonului martor ;
- la betonul cu dozaj de ciment redus, densitatea aparentă a betonului cu aditiv SP4 este foarte apropiată de cea a betonului martor.

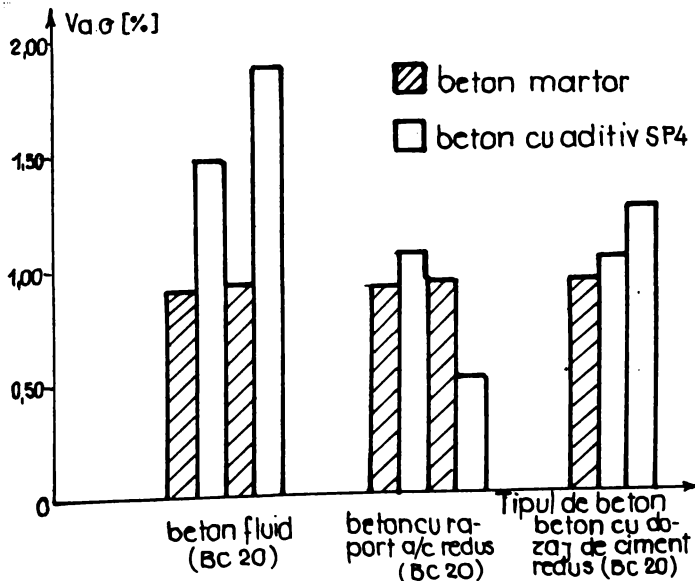
#### 5.2.1.10. Volumul de aer oclus

Cunoașterea volumului de aer oclus în betoanele la care se utilizează aditivii este o cerință de bază, fiind cunoscut că depășirea valorilor maxime admise pentru un anumit tip de beton conduce la diminuarea densității aparente și implicit a rezistențelor mecanice ale betoanelor.

Încercări experimentale privind efectul aditivului superplastifiant SP4 asupra volumului de aer oclus s-au determinat pe toate cele trei tipuri de betoane : fluid, cu raport a/c redus și cu dozaj de ciment redus.

Compozițiile betoanelor utilizate au fost prezentate în paragrafele 5.1.1 ; 5.1.2 și 5.1.3.

În fig.5.12 se prezintă rezultatele experimentale obținute.



Pentru reprezentare s-au utilizat valorile obținute pe betonul de clasă Bc 20 (B 250) la toate cele 3 tipuri de betoane, rezultatele la celelalte clase de betoane fiind similare.

Se constată că la betoanele fluide cu aditiv SP4 volumul de aer oclus este puțin mai mare decât la betoanele marțor, la betoanele cu raport a/c redus el este apropiat sau mai mic iar la betoanele cu dozaj de ciment el este apropiat de cel al betoanelor marțor.

În toate cazurile prezentate volumul de aer oclus introdus în betonul proaspăt de aditivul superplastifiant SP4 nu depășește valoarea maximă admisă de 6,0%.

#### 5.2.1.11. Tendința de segregare

Cercetările experimentale întreprinse pe toate tipurile de betoane și mortare cu aditiv superplastifiant au arătat că nu apare fenomenul de segregare dacă se respectă prevederile referitoare la procentele de aditiv recomandate a se utiliza (paragraful 5.2.1.1), precum și celelalte prevederi referitoare la dozajul minim de ciment (paragraful 5.2.1.2) și agregate (paragraful 5.2.1.3).

#### 5.2.2. Influența aditivului superplastifiant SP4 asupra proprietăților betoanelor și mortarelor în stare întărită

Cercetările experimentale întreprinse în această direcție au urmărit în special influența aditivului superplastifiant SP4 asupra rezistențelor mecanice, densității aparente, modulilor de elasticitate statică și dinamică și durabilității.

În literatura de specialitate, influența aditivilor superplastifianți asupra proprietăților betoanelor și mortarelor în stare întărită este discutată în principal, în funcție de cantitatea de apă utilizată la prepararea lor. De aceea, în continuare analiza proprietăților betoanelor și mortarelor cu aditiv SP4 se va face în acest context, ținând seama și de clasificările propuse pentru betoanele cu aditivi superplastifianți în cap.4, paragraful 4.1, tab.4.1.

S-au studiat următoarele proprietăți ale betoanelor întărite:

- rezistența la compresiune ;
- rezistența la întindere ;
- rezistența prismatică ;
- aderența ;

- rezistența la îngheț-dezghet ;
- densitatea aparentă ;
- modulul de elasticitate static ;
- modulul de elasticitate dinamic.

#### 5.2.2.1. Rezistența la compresiune

Conform clasificării betoanelor cu aditivi superplastifianți propuse în cap.4, paragraful 4.1 după rezistența la compresiune, ele se împart în :

- betoane cu rezistență egală ;
- betoane cu rezistență superioară.

a) Betonul cu rezistență egală (sau betonul de egală rezistență) are caracteristica principală rezistența mecanică egală cu a betonului martor.

În cadrul tezei de doctorat s-au experimentat 2 tipuri de betoane care fac parte din această categorie : betonul fluid și betonul cu dozaj de ciment redus.

Betonul fluid are caracteristica principală lucrabilitatea îmbunătățită față de cea a betonului martor.

Se realizează la raport a/c egal cu al betonului martor, în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice ale betonului întărit egale cu ale betonului martor.

Betonul cu dozaj de ciment redus are dozajul de ciment redus față de betonul martor, în condițiile aceleiași lucrabilități și rezistențe mecanice cu ale betonului martor.

Prin utilizarea lui se obțin economii de ciment. Cercetările experimentale pe aceste 2 tipuri de betoane prin utilizarea a 4 clase de betoane (Bc 15, Bc 20, Bc 22,5, Bc. 30) au fost prezentate în detaliu în paragrafele 5.1.1 și 5.1.3 . Betoanele fluide (tab.5.1) au rezistența la compresiune etît la 7 cît și la 28 zile apropiată de cea a betoanelor martor, în limitele a  $\pm 5,0\%$  (între -1,1 și -4,7%), în condițiile în care betoanele proaspete cu SP4 au lucrabilitatea  $L_5$  (tasarea  $18 \pm 2$  cm) față de  $L_3$  (tasarea  $7 \pm 2$  cm) cît au betoanele martor (fig.5.1).

Betoanele cu dozaj de ciment redus au rezistența la compresiune la 7 și 28 zile ușor superioară față de betoanele martor, aceasta explicîndu-se prin faptul că reducerea dozajului de ciment s-a făcut progresiv, prin încercări. Comparativ cu betoanele martor ea se încadrează în limitele +0,2- +10,0%, în condițiile în care

dozajul de ciment a fost redus cu 20-40 kg/m<sup>3</sup> (cca.5-10%), la aceeași lucrabilitate cu betoanele martor (L<sub>3</sub>, teserea 7<sup>±</sup>2 cm) (fig. 5.3).

În concluzie, rezistența la compresiune la cele 2 tipuri de betoane este apropiată de cea a betoanelor martor, în condițiile în care betonul fluid are o lucrabilitate sporită, iar betonul cu dozaj de ciment redus are dozajul de ciment redus față de betonul martor și lucrabilitatea egală.

b) Betonul cu rezistență superioară are caracteristica principală rezistența mecanică superioară față de betonul martor. În cadrul tezei de doctorat s-au experimentat 2 tipuri de betoane care fac parte din această categorie : betonul cu raport a/c redus și betonul cu raport a/c redus moderat.

Betonul cu raport a/c redus are caracteristica principală rezistența mecanică superioară față de betonul martor. Se obține la raport a/c redus, prin reducerea apei de preparare (cu cca.10-13% la dozaj de ciment egal cu al betonului martor. Lucrabilitatea lui este egală cu a betonului martor (L<sub>3</sub>, teserea 7<sup>±</sup>2 cm).

Betonul cu raport a/c redus moderat are caracteristica principală rezistența mecanică ameliorată față de betonul martor. Se obține la raport a/c redus moderat, prin reducerea limitată a apei de preparare (cu cca.5-10%) la dozaj de ciment egal cu al betonului martor. Lucrabilitatea lui este îmbunătățită limitat față de cea a betonului martor (L<sub>4</sub>, teserea 12<sup>±</sup>2 cm față de L<sub>3</sub>, teserea 7<sup>±</sup>2 cm).

Cercetările experimentale întreprinse pe aceste tipuri de betoane au fost prezentate în paragraful 5.1.2, tab. 5.2. și fig. 5.2.a,b. Întrucât rezultatele semnificative sînt cele obținute pe betonul cu raport a/c redus (pe celălalt tip de beton ele sînt intermediare între martor și primul tip), în continuare se prezintă principalele concluzii cu privire la rezistențele la compresiune la 7 și 28 zile ale betoanelor cu raport a/c redus, comparativ cu cele ale betoanelor martor.

Determinările s-au efectuat pe 4 clase de betoane Bc 15, Bc.20, Bc 22,5 și Bc 30. Se constată că rezistența la compresiune a betoanelor cu aditiv SP4, atît la 7 cît și la 28 zile, este superioară față de cea a betoanelor martor. Astfel prin reducerea raportului a/c cu cca.10-13% se obțin sporuri de rezistență la compresiune la 28 zile de 10-18%.

În literatura de specialitate se consideră că utilizarea aditivilor superplastifienți la realizarea betoanelor cu rezistență

superioară (cu raport a/c redus sau cu lucrabilitate egală) este eficientă, dacă sporul de rezistență inițială (la 1 zi) reprezintă cel puțin 2% pentru fiecare procent din apa de preparare redusă, iar sporul de rezistență finală (la 28 zile) reprezintă cel puțin 1% pentru fiecare procent din apa de preparare redusă, în condițiile întăririi normale a betonului /63/. De asemenea, conform clasificării ASTM C 494-80/185/ și lucrării /33/ se consideră ca aditivi de tipul "Water-reducing high range admixtures" acei aditivi care reduc cantitatea de apă de preparare cu minimum 12%. Așa cum a rezultat din cercetările prezentate, prin utilizarea aditivului SP4 se poate reduce cantitatea de apă de preparare cu cca. 5,0-13,0% față de betonul martor, la aceeași lucrabilitate ( $L_3$ , tasarea  $7 \pm 2$  cm), iar sporurile de rezistență sînt la 1 zi de 37,3% (cap.4.fig.4) și la 28 zile de 10,8-17,9%. Din cele prezentate se poate considera că aditivul SP4 este un aditiv superplastifiant cu efect de reducător de apă.

#### 5.2.2.2. Rezistența la întindere

Incercările experimentale s-au efectuat pe betoane martor și pe betoane cu aditiv superplastifiant SP4 cu raport a/c redus, pe 2 clase de betoane Bc 20 (B 250) și Bc 22,5 (B 300).

Compozițiile betoanelor utilizate au fost :

Bc 20 M:  $s=224$  l/m<sup>3</sup>,  $C(Pa\ 35)=384$  kg/m<sup>3</sup>,  $Ag(o-16)=1751$  kg/m<sup>3</sup>.

Bc 20 SP4:  $A=212$  l/m<sup>3</sup>,  $C(Pa\ 35)=384$  kg/m<sup>3</sup>,  $Ag(o-16)=1751$  kg/m<sup>3</sup>,  
SP4=0,02% soluție.

Bc 22,5 M:  $A=205,0$  l/m<sup>3</sup>,  $C(Pa\ 35)=450$  kg/m<sup>3</sup>,  $Ag(o-16)=1650$  kg/m<sup>3</sup>.

Bc 22,5 SP4:  $A=181$  l/m<sup>3</sup>,  $C(Pa\ 35)=450$  kg/m<sup>3</sup>,  $Ag(o-16)=1650$  kg/m<sup>3</sup>,  
SP4=0,02% soluție.

Rezistența la întindere s-a determinat pe oîte 2 epruvete prismatice loxlox55 cm pentru fiecare clasă și tip de beton, păstrate în aer pînă la 28 zile, iar rezistența la compresiune s-a determinat pe 6 cuburi cu latura de 14,1 cm. Rezultatele experimentale sînt prezentate în tab.5.7.

Se constată că rezistența la întindere a betoanelor cu aditiv SP4 la 28 zile variază între 1,91-2,81 N/mm<sup>2</sup> fiind în general cu 0,29-0,35 N/mm<sup>2</sup> (11,5-22,4%) mai mare decît cea obținută pe betoanele martor. Rezultatele obținute sînt asemănătoare cu cele prezentate în lucrarea /32/, unde utilizându-se agregate de rîu 0-16 mm,

dozaje de ciment de 300-600 kg/m<sup>3</sup> și aditiv FLCBET (2,5%), rezistența la întindere a fost în general cu 0,4 k/mm<sup>2</sup> mai mare decât cea obținută pe betoanele fără aditivi.

Rezistența la întindere a betoanelor cu aditiv superplastifiant SP4.

Tabelul 5.7

Tipul de beton	R <sub>b</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	R <sub>t</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	ΔR <sub>t</sub> [%]
0	1	2	3
Bc 20-L3-Pa35/0-16/M	18,30	1,56	-
Bc 20-L3-Pa35/0-16/SP4-0,02%	20,50	1,91	+22,4
Bc 22,5-L3-Pa35/0-16/M	29,20	2,52	-
Bc 22,5-L3-Pa35/0-16/SP4-0,02%	33,30	2,81	+11,5

### 5.2.2.3. Rezistența prismatică

Cercetările s-au efectuat pe betoane martor și pe betoane cu aditiv superplastifiant SP4 cu raport a/c redus, pe 2 clase de betoane avînd următoarele compoziții :

Bc 20 -M : A=233,7 l/m<sup>3</sup>, C(Pa 35)=384 kg/m<sup>3</sup>, Ag(o-16)=1751 kg/m<sup>3</sup>.

Bc 20 SP4: A=210 l/m<sup>3</sup>, C(pa 35)=384 kg/m<sup>3</sup>, Ag(o-16)=1751 kg/m<sup>3</sup>,  
SP4=0,02% soluție.

Bc 22,5 M: A=205 l/m<sup>3</sup>, C(Pa 35)=450 kg/m<sup>3</sup>, Ag(o-16)=1650 kg/m<sup>3</sup>.

Bc 22,5 SP4: A=181 l/m<sup>3</sup>, C(pa 35)=450 kg/m<sup>3</sup>, Ag(o-16)=1650 kg/m<sup>3</sup>,  
SP4=0,02% soluție.

Determinările s-au efectuat pe cîte 3 epruvete prismatice 10x10x30 cm pentru fiecare tip și clasă de beton pentru stabilirea rezistenței prismatice și pe 6 cuburi cu lature de 14,1 cm pentru rezistența la compresiune. Epruvetele au fost păstrate în aer și încercate la 28 zile. Rezultatele obținute sînt prezentate în tab. 5.8.

Rezistența prismatică a betoanelor cu aditiv SP4 la 28 zile este cu 2,0-2,5 k/mm<sup>2</sup> (9,8-17,7%) mai mare decât cea obținută pe betoanele martor.



Rezistența prismatică a betoanelor cu aditiv superplastifiant SP4.

Tabelul 5.8

Tipul de beton	$R_b$	$R_{pr}$	$\pm \Delta R_{pr}$
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]
0	1	2	3
Bc 20-L3-Pa 35/0-16/M	20,6	17,5	-
Bc 20-L3-Pa 35/0-16/SP4-0,02%	23,4	19,5	+17,7
Bc 22,5-L3-Pa 35/0-16/M	29,2	25,5	-
Bc 22,5-L3-Pa 35/0-16/SP4-0,02%	33,3	28,0	+9,8

#### 5.2.2.4. Aderența

Cercetările experimentale s-au efectuat atât pe betoane martor cât și pe betoane cu aditiv superplastifiant SP4 cu raport s/c redus, pe 2 clase de betoane (Bc 20 și Bc 22,5) avînd aceleași compoziții cu cele prezentate în paragraful 5.2.2.3.

Pentru încercarea de aderență s-au turnat cîte 3 cuburi cu latura de 14,1 cm pentru fiecare tip și clasă de beton, utilizîndu-se armătură  $\emptyset$  10 mm din PC 52. Pentru determinarea rezistenței la compresiune s-au turnat cîte 6 cuburi cu latura de 14,1 cm pentru fiecare tip și clasă de beton. Probele s-au păstrat în aer și au fost încercate la 28 zile, iar rezultatele obținute sînt prezentate în tab.5.9.

Aderența betoanelor cu aditiv superplastifiant SP4

Tabelul 5.9

Tipul de beton	$R_b$	$\bar{\tau}_{ad}$	$\pm \Delta \bar{\tau}_{ad}$
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]
0	1	2	3
Bc 20-L3-Pa 35/0-16/M	20,6	8,37	-
Bc 20-L3-Pa 35/0-16/SP4-0,02%	23,4	9,33	+11,5
Bc 22,5-L3-Pa 35/0-16/M	29,2	9,57	-
Bc 22,5-L3-Pa 35/0-16/SP4-0,02%	33,3	10,29	+7,6

Aderența betoanelor cu aditiv SP4 la 28 zile este cu  $0,72-0,96 \text{ N/mm}^2$  (7,6-11,5%) mai mare decât cea obținută pe betoanele martor, valoare apropiată de cea obținută în /32/ prin utilizarea aditivului FLUBET (2,5%) de cca.  $0,8 \text{ N/mm}^2$  față de betonul martor.

#### 5.2.2.5. Rezistența la îngheț-dezghet

Determinările s-au efectuat pe un beton de clasă Bc 22,5 (B 300) martor și cu aditiv superplastifiant SP4, calculându-se pierderea de rezistență a betonului supus la 50 cicluri îngheț-dezghet (STAS 3518-68).

Compozițiile betoanelor utilizate au fost :

Bc 22,5 M: A=205  $\text{l/m}^3$ , C(Pa 35)=450  $\text{kg/m}^3$ , Ag(o-16)=1650  $\text{kg/m}^3$ ;  
 Bc 22,5 SP4: A=181  $\text{l/m}^3$ , C(pa 35)=450  $\text{kg/m}^3$ , Ag(o-16)=1650  $\text{kg/m}^3$ ,  
 SP4=0,03% soluție din cantitatea de ciment.

Betonul cu aditiv SP4 s-a realizat la aceeași lucrabilitate ( $L_3$ ) cu betonul martor prin reducerea cantității de apă de preparare.

Pentru încercări s-au turnat cuburi cu latură de 10 cm, câte 12 pentru betonul martor și 12 pentru betonul cu aditiv SP4, din care au fost păstrate în apă 6+6 cuburi și 6+6 au fost supuse la 50 cicluri îngheț-dezghet. Determinările s-au efectuat la 6 luni de la turnarea betonului. Rezultatele experimentale sînt prezentate în tab.5.10.

#### Rezistența la îngheț-dezghet a betoanelor cu aditiv superplastifiant SP4.

Tab. 5.10

Tipul de beton	Condiții de păstrare	$R_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Scădere de rezistență după 50 cicluri [%] îngheț-dezghet
0	1	2	3
Bc-22,5-L3-Pa35/0-16/M	apă	45,5	- 5,49
	îngheț-dezghet	43,0	
Bc-22,5-L3-Pa 35/0-16/SP4-0,02%	apă	48,5	- 2,06
	îngheț-dezghet	47,5	

Se constată comportarea bună la îngheț-dezghet a betonului cu aditiv SP4. Scăderea de rezistență la compresiune după 50 cicluri îngheț-dezghet a fost de 2,06% la betonul cu SP4 față de 5,49% la betonul martor, în ambele cazuri nedepășindu-se valoarea maximă admisă de 25%. Valoarea este mai scăzută la betonul cu aditiv SP4 deoarece betonul a fost realizat la raport a/c redus față de betonul martor.

Se poate aprecia pe baza rezultatelor obținute că betoanele cu aditiv SP4 cu raport a/c redus față de betonul martor au o comportare bună la îngheț-dezghet.

#### 5.2.2.6. Densitatea aparentă

Densitatea aparentă a betoanelor cu aditiv SP4 întărite variază în funcție de tipul betonului (fluid, cu raport a/c redus, cu dozaj de ciment redus), procentul de aditiv și clasa betonului. Variația este similară cu cea prezentată în paragraful 5.2.1.3, la densitatea aparentă în stare proaspătă, cu precizarea că valorile densităților aparente ale betoanelor întărite sînt mai mici. Compoziția betoanelor utilizate a fost prezentată la tipurile de betoane, paragraful 5.1.1 (betonul fluid), 5.1.2 (betonul cu raport a/c redus) și 5.1.3 (betonul cu dozaj de ciment redus). Determinările s-au efectuat pe cuburi cu latura de 14,1 cm. Rezultatele experimentale sînt prezentate în fig.5.13.

Pentru reprezentare s-au utilizat valorile obținute la 28 zile pe betoanele de clasă Bc 20 (B 250), dar rezultatele sînt similare cu cele obținute și pe celelalte clase de betoane experimentate (Bc 15, Bc 22,5, Bc 30).

Constatările sînt aceleași cu cele prezentate la densitatea aparentă a betoanelor proaspete cu aditiv SP4 (paragraf 5.2.1.3), cu mențiunea că valorile sînt mai mici.

#### 5.2.2.7. Modulul de elasticitate static

Modulul de elasticitate static s-a determinat pe betoane de clasă Bc 20 (B 250) și Bc 22,5 (B 300) martor și cu aditiv superplastifiant SP4 la raport a/c redus. Compozițiile betoanelor utilizate au fost cele de la determinarea rezistenței prismatice, paragraful 5.2.2.3.

pentru încercări s-au turnat câte 6 cuburi cu latura de 14,1 cm pentru determinarea rezistenței la compresie și 6 prisme 10 x 10 x 30 din care 3 s-au utilizat pentru determinarea rezistenței pris-

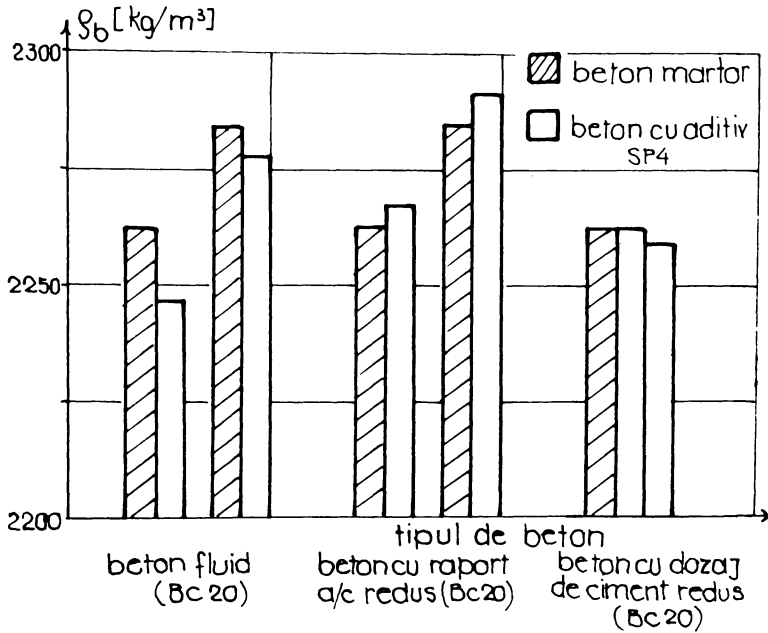


Fig.5.13. Densitatea aparentă a betoanelor întărite cu aditiv superplastifiant SP4 în funcție de tipul de beton.

matice și 3 pentru determinarea modului de elasticitate static, pentru fiecare tip și clasă de beton, epruvetele păstrându-se pînă la 28 zile în aer, termen la care s-au efectuat și încercările. Rezultatele obținute sînt prezentate în tab.5.11.

Modulul de elasticitate static al betoanelor cu aditiv superplastifiant SP4.

Tabelul 5.11

Tipul de beton	$R_b$	$R_{pr}$	$E_s$	$\pm \Delta E_s$
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[kN/mm <sup>2</sup> ]	[%]
0	1	2	3	4
Bc 20-L3-Pa 35/0-16/M	20,6	17,5	27,058	-
Bc 20-L3-Pa 35/0-16/SP4 -0,02%	23,4	19,5	26,169	+ 4,10
Bc 22,5-L3-Pa 35/0-16/M	29,2	25,5	28,275	-
Bc 22,5-L3-Pa 35/0-16/SP4 -0,02%	33,3	28,0	30,693	+9,25

Se constată că modulul de elasticitate static al betoanelor cu aditiv SP4 la 28 zile este mai mare cu 1,111-2,618  $\text{KN/mm}^2$  (4,10-9,25%) decât al betoanelor martor.

#### 5.2.2.8. Modulul de elasticitate dinamic

Determinările s-au efectuat pe 2 clase de betoane Bc 20 (B 250) și Bc 22,5 (B 300) având aceeași compoziții, condiții de preparare și termene de încercare ca și la modulul de elasticitate static.

Modulul de elasticitate dinamic s-a determinat cu formula  $E_d = 0,833 \cdot v_L^2 \cdot \frac{\rho_a}{g} \cdot 10^{-8}$  ( $\text{KN/mm}^2$ ), unde  $v_L$  este viteza ultrasunetelor (m/s),  $\rho_a$  este densitatea aparentă ( $\text{kg/m}^3$ ), iar  $g$  este accelerația gravitațională egală cu aproximativ  $10 \text{ m/s}^2$ . Rezultatele experimentale obținute sînt prezentate în tab.5.12.

Modulul de elasticitate dinamic al betoanelor cu aditiv superplastifiant SP4.

Tablul 5.12

Tipul de beton	$R_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$v_L$ [m/s]	$\rho_a$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_d$ [kN/mm <sup>2</sup> ]	$\pm \Delta E_d$ [%]
0	1	2	3	4	5
Bc 20-L3-Pa 35/0-16/M	20,6	3973	2286	30,057	-
Bc 20-L3-Pa 35/0-16/SP4-0,02%	23,4	4026	2331	31,607	+ 5,15
Bc 22,5-L3-Pa 35/0-16/M	29,2	4123	2316	32,795	-
Bc 22,5-L3-Pa 35/0-16/SP4-0,02%	33,4	4248	2543	34,839	+ 6,23

Modulul de elasticitate dinamic al betoanelor cu aditiv SP4 la 28 zile este cu 1,55-2,054  $\text{KN/mm}^2$  (5,15-6,23%) mai mare decât la betoanele martor. La betonul Bc 20 s-a determinat modulul de elasticitate dinamic pe probe păstrate în apă pînă la 1 an (v.teb. 5.15). Se constată că la 28 zile valorile mai ridicate sînt la probele păstrate în apă față de cele păstrate în aer și de asemenea că la probele păstrate în apă valoarea modulului de elasticitate dinamic crește continuu pînă la 1 an, fapt constatat și în /17/ prin utilizarea aditivului MIGHTY.

### 5.2.3. Durabilitatea betoanelor cu aditiv superplastifiant SP4

Cercetarile efectuate pe betoanele cu aditiv SP4 în domeniul durabilității betoanelor au cuprins următoarele 2 aspecte legate de:

- agresivitatea sulfatică ;
- rezistența la îngheț-dezghet.

#### 5.2.3.1. Agresivitatea sulfatică

Ioni sulfatici sînt, prin răspîndirea și efectele lor, cei mai importanți ioni agresivi, avînd o largă răspîndire în ape de suprafață (lacuri, mări, oceane), în sol, în ape frestice și în ape industriale. Ei provin din disocierea în soluție, a acidului sulfuric sau a sărurilor sale, agresivitatea lor depinzînd de natura cationului de care sînt legați, sub formă de substanțe mai mult sau mai puțin disociabile. Sulfatii alcalini, sulfatul de calciu, sulfatul de magneziu, sulfatul de amoniu etc. sînt dăunători betonului, în timp ce sulfatul de bariu sau plumb, insolubili în apă, sînt inofensivi pentru beton, ei neeliberînd ioni sulfatici.

În cadrul cercetării întreprinse s-a urmărit acțiunea agresivă a unei soluții sulfatice asupra unui beton martor și a unui beton cu aditiv SP4 (beton cu raport a/c redus).

Betoanele utilizate au avut următoarele compoziții : Bc-20 (B 250) martor,  $A=233,7 \text{ l/m}^3$ ;  $C(\text{Pa } 35)=384 \text{ kg/m}^3$ ,  $\text{Ag}(\text{o-16})=1751 \text{ kg/m}^3$ . Bc 20 (B 250) cu aditiv SP4-0,02% soluție din cantitatea de ciment,  $A=210 \text{ l/m}^3$ ;  $C(\text{Pa } 35)=384 \text{ kg/m}^3$ ,  $\text{Ag}(\text{o-16})=1751 \text{ kg/m}^3$ .

Ambele compoziții s-au realizat la aceeași lucrabilitate  $L_3$  (tasarea  $7 \pm 2 \text{ cm}$ ) prin reducerea cantității de apă de preparare la betonul cu aditiv SP4 cu 11,35% față de martor. S-a preparat o soluție de  $\text{MgSO}_4$  cu un conținut de  $\text{SO}_3$  de 3%, iar valoarea inițială a pH-ului soluției a fost 7,0.

Pentru a urmări performanțele pe termen lung ale betoanelor martor și cu aditiv SP4 expuse la agresivitate sulfatică, s-au turnat 6 cuburi cu latura de 14,1 cm pentru determinarea rezistenței la compresiune la 28 zile, câte 3 prisme  $10 \times 10 \times 30 \text{ cm}$  din fiecare tip de beton care au fost introduse în soluția de  $\text{MgSO}_4$  și în paralel, același număr de prisme în apă.

Prismele s-au păstrat după decofrare în aer pînă la 7 zile, iar apoi au fost introduse în soluția de  $\text{MgSO}_4$ , respectiv în apă, efectuîndu-se încercări la 7, 14, 28, 56, 140, 224 și 364 zile, referitoare la :

- aspectul vizual ;
- variația de masă ;
- variația vitezei ultrasunetelor măsurată pe direcție longitudinală ;
- variația modului de elasticitate dinamic.

#### 5.2.3.1.1. Aspectul vizual

De la 28 zile probele imersate în soluția de  $MgSO_4$ , au fost acoperite cu o depunere albă, a cărei grosime a crescut în timp, fiind mai accentuată la probele martor. După 12 luni de imersare probele de beton martor au prezentat un început de exfoliere. În fig.5.14 se prezintă aspecte ale probelor la 224 zile.

#### 5.2.3.1.2. Variația de masă

Fină la termenul de încercare de 364 zile, probele păstrate în soluția de sulfat de magneziu prezintă creșteri mai mari de masă decât cele păstrate în apă. În ambele cazuri, probele de beton martor au creșteri mai mari decât cele de beton cu aditiv SP4 (tab.5.13 și fig.5.15).

Acest fapt se consideră că se datorește reacțiilor dintre cimentul hidratat și  $MgSO_4$ , produșii reacției depozitându-se în și pe beton. Datorită fenomenului de degradare care deja a fost vizibil la 1 an de la imersarea în soluția de  $Mg SO_4$ , se apreciază că masa probelor de beton din soluție va începe să scadă.

#### 5.2.3.1.3. Variația vitezei ultrasunetelor

Determinările s-au efectuat pe epruvete prismatice de loxlox30 cm, măsurând viteza ultrasunetelor pe direcție longitudinală, utilizând betonoscopul. La probele de beton păstrate în apă, viteza ultrasunetelor crește în timp la toate termenle de încercare (mai intens la început și mai încet la sfârșit), iar la cele păstrate în soluție de  $MgSO_4$  se produce la început o creștere (care e mai mică decât la probele păstrate în apă), după care se produce o stabilizare a vitezei ultrasunetelor (tab.5.14 și fig.5.16).

Viteza ultrasunetelor este mai mare la betonul cu aditiv SP4 decât la cel martor, ceea ce era de așteptat, având în vedere că rezistența la compresiune a betonului cu aditiv este mai mare decât a betonului martor (de 23,4  $N/mm^2$  respectiv 20,6  $N/mm^2$ ), datorită reducerii raportului a/c cu 11,35%. Explicația stabilizării vitezei

Masa probelor de beton maritor sicu aditiv superplastifiant SP4 păstrate în apă și în soluție de MgSO<sub>4</sub>.

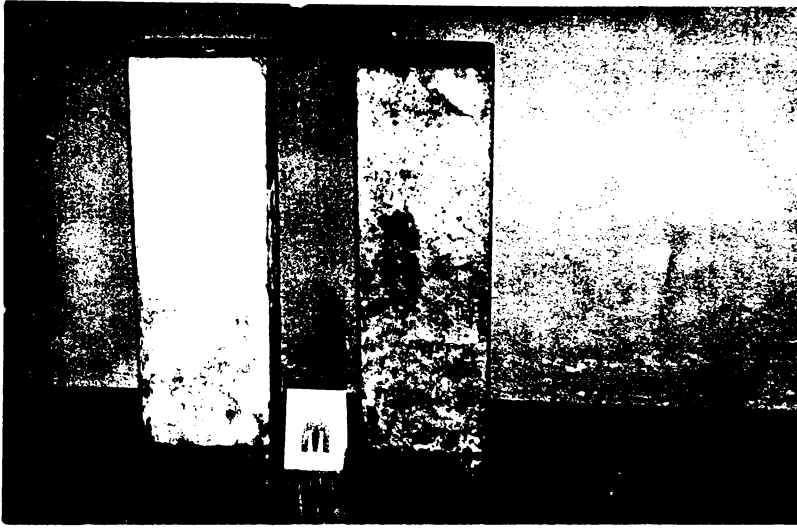
Tabelu 5.13

Tipul și clasa betonului	Condiții de păstrare.	Masa la:															
		7 zile		14 zile		21 zile		28 zile		56 zile		140 zile		224 zile		364 zile	
		m [g]	Δm [%]	m [g]	Δm [%]	m [g]	Δm [%]	m [g]	Δm [%]	m [g]	Δm [%]	m [g]	Δm [%]	m [g]	Δm [%]	m [g]	Δm [%]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Beton maritor Bc 20	apă	6780*	7040	7045	0,071	7055	0,213	7060	0,284	7070	0,426	7073	0,468	7074	0,482		
	soluție de MgSO <sub>4</sub>	6890*	7150	7160	0,139	7170	0,279	7175	0,349	7185	0,469	7195	0,629	7215	0,909		
Beton cu aditiv SP4 Bc 20	apă	7017*	7270	7275	0,068	7285	0,206	7290	0,275	7300	0,412	7304	0,467	7305	0,481		
	soluție de MgSO <sub>4</sub>	7065*	7305	7315	0,136	7325	0,273	7330	0,342	7340	0,479	7345	0,547	7355	0,684		

\* Valori determinate pe probe păstrate în aer pînă la 7 zile.







a)



b)

Fig. 5.14. a, b Influența agresivității sulfatice asupra betonului cu aditiv superplastifiant SP4 la 224 zile.

- a) Probe de beton martor păstrate în soluție de  $MgSO_4$  și în apă.
- b) Probe de beton cu aditiv SP4 păstrate în soluție de  $MgSO_4$  și în apă.

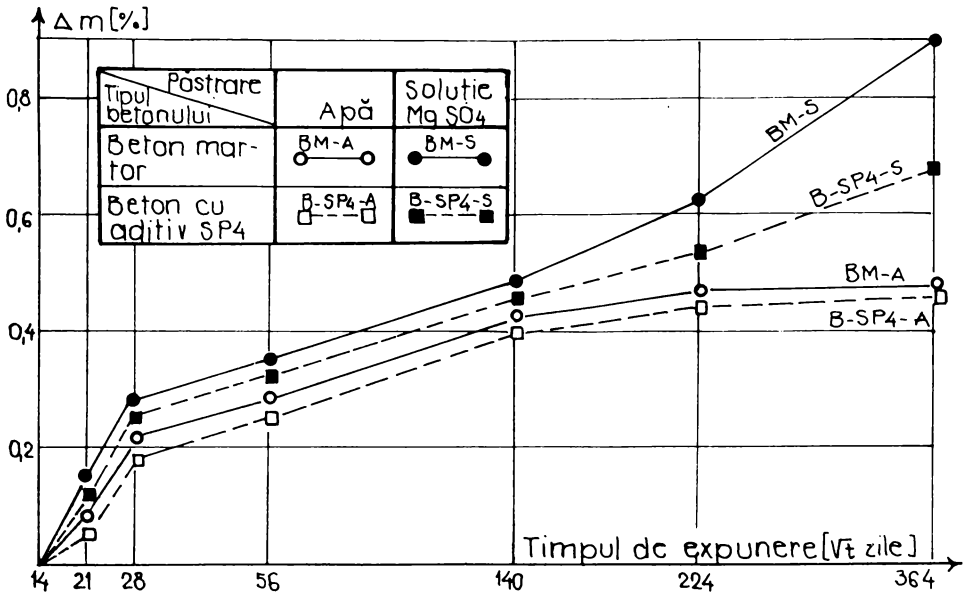


Fig.5.15. Variația de masa r probelor de beton mar-tor și cu aditiv superplastifiant SP4.

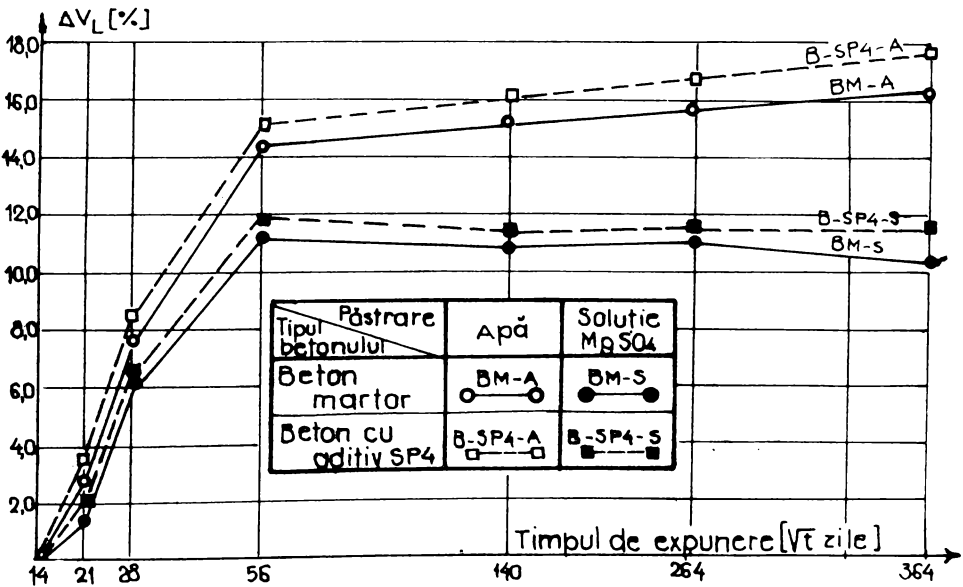


Fig.5.16. Variația vitezei ultrasunetelor la probele de beton mar-tor și cu aditiv superplastifiant SP4.

ultrasunetelor la probele de beton păstrate în soluția de sulfat este următoarea : în primul rând, se produce o creștere a rezistențelor la compresiune a betonului în timp și ca urmare viteza ultrasunetelor ar trebui să crească, iar în al doilea rând, datorită procesului de microfisurare a probelor, prin pătrunderea în probă a produsilor de reacție dintre cimentul hidratat și  $MgSO_4$ , se produce o scădere a vitezei ultrasunetelor.

În prima perioadă de timp, de circa 56 zile, predomină primul caz, iar viteza ultrasunetelor crește. Cu înaintarea în timp, se presupune și cazul al doilea și prin apariția procesului de microfisurare, viteza ultrasunetelor se stabilizează. Ea poate să și scadă în timp prin predominarea cazului al doilea când procesul de microfisurare avansează datorită coroziunii soluției sulfatice.

#### 5.2.3.1.4. Variația modului de elasticitate dinamic

Modulul de elasticitate dinamic s-a determinat cu formula

$$E_d = f(\nu_d) V_L^2 \frac{\rho_a}{g} 10^{-8} \quad [KN/mm^2] \quad (5.1)$$

unde:

- $f(\nu_d) = 0,833$  pentru probe de beton păstrate în aer ;  
           $= 0,782$  pentru probe de beton păstrate în apă ;
- $V_L$  = viteza ultrasunetelor (m/s) ;
- $\rho_a$  = densitatea aparentă a probei de beton ( $kg/m^3$ ) ;
- $g$  = accelerația gravitațională ( $m/s^2$ )  $\approx 10$ .

Calcululele s-au efectuat pe baza datelor anterioare obținute la variația de masă și a vitezei ultrasunetelor (tab.5.15 și fig. 5.17).

Deoarece această metodă determină proprietăți similare ale probelor de beton cu metoda anterioară și rezultatele obținute sînt similare. De asemenea, interpretarea prezentată anterior este relevantă și pentru rezultatele obținute la determinarea modului de elasticitate dinamic. Dintre aceste metode, se constată că aceasta este mai sensibilă decît metoda vitezei ultrasunetelor pentru schimbările suferite de probele de beton.

Analizînd rezultatele experimentale obținute, trebuie menționat că ele au fost obținute pentru un timp relativ scurt (un an), comparativ cu timpul de testare a durabilității betoanelor. Rezultatele obținute pe betonul cu aditiv superplastifiant SP4 confirmă pe cele obținute pe betonul cu aditiv superplastifiant MIGHTY de Brooks, Wainwright și Neville /17/.

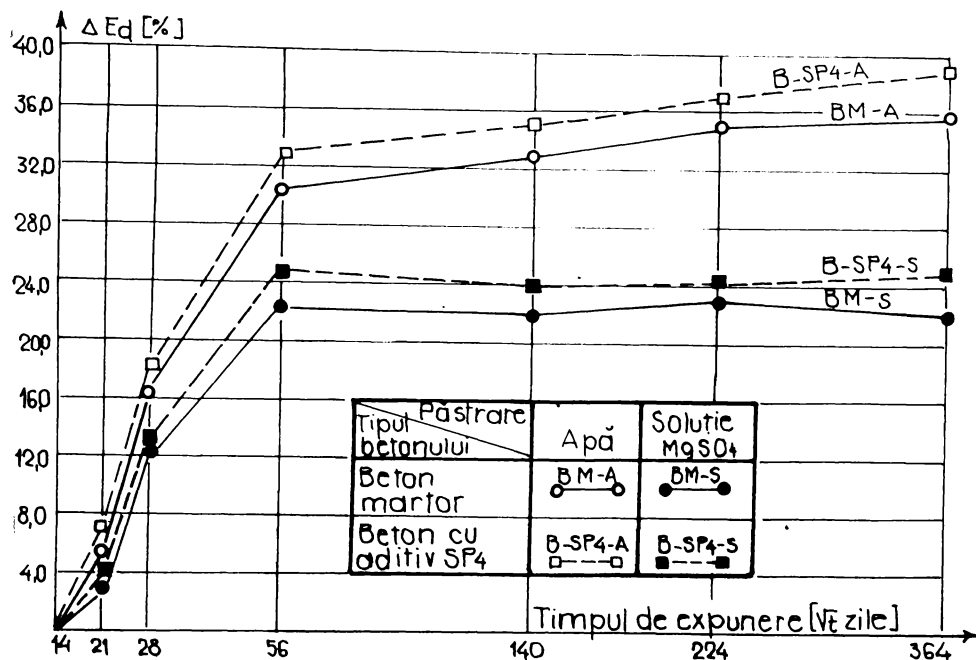


Fig.5.17. Variația modului de elasticitate dinamic la probele de beton maritor și cu aditiv superplastifiant SP4.

În concluzie, se poate constata că:

- determinările prin cele 3 metode experimentale prezentate, pentru betonul păstrat în apă și în soluție de sulfat, arată că nu există o diferență semnificativă între modul de comportare a betonului maritor și cu aditiv superplastifiant SP4 (dacă apare ea se datorează rezistențelor mecanice mai mari ale betonului cu aditiv față de betonul maritor) ;

- comparativ cu betonul păstrat în apă, cel păstrat în soluția de sulfat prezintă o creștere mai mare de masă, o stabilizare relativă în timp a vitezei ultrasunetelor și a modului de elasticitate dinamic ;

- metoda modului de elasticitate dinamic a fost găsită ca fiind cea mai sensibilă pentru urmărirea schimbării proprietăților betoanelor supuse la acțiunea agresivă a soluțiilor sulfatice.

### 5.2.3.2. Rezistența la îngheț-dezghet

Determinările în detaliu au fost prezentate în paragraful

5.2.2.5. S-a constatat că betonul cu aditiv superplastifiant SP4 s-a comportat bine la 50 cicluri îngheț-dezghet, scăderea de rezistență fiind inferioară betonului maritor și anume de 2,06% față de 5,4%, ambele valori fiind sub limita maximă admisă de 25%.

Modulul de elasticitate dinamic la probele marțor și cu aditiv superplastifiant SP4 păstrate în apă și în soluție de MgSO<sub>4</sub>.

Tabellul 5.15

Tipul și clasa betonului	Modulul de elasticitate dinamic la :															
	7 zile		14 zile		21 zile		28 zile		56 zile		140 zile		224 zile		364 zile	
	Ed	ΔEd	Ed	ΔEd	Ed	ΔEd	Ed	ΔEd	Ed	ΔEd	Ed	ΔEd	Ed	ΔEd	Ed	ΔEd
0	[kN/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[kN/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[kN/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[kN/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[kN/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[kN/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[kN/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[kN/mm <sup>2</sup> ]	[%]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
apă	19,169*	28,213	29,765	5,501	32,873	16,517	36,886	30,741	37,501	32,920	38,070	34,969	38,202	35,405		
sol. de MgSO <sub>4</sub>	19,480*	29,820	30,673	2,860	33,837	13,470	36,936	23,863	36,722	23,145	37,039	24,208	36,576	22,655		
Beton cu aditiv SP4	20,277*	29,522	31,582	6,977	34,867	18,105	39,253	32,961	39,915	35,204	40,555	37,372	41,201	39,560		
Bc 20	21,324*	31,713	33,093	4,351	36,080	13,770	39,834	25,607	39,401	24,242	39,549	24,709	39,848	25,651		

\* Valori determinate pe probe păstrate în aer pînă la 7 zile

## CAPITOLUL 6. TEHNOLOGIA BETOANELOR SI MORTARELOR CU ADITIV SUPERPLASTIFIANT SP4. APLICATII IN PRODUCTIE

Pe baza studiilor teoretice și a cercetărilor experimentale întreprinse în laborator și pe șantier, s-au elaborat Instrucțiunile de utilizare a aditivului SP4 la realizarea betoanelor și mortarelor /169/.

În prezentul capitol se tratează probleme legate de tehnologia betoanelor și mortarelor cu aditiv SP4 precum și aplicații în producție, reprezentând rezultatele fazei a 3-a din etapa II-a a programului experimental.

### 6.1. Domeniul de utilizare

Aditivul superplastifiant SP4 se utilizează în cazul betoanelor de ciment destinate realizării elementelor sau structurilor de beton simplu, beton armat și beton precomprimat, executate monolit sau prefabricate.

Utilizarea lui se recomandă în special în următoarele cazuri:

- betoane fluide pentru construcții monolite și elemente prefabricate ;
- betoane pentru elementele subțiri și cu armături dese ;
- betoane și mortare puse în operă cu pompă ;
- betoane cu rezistențe superioare.

Aditivul SP4 se poate utiliza și în cazul betoanelor hidrotehnice, rutiere, a celor supuse mediilor cu agresivitate chimică precum și în cazul elementelor prefabricate tratate termic, dar numai pe bază de prescripții tehnice speciale sau cu asistența unui institut de specialitate.

### 6.2. Condiții tehnice pentru materialele componente

#### 6.2.1. Cimentul

Stabilirea tipului de ciment se face în conformitate cu prevederile Normativului C 140-86, Anexa IV.1 /181/.

#### 6.2.2. Agregatele

Agregatele folosite trebuie să îndeplinească condițiile

tehnice prevăzute în STAS 1667-76 "Agregate naturale grele pentru mortare și betoane obișnuite cu lianți minerali".

Se mai recomandă și asigurarea următoarelor condiții :

- utilizarea agregatelor silicioase de râu ;
- respectarea strictă a cantităților procentuale din sorturile 0/1, 1/3 și 3/7 și utilizarea de agregat cu dimensiunea maximă de 31 mm ;

- agregatele să aibă granulozitatea continuă iar în cazul când se combină sorturile granulare trebuie să se obțină o curbă granulometrică ce se înscrie în limitele prescrise pentru zona respectivă (în funcție de lucrabilitate și dozajul de ciment).

### 6.2.3. Apa

Apa utilizată la prepararea și traterea ulterioară a betonului trebuie să provină din rețeaua publică sau să îndeplinească condițiile de calitate cerute de STAS 790/73 când se folosesc alte surse.

### 6.2.4. Aditivul SP4

Aditivul SP4 are un efect de superfluidificator - reducător de apă, este produs de Intreprinderea de Detergenți Timișoara, pe baza Caietului de sarcini nr.54/LD 84 și se livrează sub formă de soluție apoasă cu o concentrație de max. 50% substanță uscată.

Condițiile tehnice pe care trebuie să le îndeplinească aditivul au fost prezentate în cap.4.tab.4.12.

Aditivul se recomandă a se utiliza la prepararea betoanelor și mortarelor în proporție de 0,02-0,10% soluție din cantitatea de ciment.

Efectele se verifică în prealabil pe paste de ciment, mortare și betoane, conform următoarelor teste.

#### 6.2.4.1. Teste calitative de verificare a fluidificării pastelor de ciment

Cu cimentul folosit pentru încercare se confecționează o pastă de ciment mortar și cu aditiv SP4 după metodologia prevăzută de STAS 227/4-78, pentru aprecierea fluidificării pastei imediat după preparare și la 15 minute de la preparare.

Pentru aprecierea fluidificării pastei de ciment mortar se confecționează o pastă de ciment cu 28-30% apă după metodologia de



la pasta de consistență normală cu precizarea că, timpul total de amestecare este de 5 minute (1 minut cu viteză redusă și 4 minute cu viteză mărită). Pasta de ciment astfel preparată se introduce în 30-60 s într-un pahar de sticlă, după care se bate ușor de o placă de lemn pentru formarea unei suprafețe plane la fața superioară a pastei din pahar. Se înclină paharul la aproximativ  $45^{\circ}$  (și dacă e cazul și la  $90^{\circ}$  în poziție orizontală) și se observă consistența (răspîndirea) pastei de ciment pe o placă de sticlă. Operația se repetă și după 15 minute.

Pentru comparație, se prepară și o pastă de ciment cu aditiv SP4 în mod asemănător cu prima, cu precizarea că aditivul se introduce după primele 3 minute de amestecare, continuînd apoi amestecarea încă 2 minute.

Inițial se introduc 75-85% din apa de preparare, care se amestecă cu cimentul 3 minute (1 minut viteză redusă și 2 minute viteză mărită), apoi se introduce cantitatea de aditiv preconizată în restul de cca 15-25% din apa de preparare, amestecarea continuînd încă 2 minute cu viteză mărită (nu se scade din cantitatea de apă folosită, cantitatea de apă adusă de aditiv, deoarece la procentul de aditiv utilizat ea este nesemnificativă).

Se verifică asemănător ca mai înainte fluiditatea pastei prin răspîndirea pe o placă de sticlă, încercarea repetîndu-se și după 15 minute.

Astfel pentru pastele de ciment martor cît și cu aditiv SP4 se efectuează cîte 3 încercări, rezultatul fiind medii lor. Încercările trebuie să se efectueze în aceleași condiții pentru ambele paste.

Rezultatul încercărilor se consideră corespunzător, în cazul cînd pastele cu aditiv superplastifiant SP4, au la confecționare și după 15 minute, o fluidifiere (răspîndire) mult mai mare decît la pastele martor.

#### 6.2.4.2. Teste de verificare a caracteristicilor fizico-mecanice ale mortarelor standard cu aditiv superplastifiant SP4

Se confecționează mortarul standard pentru verificarea rezistențelor cimentului pe mortare plastice conform SPAS 5156/74, la termenul inițial 2(7) și 28 zile care se consideră martor la verificarea superplastifiantului.

La confecționarea mortarelor standard se determină consistența și densitatea aparentă.

Se confecționează apoi a doua serie de mortar standard cu aditiv superplastifiant SP4 în proporție de 0,03% soluție aditiv din cantitatea de ciment. La această serie din apa de preparare în cantitate de 225 cm<sup>3</sup> pentru un amestec se scade 25 cm<sup>3</sup> apă, (adică 25 cm<sup>3</sup> care reprezintă reducerea cantității de apă din mortar; nu se mai scade și cantitatea de apă datorită superplastifiantului pentru că ea este foarte mică). Inițial se introduce cea 85% din apa de preparare iar după primele 3 minute de amestecare se introduce restul de 15% în care s-a introdus și cantitatea de aditiv (care s-a omogenizat anterior cu apa timp de 10-15 secunde), amestecarea continuând încă 1 minut.

Si la aceste mortare se determină consistența (care trebuie să fie aproximativ egală cu cea a mortarului martor) și densitatea aparentă.

Pentru fiecare tip de mortar standard (martor și cu superplastifiant SP4) și fiecare termen de încercare se confecționează câte 3 probe de 40x40x160 mm, care se păstrează în condiții identice.

Probele se încearcă conform STAS 5156/74 la termenele de 2(7) și 28 zile iar rezultatele se consideră corespunzătoare în cazul când densitatea mortarului plastic cu aditiv SP4 în stare proaspătă se înscrie în limitele de -2,5% + 2,5% iar rezistența la compresiune a mortarului cu aditiv SP4 la termenul inițial și final de încercare reprezintă cel puțin 1,2, respectiv 1,1 comparativ cu rezistența mortarului martor.

#### 6.2.4.3. Teste de verificare a caracteristicilor fizico-mecanice ale betonului standard cu aditiv superplastifiant SP4

Pentru betonul standard martor se va considera un beton de clasă Bc 20 cu compoziția A=216,5 l/m<sup>3</sup>, C(Pa 35)=375 kg/m<sup>3</sup>, Ag(0-16)=1769 kg/m<sup>3</sup> și cu lucrabilitatea L<sub>3</sub> iar betonul standard cu aditiv SP4 (0,02% soluție din cantitatea de ciment) va avea doar apa redusă (cu cea 15%) pentru a realiza lucrabilitatea L<sub>3</sub>.

Volumul de beton necesar se va considera de cel puțin 30 l, încercările efectuându-se în condiții identice pentru ambele tipuri de betoane. Se determină tasarea și densitatea aparentă pe betoanele proaspete și densitatea aparentă și rezistența la compresiune pe be-

toanele întărite la 1 și 28 zile pe cel puțin 6 cuburi de 14,1 cm, conform STAS 1275/70.

Rezultatele încercărilor se consideră corespunzătoare în cazul când rezistența betonului standard cu aditiv superplastifiant reprezintă la primul termen de decofrare cel puțin 1,30 și cel puțin 1,15 la 28 zile comparativ cu betonul standard martor.

### 6.3. Stabilirea compoziției betonului cu aditiv superplastifiant SP4

Compoziția betonului cu aditiv SP4, se poate stabili prin 2 procedee: indirect, în concordanță cu prevederile Normativului C 140-86 /181/, și direct, conform procedeeului propus de autor.

#### a) Stabilirea compoziției betonului cu aditiv SP4 în mod indirect

Se stabilește pornind de la o compoziție de beton martor, de o anumită clasă ( $\geq Bc 10$ ) și lucrabilitate, calculul efectuându-se în concordanță cu prevederile Normativului C 140-86. La cantitățile de materiale componente stabilite ( $A'$ ,  $C'$ ,  $Ag'$ ) se adaugă aditivul SP4 în proporție de 0,02-0,10%, soluție din cantitatea de ciment, cantitatea optimă determinându-se pe bază de încercări preliminare (vezi testele de verificare din paragraful 6.1.2.4).

Stabilirea compoziției betonului cu aditiv SP4 în acest mod, se recomandă când se urmărește controlul efectului aditivului asupra proprietăților betonului proaspăt și întărit, comparativ cu betonul martor din care a provenit.

Astfel, la același raport a/c cu al betonului martor, se poate urmări îmbunătățirea sensibilă a lucrabilității betonului cu aditiv față de cea a betonului martor iar la raport a/c redus prin reducerea cantității de apă de preparare (la dozaj de ciment și lucrabilitate egale cu betonul martor) se poate urmări creșterea rezistențelor mecanice. Reducerea dozajului de ciment se poate urmări tot prin reducerea cantității de apă de preparare la lucrabilitate a betonului proaspăt egală cu a betonului martor și obținerea de rezistențe mecanice ale betonului întărit cu aditiv egale cu ale betonului martor.

#### b) Stabilirea compoziției betonului cu aditiv SP4 în mod direct

Se recomandă când se urmărește realizarea directă a betonului cu aditiv SP4, fără a mai compara, în paralel, efectele față

de betonul din care provine.

Prin utilizarea acestui mod de stabilire a compoziției betonului, se ține seama de efectul de superplastifiant și de reductător al aditivului SP4, în sensul că, pentru aceeași clasă de beton, cantitatea de apă de preparare este mai mică și deci implicit și dozajul de ciment, la aceeași lucrabilitate, comparativ cu betonul fără aditiv (mător).

Pornind de la aceste considerente (rezultate în urma experimentărilor pe betoanele cu aditiv SP4, care au fost expuse în detaliu în cap.4 și 5), se propune pentru stabilirea cantității de apă A', un procedeu nou, diferit de cel prevăzut în normativul C 140-86. În acest sens s-a pornit de la formula stabilită de C.Bob /14/ pentru betonul greu.

Față de această formulă, pe baza rezultatelor experimentale obținute, s-a modificat termenul care introduce efectul lucrabilității prin utilizarea unui coeficient  $\beta$  și de asemenea a unui coeficient  $\delta$  care ține seama de tipul de aditiv superplastifiant, stabilindu-se următoarea relație :

$$A' = \left( 170 + \frac{B}{2} + 50 \frac{N}{P} - \frac{3d_0}{T + \beta} \right) \left( 0,84 + \frac{0,93}{\sqrt{d_{\max}}} \right) \gamma \delta \quad (l/m^3) \quad (6.1)$$

în care:

- B - rezistența (marca) betonului, în MPa ( $N/mm^2$ ) ;
- N - agregatul cu  $d \leq 7$  mm pentru  $d_{\max} > 16$  mm sau agregatul cu  $d \leq 3,15$  mm pentru  $d_{\max} \leq 16$  mm, în %;
- P - agregatul cu  $d > 7$  mm pentru  $d_{\max} > 16$  mm sau agregatul cu  $d > 3,15$  mm pentru  $d_{\max} \leq 16$  mm, în %;
- $d_{\max}$  - diametrul maxim al agregatului, în mm ;
- T - tasarea conului, în cm, conform lucrabilității propuse (tab.6.1) ;
- $\gamma$  - coeficient prin care se introduce influența naturii agregatului ; cu valorile  $\gamma = 1,0$  pentru agregat de râu și  $\gamma = 1,1$  pentru agregat din piatră spartă (0-31 mm) ;
- $\beta$  - coeficient care introduce influența aditivului superplastifiant asupra tasării, cu valoarea  $\beta = 1$  (pentru betonul obișnuit  $\beta = 4$ ) ;
- $\delta$  - coeficient care ține seama de tipul aditivului superplastifiant, cu valoarea  $\delta = 1,0$  pentru aditivul SP4 ( $\delta = 0,935$  pentru aditivul VIMC 11).

Lucrabilitatea betonului proaspăt tabel 6.1

Lucrabilitate	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>3</sub> /L <sub>4</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>4</sub> /L <sub>5</sub>
Taşare [cm]	T=1-4	T=5-9	T=8-12	T=10-15	T=13-18
T <sub>med</sub> ± t <sub>n</sub>	T <sub>m</sub> =3±1	T <sub>m</sub> =7±2	T <sub>m</sub> =10±2	T <sub>m</sub> =12±2	T <sub>m</sub> =15±3

Pornind de la această formulă (6.1) în tab.6.2 este prezentată cantitatea orientativă de apă de preparare (A'), pentru câteva clase de betoane, considerându-se l/P=0,65 pentru Bc 20 și 0,60 pentru Bc 30, T=T<sub>med</sub> (pentru lucrabilitate aleasă) și agregate silicioase de râu, cu d<sub>max</sub>=16 mm.

Cantitatea orientativă de apă de preparare (A')

tabel 6.2

Clasa betonului	Apa [l/m <sup>3</sup> ] pentru lucrabilitatea:				
	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>3</sub> /L <sub>4</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>4</sub> /L <sub>5</sub>
0	1	2	3	4	5
Bc 20	150	190	201	206	210
Bc 30	156	196	207	211	216

În cantitatea de apă A' este inclusă și cantitatea de aditiv SP4 corespunzătoare proporției de 0,02-0,10% soluție din cantitatea de ciment, a cărei valoare optimă se determină pe bază de încercări preliminare (vezi testele prezentate în paragraful 6.1.2.4). Nu se recomandă corecția de apă datorată soluției de aditiv, deoarece la dozaajul redus de aditiv utilizat, această cantitate este mică (sub precizia de dozare a apei la stația de betoane).

După stabilirea cantității de apă de preparare cu relația de mai sus, se calculează raportul A/C din formula Bolomey-Skramtaev

$$\frac{A}{C} = \frac{kR_c}{B+0,5 kR_c} \quad (6.2)$$

în care: R<sub>c</sub> - marca cimentului tolosit, în MPa (l/mm<sup>2</sup>) ;

k - coeficient de aderență a agregatului cu valorile :

k = 0,50 pentru agregat de râu și k = 0,55 pentru agregat de concasaj ;

B - marca betonului care se propune a se obține, în N/mm<sup>2</sup>.  
Dozaajul preliminar de ciment (C') se stabilește cu formula :

$$C' = \frac{A'}{\frac{A}{C}} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (6.3)$$

El se compară cu dozaajul minim admis din Normativul C 140-86, adaptându-se valoarea cea mai mare, dar  $\geq 300 \text{ kg/m}^3$ .

Cantitatea de agregate în stare uscată (A<sub>G</sub>') se determină cu formula :

$$A'_{G} = \rho_{ag} \left( 1000 - \frac{C'}{\rho_c} - A' - P \right) \quad [\text{kg/m}^3] \quad (6.4)$$

în care:

$\rho_{ag}$  - densitatea aparentă a agregatelor (2,7 kg/dm<sup>3</sup> pentru roci silicioase de balastieră și granitice; 2,3...2,7 kg/dm<sup>3</sup> pentru roci calcaroase și 3,0 kg/dm<sup>3</sup> pentru roci bazaltice) ;

$\rho_c$  - densitatea cimentului, egală cu 3,0 kg/dm<sup>3</sup> ;

P - volumul de aer oclus (2...3%, respectiv 20...30 dm<sup>3</sup>/m

Zona de granulozitate aleasă în funcție de lucrabilitate și dozaajul de ciment se recomandă să se încadreze în limitele prevăzute în tab.6.3.

### Zone de granulozitate recomandate

tabelul 6.3

Lucrabilitate	Zona de granulozitate pentru dozaajul de ciment, kg/m <sup>3</sup> :		
	300 - 350	350 - 425	> 425
L <sub>2</sub>	III	IV	IV
L <sub>3</sub> -L <sub>4</sub> /L <sub>5</sub>	II	III	IV

Cantitatea de aditiv superplastifiant utilizată S(% aditiv substanță activă sau soluție din cantitatea de ciment C') se determină în conformitate cu instrucțiunile de utilizare a aditivului superplastifiant.

Definitivarea compoziției betonului se face prin încercări preliminare de laborator.

Pentru stabilirea compoziției de bază se prepară un esec informativ de beton de minimum 30 litri, luând cantitățile de materiale calculate anterior.

Cantitatea de apă se introduce în proporție de 75% și se amestecă cu componentele 60 secunde, după care se introduce restul de apă cu cantitatea de aditiv, amestecând încă minim 120 secunde. Se determină lucrabilitatea betonului proaspăt. Dacă ea se încadrează la valcarea propusă prin calcul, cantitatea de apă este bine determinată. Dacă ea este mai mică se mai adaugă apă malaxînd 60 secunde, determinînd astfel cantitatea de apă  $A_{ef}$  pentru lucrabilitatea propusă.

În cazul cînd lucrabilitatea inițială este mai mare decît cea luată în calcul se refăce amestecul, luînd o cantitate inițială de apă mai redusă, repetîndu-se procedura. Se determină apoi  $C$  și  $A_g$ . În continuare se procedează conform prevederilor Normativului C 140-86, pentru verificarea rezistențelor mecanice, propunîndu-se 3 amestecuri de beton (1 compoziție de baza și 2 suplimentare), în final adoptîndu-se compoziția care îndeplinește condițiile prevăzute de normativ.

#### 6.4. Prepararea și transportul betonului

Înainte de începerea preparării betoanelor cu aditiv superplastifiant SP4 se va face instruirea personalului ce va lucra la prepararea betoanelor, în vederea dozării corecte a compoziției betoanelor și în special a soluției de aditiv stabilite prin încercările preliminare.

Prepararea betoanelor cu aditiv în producție se va face numai pe bază de rețete stabilite de laboratorul unității de prefabricate temeinic verificate prin încercări preliminare.

Prepararea betonului se face introducînd în betoniera cu amestec forțat agregatele, cimentul și minimum 75% din cantitatea de apă. Se amestecă cea 30 secunde, după care se introduce restul de apă, împreună cu cantitatea de aditiv, și se continuă malaxarea încă minimum 60 secunde (sau minim 90 secunde în cazul preparării în betoniere cu amestec prin cădere liberă).

Dozarea cantității de aditiv se face de preferință cu dozatoare automate sau semiautomate. Este admisă și dozarea manuală folosind vase etalonate în prealabil. Precizarea de dozare a aditivului se recomandă a fi de 0,01 litri/litru.

În unitățile de prefabricate transportul betonului cu aditiv SP4 de la centrala de beton pe liniile tehnologice trebuie să se facă în minimum de timp. La transportul betonului în exteriorul

halelor de fabricare, buncărele se vor acoperi cu mijloace adecvate, pentru a se evita modificarea caracteristicilor betonului proaspăt.

Betonul preparat în stație se transportă de la centrală la locul de punere în operă cu autoagitatorele.

În condițiile curente, când durata transportului betonului proaspăt nu depășește 1h de la preparare, în funcție de lucrabilitatea propusă la descărcare și punerea în operă, se poate adăuga aditiv SP4 în acest interval de timp pentru asigurarea unei lucrabilități corespunzătoare (v.cap.5, par.5.2.1.7 și 5.2.1.8). După adăugarea aditivului se continuă malaxarea cca 60-90 secunde, el introducându-se cu cca 5-10 minute înainte de descărcarea betonului.

În cazul unor condiții climatice favorabile (timp răcoros), pe bază de verificări prelabile, durata transportului betonului poate fi prelungită pînă la 1 1/2 ore.

În cazul când durata transportului betonului este mai mare de 1 oră (respectiv 1 1/2 ore) transportul amestecului uscat ciment-agregate se va face în autobetoniere tip AB3, iar cu cca. 5-10 minute înainte de descărcare se va adăuga cantitatea corespunzătoare de apă și aditiv SP4.

#### 6.5. Punerea în operă și controlul calității betonului

La punerea în operă a betonului cu aditiv SP4 se vor respecta prevederile generale din Normativul C 140-86 precum și eventualele prevederi suplimentare menționate în proiect sau în caietul de sarcini al lucrării.

Compactarea betonului proaspăt se recomandă să se efectueze prin vibrare. Protecția betonului proaspăt și verificarea calității betoanelor preparate cu aditivul SP4 se face conform Normativului C 140-86.

#### 6.6. Măsuri de protecția muncii

La executarea lucrărilor de betoane cu aditivul SP4 se vor respecta prevederile din Normele republicane de protecția muncii.

#### 6.7. Domenii de aplicare în producție a aditivului superplastifiant SP4

Rezultatele studiilor și cercetărilor de laborator privind



realizarea betoanelor și mortarelor cu aditiv superplastifiant SP4, efectuate pe baza unor contracte de cercetare încheiate între Catedra de Construcții Civile, Industriale și Agricole a Facultății de Construcții din cadrul I.P.T.V. Timișoara și diferiți beneficiari ca TAGCM-Timișoara /183/, /195/, /196/ ICCPCD București, Filiala Timișoara /169/, TAGCind, Timișoara /179/, au permis ca începând din anul 1985 să se efectueze încercări experimentale în laboratorul Stației de betoane a Antreprizei nr.1, din cadrul TAGCM Timiș /196/.

În decursul anilor 1986-1989 s-a asigurat asistență tehnică la aplicarea în producție a betoanelor și mortarelor cu aditiv superplastifiant SP4 la unele construcții de locuințe realizate de TAGCM Timiș în municipiul Timișoara /183/. Cu acest prilej s-a procedat la instruirea personalului de specialitate al Stației de betoane al Antreprizei nr.1-TAGCM Timiș, care a asigurat realizarea betoanelor și mortarelor cu aditiv SP4. Rezultatele experimentale obținute în această perioadă, în colaborare și cu laboratorul de Cercetări Detergenți din cadrul Întreprinderii de Detergenți Timișoara, au fost prezentate la mai multe simpozioane și publicate în diferite reviste de specialitate /74/, /77/, /78/, /79/, /80/, /81/, /82/.

Utilizarea aditivului superplastifiant SP4 la realizarea betoanelor și mortarelor s-a efectuat în concordanță cu necesitățile de producție ale TAGCM-Timiș și posibilitățile de livrare a lui de către I.D.Timișoara, în următoarele domenii:

- mortare (șape) ;
- betoane de monolitizare ;
- betoane pentru fundații ;
- betoane pentru elemente prefabricate.

#### 6.7.1. Mortare (șape pentru pardoseli)

Experimentările efectuate în Laboratorul Stației de betoane a Antreprizei nr.1 -TAGCM- Timiș, au urmărit definitivarea unor compoziții de mortare (șape) cu aditiv SP4, precum și influența aditivului asupra unor proprietăți fizico-mecanice ale mortarelor (șapelor) proaspete și întărite.

Pe bază de încercări experimentale, s-a verificat compoziția, mai multor tipuri de mortare (șape) pentru utilizare în producție, compozițiile fiind date în tab.6.4.

La prepararea mortarelor (șapelor) s-au utilizat : ciment Pa 35 produs la CIA-Aleșd, nisip o/3 mm de la balastiera Săg, cenușă de termocentrală de la Ișalnița, apă de la rețeaua publică a municipiului Timișoara, și aditiv superplastifiant SP4 în proporție de 0,02-0,03% soluție din cantitatea de ciment.

Experimentările s-au efectuat pe 2 tipuri de șape: șape obișnuite, caracterizate prin o lucrabilitate  $L_3$  (tasarea  $7 \pm 2$  cm) și șape de pompă, caracterizate prin lucrabilitate de cel puțin  $L_3/L_4$  (tasarea  $10 \pm 2$  cm), la care apoi s-a adăugat aditiv SP4.

Caracteristicile principale ale compozițiilor șapelor experimentale, sînt în funcție de tipul de șapă, următoarele (tab. 6.4) :

- șape obișnuite martor M100-M1(a1) și M100-M2(c1), realizate cu ciment Pa 35, nisip o/3 mm și apă. Se livrează conform rețetei cu lucrabilitatea  $L_3$ , tasare  $7 \pm 2$  cm ;

- șape obișnuite cu aditiv SP4, M100-S1(b1), M100-S2(d1) și M100-S3(d2). Compozițiile sînt realizate cu ciment Pa 35, nisip o/3 mm și aditiv SP4.

La tipurile de șape M100-S1(b1) și M100-S2(d1) cantitatea de apă de preparare este egală cu a șapelor martor M100-M1(a1) respectiv M100-M2(c1), obținîndu-se prin adăugarea de aditiv SP4, șape fluide cu lucrabilitatea  $L_4$ , tasare  $12 \pm 2$  cm.

Se constată că șapele obișnuite cu aditiv SP4 devin șape de pompă.

La tipul de șapă M100-S3(d2) cantitatea de apă de preparare este redusă față de șapa martor M100-M2(c1), obținîndu-se șape cu aceeași lucrabilitate cu șapa martor,  $L_3$ , tasare  $7 \pm 2$  cm ; -

- șapa de pompă cu adaos de cenușă de termocentrală martor, MPCT 100 M(e1) se realizează cu ciment Pa 35, nisip o/3 mm, cenușă de termocentrală și apă. Se livrează cu lucrabilitatea  $L_3/L_4$ , tasare  $10 \pm 2$  cm ;

- șapa de pompă cu adaos de cenușă de termocentrală și aditiv SP4, MPCT 100-S(f1) se realizează ca și șapa martor MPCT 100 M(e1) la care se adăugă aditiv SP4. Se realizează conform rețetei cu lucrabilitatea  $L_5$ , tasare  $18 \pm 2$  cm.

În scopul verificării principalelor caracteristici fizico-mecanice ale șapelor realizate conform compozițiilor din tabelul 6.4 s-au efectuat încercări pe probele martor și cu aditiv SP4. Pe șapele proaspete s-au determinat lucrabilitatea (prin metoda tasării) variația tasării în timp, densitatea aparentă și rezistența la compresiune la 7 și 28 zile pe cuburi cu latura de 10 cm.

Compoziții de mortare (șape) cu aditiv superplastifiant SP4 utilizate în producție

tabelul 6.4

Tipul de mortar (șapă) Compoziția mortarului (șapei)	Șape obișnuite						Șape de pompă cu adăos de cenușă de termocentrală	
	maritor		cu aditiv SP4				cu aditiv SP4	
	M100 - M1 (a1)	M100 - M2 (c1)	M100 - S1 (b1)	M100 - S2 (d1)	M100 - S3 (d2)	MFCT100 - M (e1)	MFCT100 - S (f1)	
0	1	2	3	4	5	6	7	
Apă [l/m³]	300	300	300	300	265	341	341	
Ciment P43S[kg/m³]	370	400	370	400	400	400	400	
Nisip - 0/3 [kg/m³]	1550	1550	1550	1550	1550	1125	1125	
Cenușă de termocentrală [kg/m³]	-	-	-	-	-	330	330	
Aditiv SP4 - soluție [%]	-	-	0,020	0,030	0,030	-	0,030	
Lucrabilitate	L3	L3	L4	L4	L3	L3/L4	L5	
Tasare [cm]	7 ± 2	7 ± 2	12 ± 2	12 ± 2	7 ± 2	10 ± 2	18 ± 2	

Rezultatele experimentale sînt prezentate în tab.6.5 și 6.6 și fig.6.1, 6.2 și 6.3.

Caracteristici fizico-mecanice ale mortarelor (șapelor) experimentate. tabelul 6.5

Tipul de șapă	Caracteristici fizico-mecanice	șape proaspete			șape întărite					
		L	T [cm]	S <sub>bp</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	S <sub>b</sub> [kg/m <sup>3</sup> la zile:			R <sub>b</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] la zile:		
					3	7	28	3	7	28
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M100 - M1	a1.1	L3	7,0	2047	2020	2000	1920	2,2	4,2	6,8
M100 - S1	b1.1	L4	12,0	1975	2000	1980	1870	2,3	4,4	6,7
M100 - M2	c1.1	L3	6,0	2065	-	-	1925	-	-	11,1
M100 - S2	d1.1	L4	12,0	1950	-	-	1800	-	-	10,7
	d1.2	L4	10,0	1975	-	-	1850	-	-	11,8
	d1.3	L4	10,0	1990	-	-	1890	-	-	11,7
M100 - S3	d2.1	L3	8,0	2060	-	-	1930	-	-	13,2
	d2.2	L3	8,0	2040	-	-	1920	-	-	13,2
	d2.3	L3	8,5	2045	-	-	1925	-	-	12,1
MPCT100 - M	e1.1	L3/L4	10,0	2075	2040	2020	2000	2,1	5,2	12,3
MPCT100 - S	f.1.1	L5	18,0	1990	1950	1930	1910	2,0	5,1	12,1

Variația tasării în timp a mortarelor (șapelor) de pompă cu aditiv superplastifiant SP4.

tabelul 6.6

Timpul de la prepararea șapei [min]	0	15	30	45	60	75	90
Lucrabilitatea	L5	L5	L4/L5	L4/L5	L4	L3	L3
Tasarea [cm]	18,0	17,0	16,0	15,0	12,0	9,0	6,0

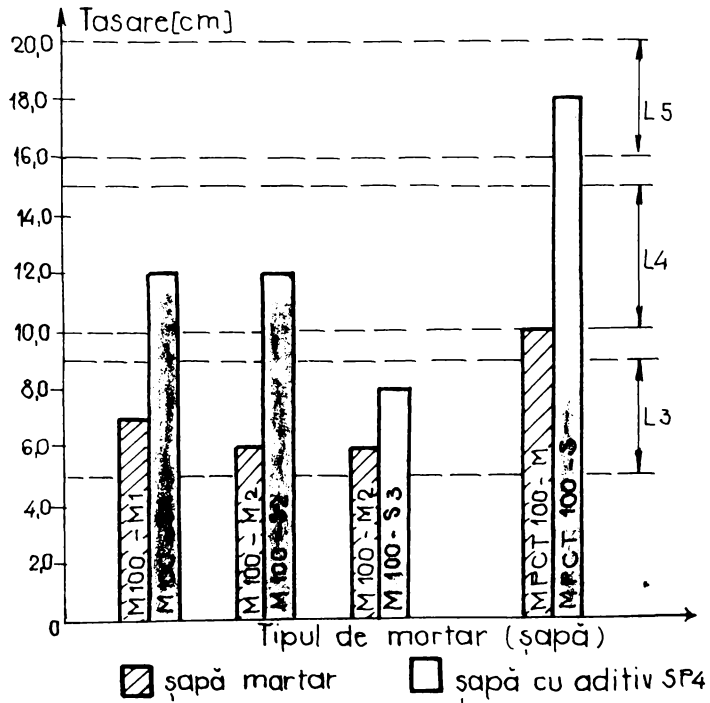


Fig.6.1. Variație tasării mortarelor (șapelor) cu aditiv superplastifiant SP4.

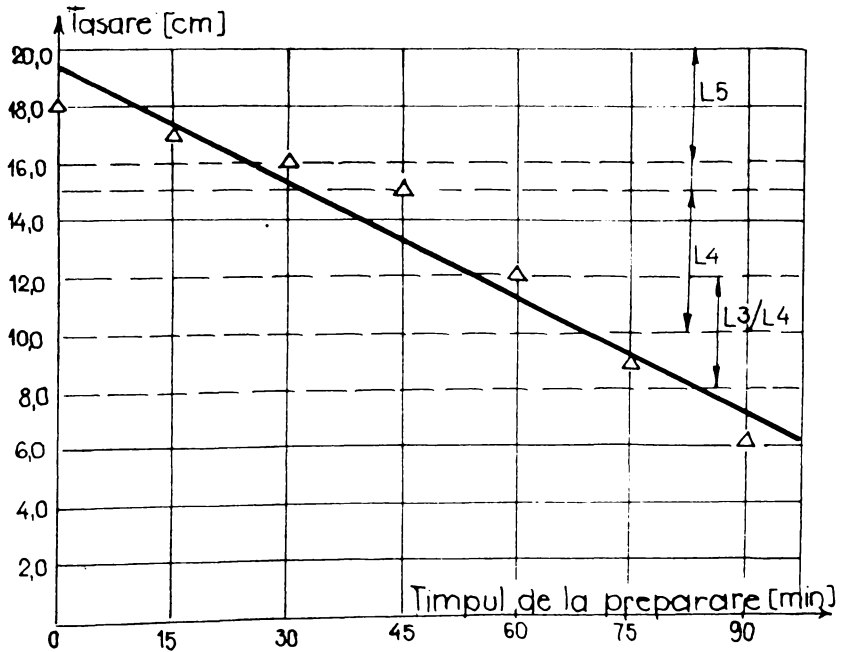


Fig.6.2. Variația în timp a tasării șapei de pompă cu aditiv superplastifiant SP4.

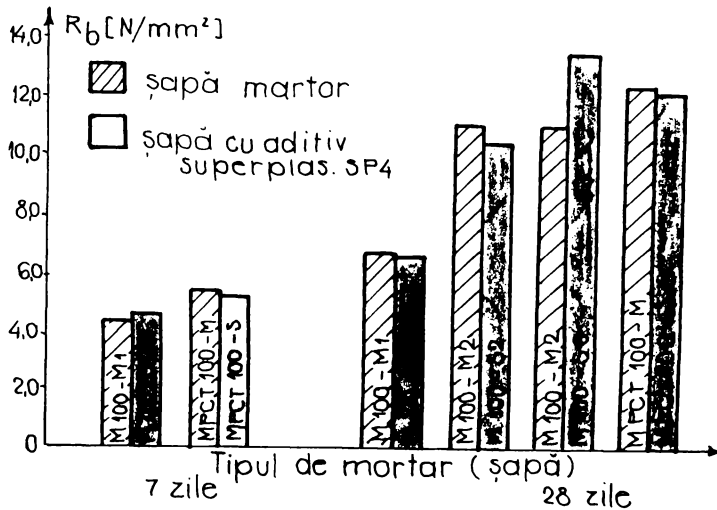


Fig.6.3. Variația rezistenței la compresiune a mortarelor (șapelor) cu aditiv superplastifiant SP4.

Se constată următoarele :

- aditivul se poate utiliza în condiții bune la realizarea șapelor obișnuite .

La aceeași lucrabilitate  $L_3$ , țesare  $7 \pm 2$  cm (M100-S<sub>3</sub>) cu șapă obișnuită marmor (M100-M2), prin reducerea cantității de apă de preparare cu cea 12%, se obțin sporuri de rezistență la 28 de zile de cea 15%.

La aceeași cantitate de apă de preparare cu șapele marmor, se obțin șape fluide (M100-S<sub>2</sub>), cu lucrabilitate  $L_4$ , țesare  $12 \pm 2$  cm șapele obișnuite devenind șape de pompă. Rezistențele mecanice ale șapelor întărite sînt apropiate de cele ale șapelor marmor.

- aditivul SP4 se poate utiliza în condiții bune și la realizarea șapelor de pompă cu ados de cenușă de termocentrală (MPCT 100-S), ele avînd lucrabilitatea mult sporită ( $L_5$ , țesare  $18 \pm 2$ ) față de șapă marmor (MPCT 100-M) care are lucrabilitatea  $L_3/L_4$ , țesare  $10 \pm 2$  cm. Rezistențele mecanice ale șapelor întărite sînt apropiate de cele ale șapelor marmor;

- efectul aditivului SP4 se menține cea 45-60 de minute de la preparare, cînd țesarea șapelor cu aditiv ajunge la valoarea șapelor marmor ( $L_3/L_4$ , țesare  $10 \pm 2$  cm), ceea ce permite transportul cu autogitatorul la locul de punere în operă, ceea ce timp pe dis-

lungă de transport nu depășește 30-45 de minute de la preparare.

Mortarele (șapele) de pompă (fluide) realizate cu aditiv superplastifiant SP4 s-au utilizat la mai multe blocuri de locuințe din Municipiul Timișoara, bloc 105, 106, 113, 114, zona Vălenii de Munte, bloc 36, zona Steaua. În fig.6.4.a,b, se prezintă aspecte de la punerea în operă a șapelor fluide.



a)



b)

Fig.6.4.a,b. Aspecte de la punerea în operă a șapelor de pompă cu autopompa WIBAU-60, la bloc 36 zona Steaua, Timișoara.

- a) autopompa WIBAU-60 în stare de funcționare;
- b) punerea în operă a șapei de pompă cu aditiv superplastifiant SP4.

6.7.2. Betoane de monolitizare

Încercările efectuate în acest domeniu au avut drept scop verificarea unor compoziții de betoane de monolitizare pentru utilizare în producție, precum și influența aditivului SP4 asupra unor proprietăți fizico-mecanice ale betoanelor proaspete și întărite.

Pe bază de încercări experimentale s-au verificat compozițiile mai multor betoane de clasă Bc 22,5 (B 300) pentru utilizare în producție la monolitizarea îmbinărilor panourilor prefabricate la construcțiile realizate pe șantiere (tab.6.7).

Compoziții de betoane de monolitizare cu aditiv superplastifiant SP4 utilizate în producție.

tabelul 6.7

Compoziția betonului de monolitizare	Tipul de beton	Beton de monolitizare martor		Beton de monolitizare cu aditiv SP4	
		Bc 22,5-M1	Bc 22,5-M2	Bc 22,5-S1	Bc 22,5-S2
		(a1)	(a2)	(b1)	(b2)
0		1	2	3	4
Apa	[ l/m <sup>3</sup> ]	235	225	235	225
Ciment Pa35	[ kg/m <sup>3</sup> ]	476	450	476	450
Nisip	sort. I-0/3	985	737	985	737
	sort. II-3/7	600	251	600	251
	sort. III-7/16	-	687	-	687
Aditiv SP4 sol.	[ % ]	-	-	0,020	0,020
Lucrabilitate		L3	L2	L5	L3
Tasare	[ cm ]	7±2	3±1	18±2	7±2

La prepararea betoanelor s-au utilizat următoarele materiale: ciment Pa 35 , agregate silicioase în 2 și 3 sorturi (0/3; 3/7 și 7/16), apă de la rețeaua publică a municipiului Timișoara și aditiv superplastifiant SP4 în proporție 0,02-0,03% soluție din cantitatea de ciment.

Pentru verificarea compozițiilor s-au realizat betoane martor și cu aditiv SP4. Principalele caracteristici ale compozițiilor betoanelor prezentate în tab.6.7 , sînt:



- Beton de monolitizare martor, Bc 22,5 (B 300) - M1 ( $a_1$ ) și Bc 22,5 (B 300) - M2 ( $a_2$ ).

Lucrabilitatea la livrare a primei compoziții este  $L_3$ , tasare  $7 \pm 2$  cm, iar a celei de-a doua  $L_2$ , tasare  $3 \pm 1$  cm.

- Beton de monolitizare cu aditiv SF4, Bc 22,5 (B 300) - S<sub>1</sub> ( $b_1$ ), și Bc 22,5 (B 300) - S<sub>2</sub> ( $b_2$ ).

Prima compoziție se livrează cu lucrabilitatea  $L_5$ , tasare  $18 \pm 2$  cm, iar a doua cu lucrabilitatea  $L_3$ , tasare  $7 \pm 2$  cm.

În scopul verificării principalelor caracteristici fizico-mecanice ale betoanelor de monolitizare realizate, s-au efectuat încercări asupra amestecurilor de beton martor și cu aditiv SF4.

Pe betoanele proaspete s-au determinat lucrabilitatea (tasarea), variația tasării în timp, densitatea aparentă iar pe cele întărite densitatea aparentă și rezistența la compresiune la 7 și 28 zile pe cuburi cu latura de 10 cm.

Rezultatele experimentale obținute sînt prezentate în tab. 6.8 și 6.9 și fig. 6.5, 6.6 și 6.7.

### Caracteristici fizico-mecanice ale betoanelor de monolitizare experimentate.

tabelul 6.8

Tipul de beton de monolitizare	Betoane proaspete				Betoane întărite			
	L	T	$S_{bp}$	$S_b$ [kg/m <sup>3</sup> ] la zile:		$R_b$ [N/mm <sup>2</sup> ] la zile:		
				7	28	7	28	
	[cm]	[cm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	5	6	7	8	
Bc 22,5 - M1	a1.1	L3	9,0	2376	2315	2290	16,7	31,0
Bc 22,5 - S1	b1.1	L5	17,0	2360	2320	2270	19,1	32,9
Bc 22,5 - M1	a1.2	L3	6,0	2310	2295	2220	15,7	24,9
Bc 22,5 - S1	b1.2	L5	18,0	2340	2310	2265	15,9	26,9
Bc 22,5 - M2	a2.1	L2	3,0	2320	-	2250	-	28,5
Bc 22,5 - S2	b2.2	L3	8,0	2300	-	2250	-	30,7

Se constată următoarele :

- tasarea betonului proaspăt crește de la 3 cm la betonul martor (Bc 22,5-M2) la 8 cm la betonul cu aditiv SF4 (Bc 22,5-S<sub>2</sub>),

respectiv de la 6-9 cm la betonul martor (Bc 22,5-M1) la 17-18 cm la betonul cu aditiv SP4 (Bc 22,5-S1) ;

### Variatia tasării in timp a betoanelor de monolitizare cu aditiv superplastifiant SP4

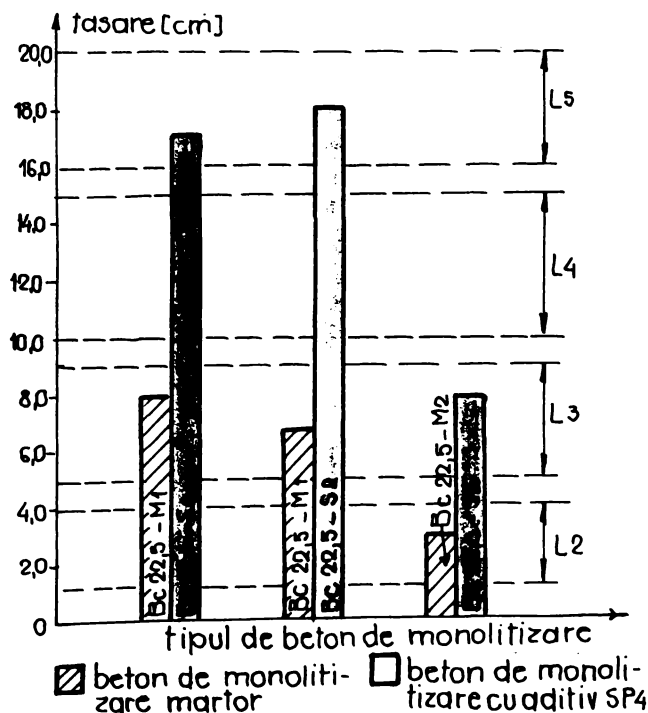
tabelul 6.9

Timpul de la prepararea betonului [min]	0	15	30	45	60	75	90
Lucrabilitatea	L5	L5	L4/L5	L4	L3/L4	L3	L3
Tasarea [cm]	18,0	17,0	16,0	12,0	10,0	8,0	5,0

- efectul aditivului SP4 se menține cca 60-80 minute de la preparare , când tasarea betonului cu aditiv revine la valoarea martorului ( $L_3$ , tasare  $7 \pm 2$  cm) ;

- densitățile betoanelor martor sînt apropiate de cele ale betoanelor cu aditiv, stit în stare proaspătă cît și întărită ;

- rezistențele la compresiune la 7 și 28 zile ale betoanelor cu aditiv sînt apropiate (ușor superioare) față de cele ale betoanelor martor.



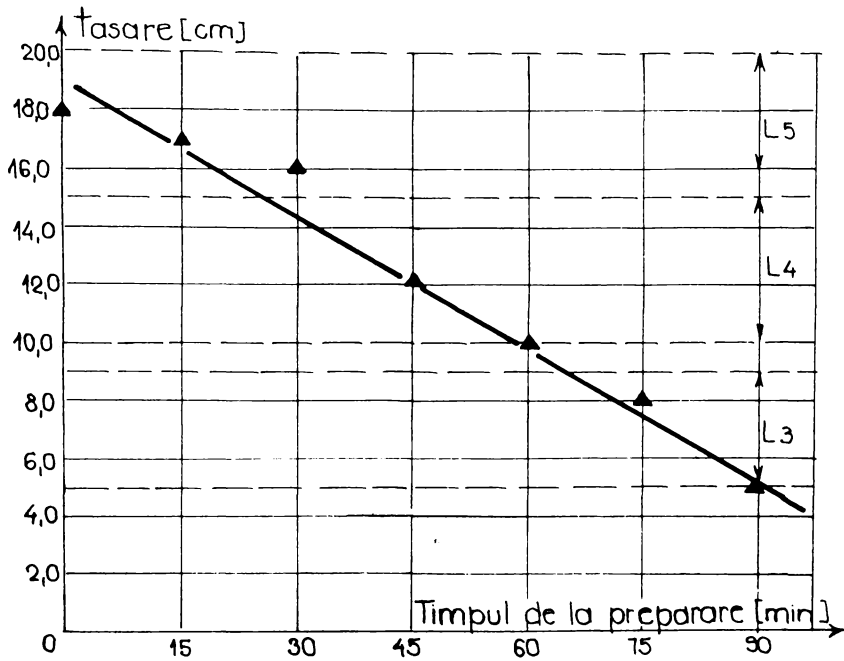


Fig.6.6. Variație în timp a tasării betonului de monolitizare cu aditiv superplastifiant SP4, Bc 22,5-S<sub>1</sub>.

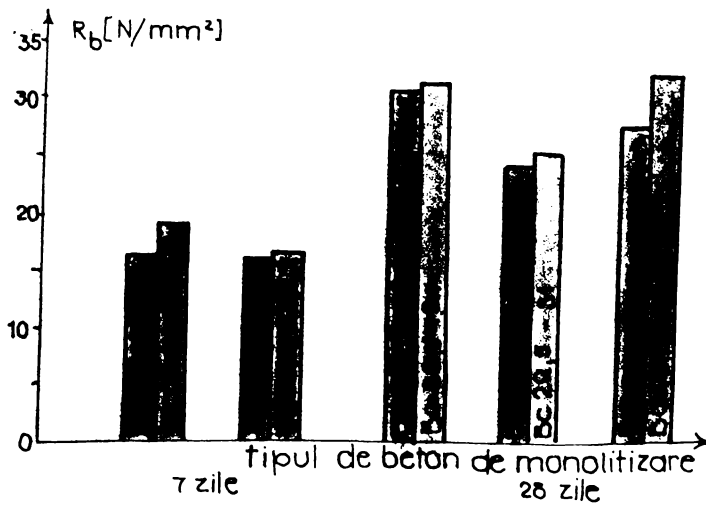


Fig.6.7. Variație rezistenței la compresiune a betoanelor de monolitizare cu aditiv superplastifiant SP4.

Pe baza rezultatelor obținute se poate afirma că:

- aditivul superplastifiant SP4 se poate utiliza în condiții bune la realizarea betoanelor de monolitizare, în conformitate cu compozițiile prezentate în tab.6.7 ;

- betonul proaspăt cu aditiv are o tasare cu 100-200% mai mare decât la betonul martor, ceea ce permite o turnare mai ușoară în cofraje și o compactare mai bună a betonului în îmbinări ;

- lucrabilitatea ridicată a betoanelor cu aditiv superplastifiant SP4 permite transportul cu autoagitatoarele în condiții bune, dacă timpul pe distanța de transport nu depășește 45-60 minute ;

- rezistențele mecanice ale betoanelor de monolitizare fluide cu aditiv SP4 sînt apropiate de cele ale betoanelor martor, în condițiile însă ale unei lucrabilități sporite.

Betoanele de monolitizare experimentate au fost utilizate la monolitizarea îmbinărilor la mai multe blocuri de locuințe din municipiul Timișoara ca: blocurile 105, 106, 113, 114 zona Vălenii de Munte, blocurile 17, 19 zona Plăvăț II, Blocul 1A Calea Girocului, bloc 40 zona Steaus.

În fig.6.8.a,b, se prezintă aspecte de la pregătirea rosturilor în vederea turnării betonului de monolitizare cu aditiv SP4.

### 6.7.3. Betoane pentru fundații

Compozițiile unor betoane de clasă Bc 10 pentru utilizare la realizarea fundațiilor sînt prezentate în tab.6.10. La prepararea betoanelor s-au utilizat următoarele materiale : ciment Pe 35, agregate silicioase în 4 sorturi (0/3; 3/7; 7/16 și 16/31), cenușă de termocentrală, apă de la rețeaua publică a municipiului Timișoara, precum și aditiv superplastifiant SP4 în proporție de 0,04-0,06% soluție din cantitatea de ciment.

Compozițiile prezentate în tab.6.10 sînt :

- Beton pentru fundații martor, Bc 10 /P4-M. Compoziția se realizează cu lucrabilitate  $L_3$ , tasarea  $7 \pm 2$  cm avînd în componență și cenușă de termocentrală.

- Beton pentru fundații cu aditiv superplastifiant SP4, Bc 10 (B 150)/P4-S. Prin utilizarea de aditiv SP4, compoziția se realizează cu lucrabilitate  $L_4$ , tasarea  $12 \pm 2$  cm.

În fig.6.9.a,b. sînt prezentate aspecte de la turnarea unor betoane cu aditiv SP4 pentru fundații, la bloc 19 B, zona Steaus, Timișoara.



Fig.6.8.a,b. Aspecte de la pregătirea rosturilor îmbinărilor la panourile mari în vederea turnării betoanelor de monolitizare cu aditiv superplastifiant SP4, la bloc 4o zona Steaus, Timișoara.

#### 6.7.4. Betoane pentru elemente prefabricate

În tab.6.11. se prezintă compoziția unor betoane pentru elevații prefabricate Bc 20(B 250)-M și Bc 20(B 250)-S.

La prepararea betoanelor s-au utilizat următoarele materiale : ciment Pa 35, agregate în 3 rosturi (0/3, 3/7, și 7/16), apă de la rețeaua publică a municipiului Timișoara și aditiv superplastifiant SP4 în proporție de 0,03-0,04% soluție din cantitatea de ciment.

Compoziții de betoane cu aditiv superplastifiant SP4 pentru fundații, utilizate în producție.

tabelul 6.10

Tipul de beton Compoziția betonului pentru fundații		Beton pentru fundații martor	Beton pentru fundații cu aditiv SP4
		Bc 10/P4-M	Bc 10/P4-S
Apa	[ $\ell/m^3$ ]	180	180
Ciment Pa 35	[ $kg/m^3$ ]	300	300
Agregat [ $kg/m^3$ ]	sort I - 0/3	507	507
	sort II - 3/7	378	378
	sort III - 7/16	378	378
	sort IV - 16/31	567	567
Genușă de termocentrală	[ $kg/m^3$ ]	60	60
Aditiv SP4, sol	[%]	—	0,04
Lucrabilitate		L3	L4
Tasare	[cm]	$7 \pm 2$	$12 \pm 2$

S-au realizat următoarele compoziții de beton :

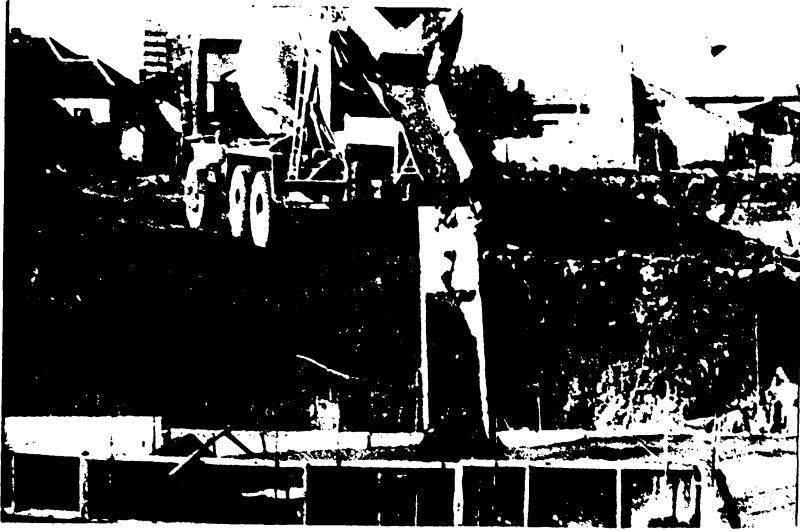
- Beton martor pentru elevații prefabricate, Bc 20(B 250)-M. Compoziția a avut lucrabilitate L<sub>3</sub>, tasare 5-9 cm.

- Beton cu aditiv superplastifiant SP4, pentru elevații prefabricate, Bc 20 (B 250)-S. Prin utilizarea aditivului SP4 se obține o lucrabilitate L<sub>5</sub>, tasare  $18 \pm 2$  cm.

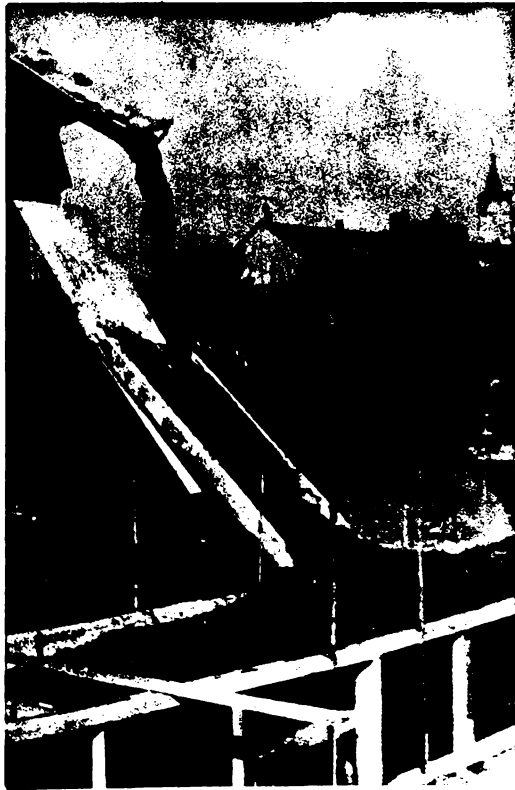
În fig.6.10, a,b se prezintă aspecte la turnarea unui beton cu aditiv superplastifiant SP4, pentru elevații prefabricate pe poligonul anteprezei nr.1 FAGOM-Timișoara.

#### 6.8. Concluzii privind utilizarea aditivului superplastifiant SP4 în tehnologia betoanelor și mortarelor

Pe baza rezultatelor experimentale obținute în laborator și prezentate pe larg pe parcursul tezei de doctorat, precum și



c)



b)

Fig.6.9. a,b. Aspecte de la turnarea betonului pentru fundații cu aditiv superplastifiant S14, la bloc 19a zona Steaua, Pimi,Caru.

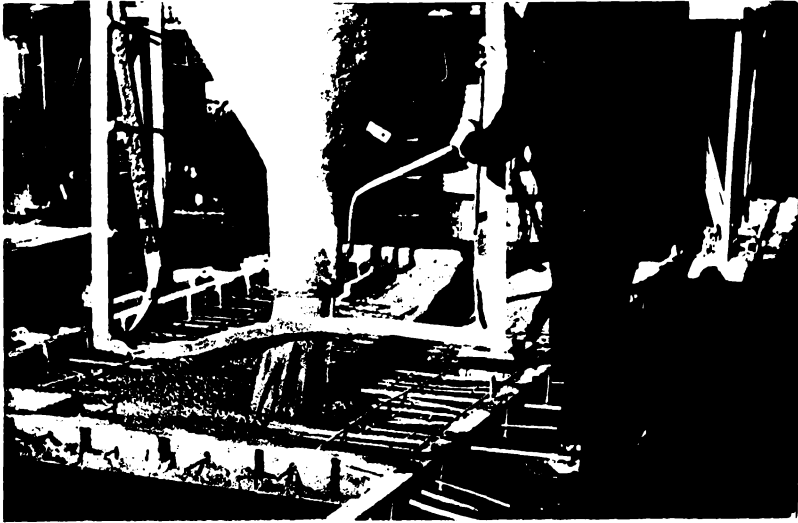
Compozitii de betoane cu aditiv superplastifiant SP4 pentru elemente prefabricate utilizate în producție

tabelul 6.11

Tipul de beton Compoziția betonului pentru prefabricate		Beton pentru elevații prefabricate măritor	Beton pentru elevații prefabricate cu aditiv SP4
		Bc 20-M	Bc 20-S
Apa	[l/m <sup>3</sup> ]	211	211
Ciment Po 35	[kg/m <sup>3</sup> ]	405	405
Agregat [kg/m <sup>3</sup> ]	sort I-0/3	575	575
	sort II-3/7	610	610
	sort III-7/16	557	557
Aditiv SP4, sol	[%]	-	0,03
Lucrabilitate		L3	L5
Tășare	[cm]	7 ± 2	18 ± 2

pe baza rezultatelor experimentale bune obținute la Stația de betoane a Antreprizei nr.1 TAGCM- Timiș cu privire la utilizarea aditivului SP4 în tehnologia betoanelor și mortarelor s-a trecut la utilizarea lui în producție. Exemple de blocuri de locuințe realizate în Timișoara, la care s-au utilizat parțial șape (mortare) fluide pentru pardoseli, betoane de monolitizare, betoane pentru fundații și betoane pentru elemente prefabricate cu aditiv SP4 sînt: blocurile nr.105, 106, 113, 114 zona Vpleni de Munte, blocurile 17, 19 zona Plăvăț II, bloc B la Calea Girocului, blocurile 19B, 36, 40 zona Steșus (fig.6.11.a,b).





b)

Fig.6.10.a,b. Aspecte de la turnarea unui element de elevație prefabricată T42-16 proiect 1340 IPROTIM, pe standul Antreprizei nr.1 TAGCM Timiș, utilizând beton fluid cu aditiv superplastifiant SP4.



a)



b)

Fig. 6.11.10. Blocuri de locuințe din zona Flăvii II,  
 realizate, la care s-au utilizat gaze și be-  
 tonul realizat cu activ superplastifiant  
 S44.

## CAPITOLUL 7. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUTII SI VALORIFICAREA CERCEȚĂRIILOR

Betonul, sub forma betonului simplu, armat sau precomprimat, constituie și se va constitui pentru mult timp, cu puține excepții, principalul material de construcție. Menținerea competitivității betonului, ca principal material de construcție, a condus la 2 căi de dezvoltare : îmbunătățirea performanțelor betonului greu obișnuit și creșterea de noi tipuri de betoane cu proprietăți fizico-mecanice sau chimice specifice.

Betoanele cu aditivi superplastifianți sînt considerate în cadrul tezei de doctorat, că alături de betoanele ușoare, betoanele cu armare dispersă și betoanele cu polimeri, fac parte din a doua cale de dezvoltare a betonului în lupta pentru menținerea competitivității cu alte materiale de construcție.

Contribuțiile aduse de autor prin teza de doctorat, în această direcție, se referă la sintetizarea și sistematizarea aspectelor teoretice și experimentale din literatura de specialitate din țară și străinătate cu privire la aditivii clasici, superplastifianți și proprietățile betoanelor, mortarelor și pastelor de ciment cu aditivi superplastifianți (tratate în detaliu în cap.1,2 și 3), precum și la studiile teoretice și cercetările experimentale proprii privind identificarea unui nou aditiv superplastifiant. și utilizarea lui în tehnologia betoanelor (tratate în detaliu în cap,4, 5 și 6).

În continuare se prezintă în sinteză, contribuțiile autorului din fiecare capitol al tezei de doctorat, concluziile finale și principalele contribuții originale ale tezei de doctorat și valorificarea rezultatelor studiilor teoretice și cercetărilor experimentale efectuate.

### 7.1. Sinteza studiilor teoretice și cercetărilor experimentale din literatura de specialitate.

Pe baza studierii unui mare număr de lucrări de specialitate din țară (120 titluri) și străinătate (76 titluri), s-a efec-

tust de către autor o sinteză și o sistematizare a materialului analizat iar rezultatele au fost prezentate în detaliu în cap.1.2 și 3.

Dintre contribuțiile aduse de autor în aceste capitole prezentăm :

a) efectuarea unei sinteze asupra principalelor avantaje și dezavantaje ale betoanelor clasice și prezentarea tendințelor actuale de dezvoltare ale betoanelor ;

b) prezentarea stadiului actual al cercetărilor în domeniul betoanelor cu aditivi superplastifianți pe plan mondial și în țară precum și a principalelor direcții de cercetare cu exemplificări din literatura de specialitate ;

c) sistematizarea datelor despre aditivii clasici și prezentarea de clasificări a lor pe plan internațional: clasificarea RILEM /184/, clasificarea americană /109/, /185/, clasificarea franceză /103/ clasificarea germană /104/, /109/, precum și clasificări pe plan național: clasificarea propusă de V.Moldovan /109/, C.Bob, M.Roșu, I.Buchmann, /10/, I. Ionescu, T.Ipsos /63/, I.Teoreanu, V.Moldovan, L.Nicolaiescu /155/, precum și după Normativul C 140-79 /180/ și C 140-86 /181/ ;

d) sistematizarea aditivilor clasici utilizați în țară, cu prezentarea producătorilor, a domeniului de utilizare și a procentelor folosite la prepararea betoanelor ;

e) prezentarea stadiului actual al cercetărilor în domeniul aditivilor moderni pentru betoane, aditivii superplastifianți ; clasificări ale acestora după substanțele chimice din care sînt produși și după efectele la utilizare ;

f) prezentarea unei sinteze asupra a 41 de aditivi superplastifianți din literatura de specialitate, cu prezentarea denumirii lor comerciale sau convenționale, a grupei din care fac parte, a procentului de aditiv recomandat la utilizare precum și țările unde se folosesc ;

g) analiza mecanismului de acțiune a aditivilor superplastifianți în funcție de grupa din care fac parte ;

h) prezentarea principalelor caracteristici tehnice, a producătorilor, domeniul de utilizare și procentele uzuale pentru aditivii superplastifianți produși și utilizați în țară: VIMC 11, VIMC 22, FLUBET ;

i) sistematizarea cercetărilor din țară și străinătate cu privire la betoanele, mortarele și pastele de ciment cu aditivi superplastifianți ;

f) studiul cercetărilor în domeniul pastelor de ciment cu aditivi superplastifianți: consistența, timpul de priză, căldura de hidratare, constanța de volum ;

k) studiul cercetărilor în domeniul mortarelor cu aditivi superplastifianți : consistența (lucrabilitatea), timpul de priză, densitatea aparentă, volumul de aer occlus, rezistența la compresiune, rezistența la tracțiune ;

l) studiul cercetărilor în domeniul betoanelor cu aditivi superplastifianți: lucrabilitatea, factori care influențează lucrabilitatea, densitatea aparentă, tendința de segregare, timpul de priză, rezistențele mecanice, modul de elasticitate;

m) studiul durabilității betoanelor cu aditivi superplastifianți.

## 7.2. Sinteza studiilor teoretice și a cercetărilor experimentale proprii

Pe baza studiilor teoretice proprii și a cercetărilor experimentale efectuate în conformitate cu Programul experimental general, în cap.4,5 și 6 s-au prezentat în detaliu rezultatele obținute. În continuare se prezintă principalele contribuții teoretice și experimentale ale autorului :

a) prezentarea unor considerații teoretice, cu privire la betoanele cu aditivi superplastifianți: definiție, conceptul de aditiv superplastifiant , direcții principale de utilizare a aditivilor în tehnologia betonului ;

b) propunere de clasificare a betoanelor cu aditivi superplastifianți în 2 feluri și anume: analog cu clasificarea betoanelor clasice prin adăugarea cuvintelor "cu aditiv superplastifiant" precum și prin compararea efectelor obținute față de un beton obișnuit martor, în funcție de lucrabilitate, rezistență mecanică, raport s/c și scop propus; prezentarea fiecărui tip de beton cu caracteristicile de bază și modul de obținere ;

c) prezentarea principalelor caracteristici fizico-mecanice ale betoanelor cu aditivi superplastifianți, a direcțiilor de utilizare practică în producție precum și avantajele tehnico-economice mai importante ce se obțin prin utilizarea lor în tehnologia betoanelor: îmbunătățirea lucrabilității, creșterea rezistențelor mecanice, reducerea dozaajului de ciment, posibilitatea utilizării

cimenturilor de calitate inferioară, reducerea duratei de tratament termic, reducerea timpului de utilizare a cofrajelor etc.

d) realizarea de cercetări experimentale privind identificarea unui nou aditiv superplastifiant pentru betoane și mortare prin testarea preliminară a 22 de aditivi și urmărirea efectelor lor asupra unor proprietăți ale betonului proaspăt: tasare, densitate aparentă, volum de aer oclus ;

e) selecționarea aditivilor optimi, în număr de 2, prin utilizarea a 2 criterii de selecție, unul calitativ și altul cantitativ. Utilizarea în cadrul criteriului de selecție cantitativ a 2 coeficienți originali ( $\xi$  și  $\chi$ ) și în urma cărora rezultă 2 direcții posibile de cercetare ; (1) posibilitatea obținerii unor noi tipuri de aditivi superplastifianți pentru betoane și mortare, direcție în care se înscriu și cercetările prezentei teze de doctorat și (2) posibilitatea obținerii unor noi tipuri de aditivi pentru betoane ușoare spumate, direcție urmată de alte colective de cercetare din catedră /45/ ;

f) Testarea finală a aditivilor selecționați și definitivarea compoziției aditivului SP4 pe baza rezultatelor experimentale obținute pe betoane proaspete și întărite ;

g) Propunerea spre brevetare a aditivului SP4 selectat în urma programului experimental și obținerea Brevetului de invenție nr. 91.423/25.09.1986 cu titlul "Compoziție aditivă superplastifiantă pentru betoane și procedeu pentru obținerea acestora" /83/ ;

h) prezentarea unor considerații teoretice privind mecanismul de acțiune al aditivilor superplastifianți în betoane ;

i) realizarea unor cercetări experimentale privind mecanismul de acțiune al aditivului superplastifiant SP4 asupra pastelor de ciment și betoanelor prin utilizarea unor metode moderne de investigație: analiză roentgenografică și utilizarea microscopului electronic cu baleaj ;

j) realizarea și experimentarea a 3 tipuri de betoane cu aditiv superplastifiant SP4: betonul fluid, betonul cu raport a/c redus și betonul cu dozaj de ciment redus ;

k) cercetarea experimentală a proprietăților betoanelor și mortarelor cu aditiv superplastifiant SP4 în stare proaspătă și întărită ;

l) studiul influenței aditivului SP4 asupra lucrabilității betonului proaspăt în funcție de raportul a/c și a direcțiilor posibile de utilizare a lui în tehnologia betoanelor ;

m) studiul parametrilor care influențează lucrabilitatea betonului proaspăt cu aditiv SP4: tipul de aditiv, dozeajul de ciment, agregatele, variația lucrabilității în timp, dozarea repetată a aditivului, influența temperaturii, intervalul de timp dintre prepararea betonului și adăugarea aditivului ;

n) efectuarea unui studiu comparativ al aditivului SP4 cu alți aditivi superplastifianți privind posibilitatea reducerii cantității de apă de preparare la lucrabilitate egală cu betonul martor și pe aceeași bază încadrarea aditivului SP4 în grupa a IV, (aditivi diverși) și în funcție de efectul la utilizare fiind un aditiv superplastifiant cu efect de reducător de apă și antrenor moderat de aer ;

o) studierea unor caracteristici fizico-mecanice ale betoanelor cu aditiv SP4 întărite: rezistența la compresiune, rezistența la întindere, rezistența prismatică, aderența, densitatea aparentă, rezistența la îngheț-dezghet ;

p) studii asupra modulilor de elasticitate (static și dinamic) ;

q) cercetări experimentale privind durabilitatea betoanelor cu aditiv superplastifiant SP4; agresivitatea soluțiilor sulfatice, rezistența la îngheț-dezghet ;

r) elaborarea unor concluzii finale privind principalele avantaje tehnico-economice, ale utilizării aditivului SP4 la realizarea betoanelor și mortarelor ;

s) stabilirea tehnologiei betoanelor și mortarelor cu aditiv superplastifiant SP4 cu introducerea unei metode noi de calcul a compoziției betonului cu aditiv SP4 ;

t) introducerea utilizării în producție, în colaborare cu laboratorul stației de betonare a Antreprizei nr.1 a TAGCM Timiș, a unor compoziții de betoane și mortare cu aditiv SP4 (șape, betoane de monolitizare, betoane pentru fundații și betoane pentru elemente prefabricate) ;

u) participarea prin asigurarea de asistență tehnică la utilizarea betoanelor și mortarelor cu aditiv SP4 la realizarea unor blocuri de locuințe în municipiul Timișoara de către TAGCM Timiș.

### 7.3. Concluzii finale cu privire la betoanele și mortarele cu aditiv superplastifiant SP4.

Din cercetările întreprinse în cadrul tezei de doctorat pri-

vind realizarea betoanelor și mortarelor cu aditiv superplastifiant SP4, se pot desprinde următoarele concluzii finale:

1. Aditivul SP4, brevetat la OSIM București sub denumirea "Compoziție aditivă superplastifiantă pentru betoane și procedeu de obținere a acesteia", Brevet de Invenție nr.91.423/25.09.1986 /83/, este un aditiv superplastifiant cu efect de reducător de apă. El are avantajul că se utilizează în proporție de 0,02-0,10% soluție din cantitatea de ciment (0,01-0,05% substanță activă), spre deosebire de alți aditivi similari din țară și străinătate, care se utilizează în proporție de cca 0,5-3,0% soluție din cantitatea de ciment (0,10-1,00% substanță activă). Utilizarea lui în cantități de 2-20 ori mai mici decât ceilalți aditivi, contribuie la obținerea unor prețuri de cost mai scăzute pe  $m^3$  de beton, în special în domeniul realizării betoanelor fluidé.

2. Studiul caracteristicilor betoanelor cu aditivi superplastifianți și în particular cu aditiv SP4, a dus la următoarele rezultate:

a) Variația rezistenței la compresiune în funcție de raportul A/C al betoanelor cu aditivi superplastifianți (fig.7.1).

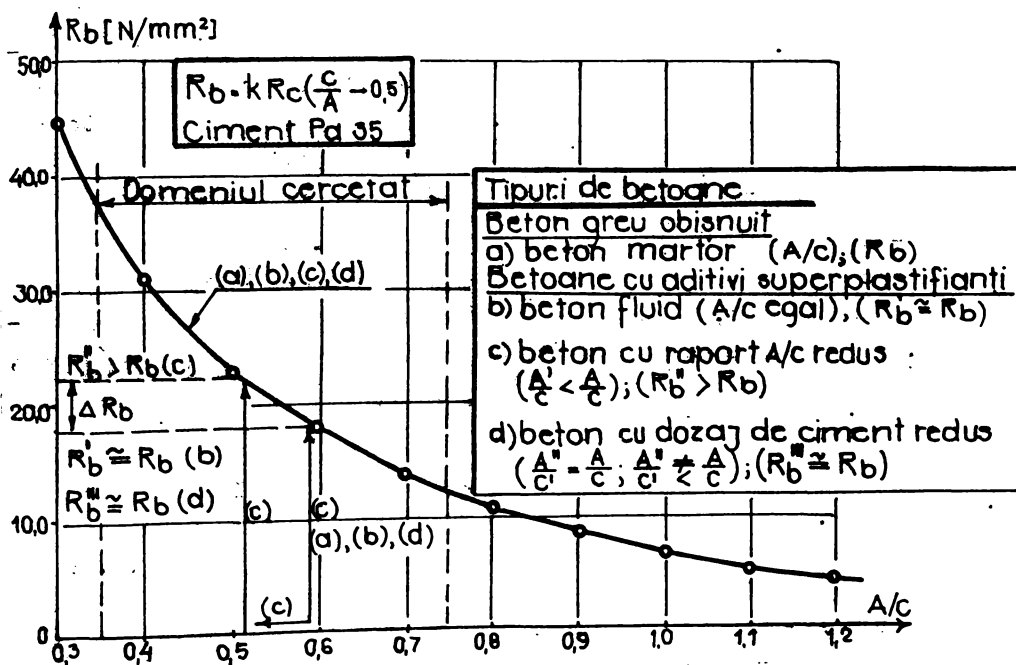


Fig.7.1. Variația rezistenței la compresiune în funcție de raportul A/C la betoanele cu aditivi superplastifianți.



- S-au studiat 3 tipuri de betoane cu aditivi superplastifianți comparativ cu betonul greu obișnuit (mărtor). Curbele de variație a rezistenței la compresiune a betoanelor cu aditivi superplastifianți (betonul fluid-fig.7.1 curba b, betonul cu raport A/C redus- fig.7.1 curba c, betonul cu dozaj de ciment redus - fig.7.1 curba d) se suprapun peste curba de variație a betonului greu obișnuit (mărtor) (fig.7.1 curba a). Pentru betonul greu obișnuit se consideră un raport A/C și o rezistență la compresiune  $R_b$ .

- Betonul fluid (fig.7.1 cazul b) se obține la același raport A/C cu al betonului mărtor (A/C egal). Caracteristica lui principală este lucrabilitatea îmbunătățită sensibil față de cea a betonului mărtor (ex.  $L_4, L_5$  față de  $L_3$ ), în condițiile obținerii unei rezistențe la compresiune apropiate de cea a betonului mărtor ( $R_b' \approx R_b$ )

- Betonul cu raport A/C redus (fig.7.1 cazul c) se obține la raportul A/C redus (cantitate de apă redusă) față de betonul mărtor ( $\frac{A}{C} < \frac{A}{C}$ ). El se realizează la același dozaj de ciment și lucrabilitate cu betonul mărtor (ex.  $L_3$ ) iar caracteristica lui principală este creșterea rezistențelor mecanice comparativ cu betonul mărtor ( $R_b' > R_b$ ). Acest spor de rezistență  $\Delta R_b$  se obține prin reducerea raportului A/C datorită efectului de reducător (superreducător) de apă al aditivului superplastifiant. Drept urmare, poziția betonului pe curba de variație se deplasează spre stînga, urcînd pe curbă, lui corespunzîndu-i un  $R_b' > R_b$ .

- Betonul cu dozaj de ciment redus (fig.7.1 cazul d) se obține prin **reducerea** concomitentă a cantității de apă de preparare și a dozajului de ciment, în condițiile obținerii aceleiași lucrabilități (ex.  $L_3$ ) și rezistențe mecanice cu ale betonului mărtor ( $R_b'' \approx R_b$ ,  $\frac{A''}{C} \approx \frac{A}{C}$ ). Se poate realiza și la  $\frac{A''}{C} = \frac{A}{C}$

Caracteristica lui principală este dozajul de ciment redus în condițiile obținerii unor rezistențe mecanice apropiate de ale betonului mărtor.

Din curba caracteristică generală prezentată în fig.7.1, în cadrul programului experimental cu utilizarea aditivului superplastifiant SP4, s-a studiat domeniul de variație al raportului A/C cuprins între 0,35-0,75. Rezultatele experimentale obținute pe cele 3 tipuri de betoane cu aditiv superplastifiant SP4 sînt prezentate

în fig.7.2.

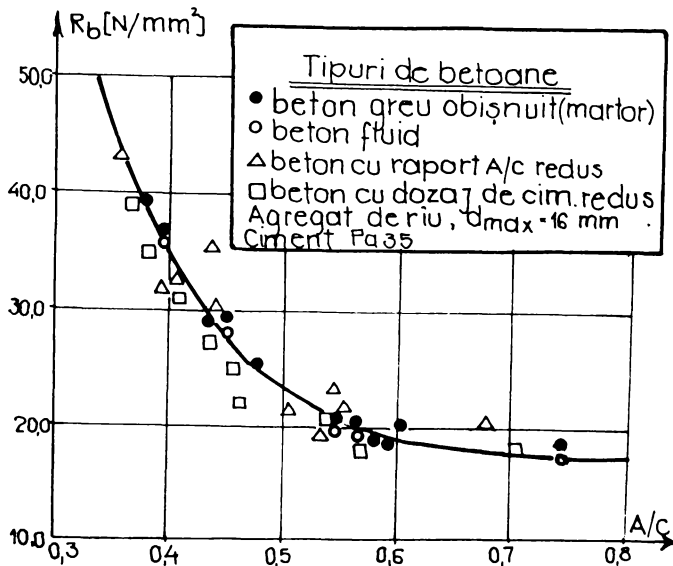


Fig.7.2. Variația rezistenței la compresiune în funcție de raportul A/C la betoanele cu aditiv superplastifiant SP4.

Se constată că ele se înscriu în curba clasică prezentată în fig.7.1, ceea ce înseamnă că se poate utiliza formula Bolomey-Skremtaev, care introduce, printre altele și raportul A/C. Acest lucru justifică utilizarea ei la stabilirea compoziției betonului cu aditiv superplastifiant prin metoda directă (cap.6, paragraful 6.3).

b) Variația raportului A/C în funcție de dozajul de ciment la betoanele cu aditivi superplastifianți (fig.7.3).

În fig.7.3 se prezintă curbele de variație ale raportului A/C în funcție de dozajul de ciment pentru betonul greu obișnuit (martor) (fig.7.3 curbă a) și pentru cele 3 tipuri de betoane cu aditivi superplastifianți.

- Betonul fluid (fig.7.3 curbă b) are curba de variație suprapusă peste curba a) a betonului martor, întrucât ambele sînt realizate la același raport A/C (aceeași cantitate de apă de preparare și același dozaj de ciment).

- Betonul cu raport A/C redus (fig.7.3 curbă c) are curba de variație sub cea a betonului martor, deoarece la același dozaj de ciment (C), cantitatea de apă de preparare este mai mică decît a betonului martor ( $A' < A$ ) și deci raportul  $\frac{A'}{C} < \frac{A}{C}$

- Betonul cu dozaj de ciment redus (fig.7.3 curba d) are curbe de variație situată între primele două, deoarece se reduce și cantitatea de apă ( $A'' < A$ ) și cantitatea de ciment ( $C < C'$ ) și am considerat  $\frac{A''}{C} < \frac{A}{C} > \frac{A'}{C}$  și  $\frac{A''}{C} > \frac{A'}{C}$

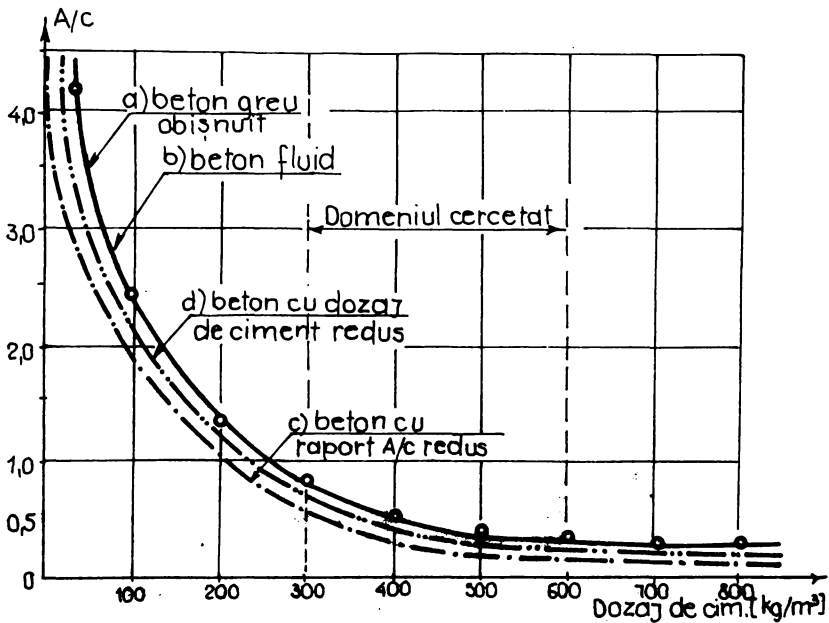


Fig.7.3. Variația raportului A/C în funcție de dozajul de ciment la betoanele cu aditivi superplastifianți.

În cadrul programului experimental cu utilizarea aditivului superplastifiant SP4 s-au studiat betoanele cu dozaaje de ciment cuprinse între 300-600 kg/m<sup>3</sup>, utilizându-se ciment Pa 35. Rezultatele experimentale obținute pe cele 3 tipuri de betoane sînt prezentate în fig.7.4.

Se constată înscrierea rezultatelor obținute experimental în curbele prezentate în cadrul studiului teoretic și anume, curbe de variație a betonului fluid se suprapune peste curba betonului greu obișnuit (martor), curba inferioară reprezintă pe cea a betoanelor cu raport A/C redus iar cea intermediară pe cea a betoanelor cu dozaj de ciment redus.

c) Variația rezistenței la compresiune în funcție de dozajul de ciment la betoanele cu aditivi superplastifianți (fig.7.5).

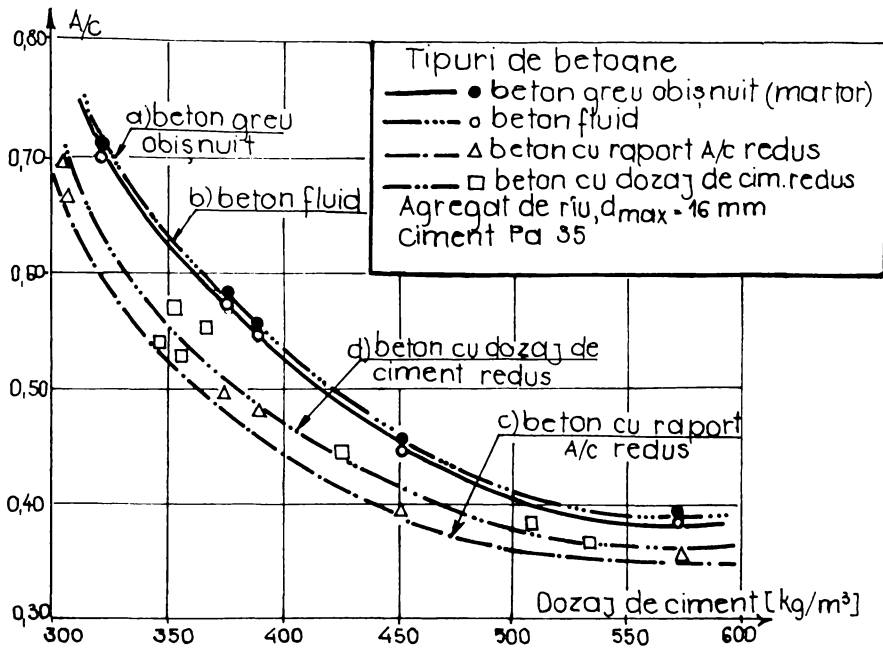
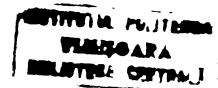


Fig.7.4. Variația raportului A/C în funcție de dozajul de ciment la betoanele cu aditiv superplastifiant SP4.

În fig.7.5 se prezintă curbele de variație ale rezistenței la compresiune în funcție de dozajul de ciment pentru betonul greu obișnuit (marmor) (fig.7.5 curba a) și pentru cele 3 tipuri de betoane cu aditivi superplastifianți.

- Betonul fluid (fig.7.5. curba b) poate avea curba de variație imediat deasupra, dedesubt sau să coincidă cu cea a betonului marmor. Acest lucru este posibil datorită faptului că betonul fluid se obține la același raport A/C cu al betonului marmor (aceeași cantitate de apă de preparare și același dozaj de ciment), iar rezistențele lui mecanice sînt apropiate, variînd în limitele de  $\pm 5\%$  față de cele ale betonului marmor ( $R'_b \approx R_b$ ).

- Betonul cu raport A/C redus (fig.7.5 curba c) are curba de variație situată la partea superioară, deoarece prin reducerea raportului A/C (a cantității de apă de preparare la dozaj de ciment egal) se obțin rezistențe mecanice superioare față de cele ale betonului marmor ( $R'_b > R_b$ ).



- Betonul cu dozaj de ciment redus (fig.7.5 curba d) are curba de variație situată deasupra curbei betonului mator, deoarece el se realizează prin reducerea concomitentă a apei de preparare și a dozajului de ciment, la aceeași lucrabilitate cu betonul mator, considerîndu-se cazul  $\frac{A''}{C} \neq \frac{A}{C}$  dar oricum nu mai mic decît  $\frac{A}{C}$  de la betonul cu raport A/C redus ( $R_b''' \approx R_b$ ) Pentru cazul  $\frac{A''}{C} = \frac{A}{C}$  ( $R_b''' = R_b$ ) curba de variație se suprapune peste cea a betonului mator.

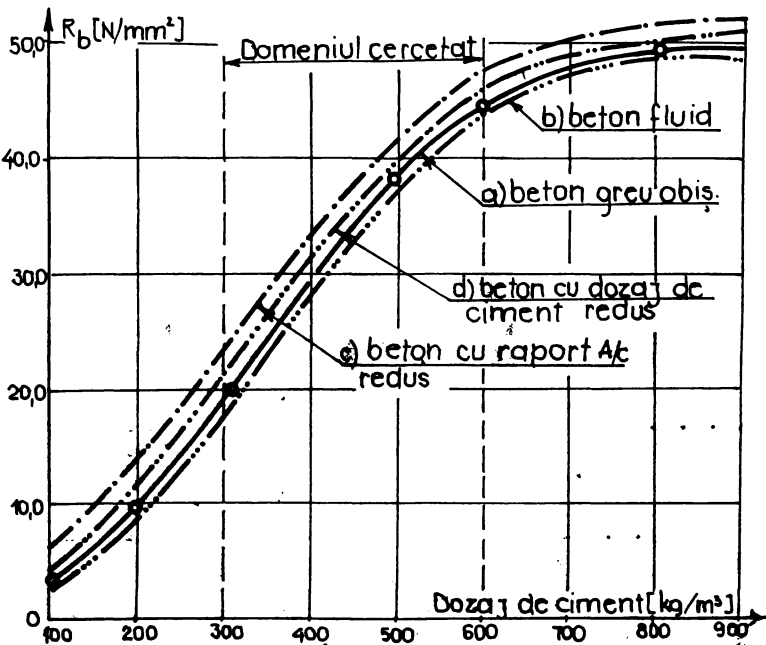


Fig.7.5. Variația rezistenței la compresie în funcție de dozajul de ciment la betoanele cu aditivi superplastifianți.

Domeniul cercetat în cadrul programului experimental cu utilizarea aditivului superplastifiant SP4 a cuprins betoane cu doze de ciment pe 35 de 300-600 kg/m<sup>3</sup> iar rezultatele experimentale obținute pe cele 3 tipuri de betoane sînt prezentate în fig. 7.6.

Se constată că rezultatele experimentale se înscrisu în curbele prevăzute teoretic. La betonul fluid, avînd în vedere că rezistențele la compresie au fost mai mici cu 1,6-4,7% față de cele ale

betonului martor, curba de variație este sub cea a betonului martor.

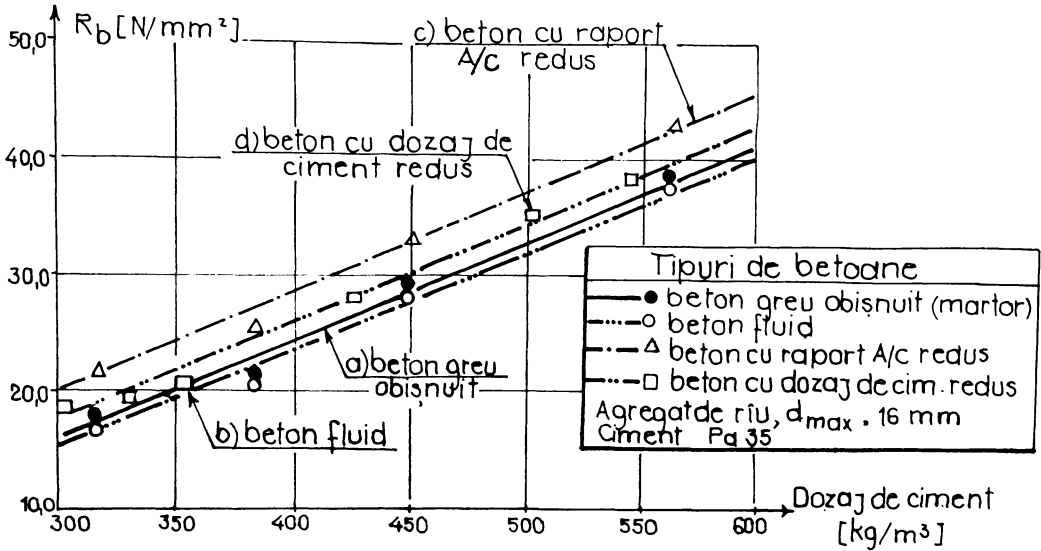


Fig.7.6. Variație rezistenței la compresiune în funcție de dozajul de ciment la betoarele cu aditiv superplastifiant SP4.

Curba de variație a betonului cu raport A/C redus este la partea superioară iar cea a betonului cu dozaj de ciment redus este situată imediat deasupra celei a betonului martor avînd în vedere că am considerat cazul  $\frac{A'}{C} \approx \frac{A}{C}$ .

3. Tehnologia betoanelor și mortarelor cu editiv superplastifiant SP4 cuprinde atit condiții specifice privind prepararea, transportul, punerea în operă, controlul calității și măsuri de protecția muncii cît și propunerea unui procedeu original de stabilire a compoziției betonului cu editiv superplastifiant SP4.

Astfel se propune pentru stabilirea cantității de apă de preparare ( $A'$ ) un procedeu nou, diferit de cel prevăzut în Normativul C 140-86 /181/. În acest sens, pornind de la formula originală propusă de C.Bob /14/ pentru betonul greu, obișnuit, s-au introdus 2 coeficienți  $\beta$  și  $\delta$ . Coeficientul  $\beta$  modifică termenul care introduce efectul lucrabilității, respectiv influența editivului superplastifiant asupra tasării iar coeficientul  $\delta$  ține seama de influența tipului de editiv superplastifiant.

Formula propusă are următoarea formă finală :

$$A' = \left( 170 + \frac{B}{2} + 50 \frac{N}{P} - \frac{300}{T+\beta} \right) \left( 0,84 + \frac{0,95}{\sqrt{C_{max}}} \right) \delta [l/m^3] \quad (7.1)$$

Explicarea termenilor formulei 7.1 a fost prezentată în cap.6. paragraful 6.3.

Pentru betoanele grele obișnuite  $\beta = 4/14/$  iar pentru betoanele cu aditivi superplastifianți pe baza unui studiu teoretic și experimental s-a determinat  $\beta = 1$ .

Coefficientul  $\delta$  s-a introdus pentru a utiliza formula 7.1 la diferite tipuri de aditivi superplastifianți. Astfel pentru aditivul superplastifiant SP4,  $\delta = 1$  iar pentru aditivul VIMC 11,  $\delta = 0,935$  la procentul optim de utilizare de 2,5% soluție din cantitatea de ciment.

În tab.7.1 se prezintă pentru 2 clase de betoane (Bc 20 și Bc 30), valorile lui  $A'$  în funcție de lucrabilitatea propusă, determinate conform Normativului C 140-86 /181/, formulei originale C.Bob /14/, conform Instrucțiunilor tehnice CD 137-81 pentru VIMC 11 /174/, precum și cu formula propusă în cadrul tezei de doctorat, atât pentru aditivul SP4 cât și VIMC 11.

Calculul s-a efectuat luându-se în considerare un agregat silicios de râu cu  $d_{max} = 16$  mm,  $W/P = 0,65$  pentru Bc 20 și 0,60 pentru Bc 30. Tasarea  $T$  utilizată în calcul s-a considerat egală cu tasarea medie din cadrul fiecărui lucrabilități ( $T = T_{med}$ , conform tab.6.1, cap.6 paragraful 6.3).

În fig.7.7 se prezintă variația cantității de apă de preparare  $A'$  calculată după modelul prezentat anterior, pentru un beton de clasă Bc 20, în funcție de lucrabilitatea propusă.

Se constată că formula propusă aproximează în mod corespunzător atât valorile experimentale obținute pentru apa de preparare ( $A'$ ) la betoanele cu aditiv superplastifiant SP4 cât și cu aditiv superplastifiant VIMC 11.

4. În colaborare cu Laboratorul Stației de betoane al Antreprizei nr.1, TAGCM Timiș, s-au definitivat compozițiile pentru mortare (șape), betoane de monolitizare, betoane pentru fundații și betoane pentru elemente prefabricate, prin utilizarea aditivului superplastifiant SP4.

Aceste tipuri de mortare și betoane cu aditiv SP4 s-au utilizat în producție la realizarea unor blocuri de locuințe în municipiul Timișoara, ca de exemplu: blocurile 105, 106, 113, 114, zona Valenii de Munte, blocurile 17, 19 zona Plăvăț II, Bloc B la, Calea Girocului, blocurile 19b, 36, 40 zona Steaua.

Cantitatea orientativă de apă la preparare (A') determinată prin diferite metode. Tabelul 7.1

Clasa betonului	Metoda de calcul	Apa [ℓ/m <sup>3</sup> ] pentru lucrabilitatea:				
		L2	L3	L3/L4	L4	L4/L5
0	1	2	3	4	5	6
Bc 20	Normativ C140-86 [181]	187	203,5	220	242	—
	Formula originală C. Bob [14]	185	201	208	210	214
	SP4 Valori experimentale	160	180	190	200	210
	SP4 Formula propusă	150	190	201	206	210
	VIMC 11 [174]	150	170	180	190	—
	VIMC 11 Formula propusă	140	178	188	193	196
Bc 30	Normativ C140-86 [181]	203,5	220	236,5	253	—
	Formula originală C. Bob [14]	190	207	213	216	219
	SP4 Valori experimentale	170	190	200	210	220
	SP4 Formula propusă	156	196	207	211	216
	VIMC 11 [174]	155	175	185	195	—
	VIMC 11 Formula propusă	145	183	193	197	202

5. Eficiența economică a aditivului SP4, comparativ cu alți aditivi superplastifianți, se studiază din 2 puncte de vedere, în funcție de utilizarea lui ca:

- aditiv cu efect de superplastifiere a betoanelor și mortarelor ;



aditiv cu efect de reducător al raportului A/C (a cantității de apă de preparare) a betoanelor și mortarelor.

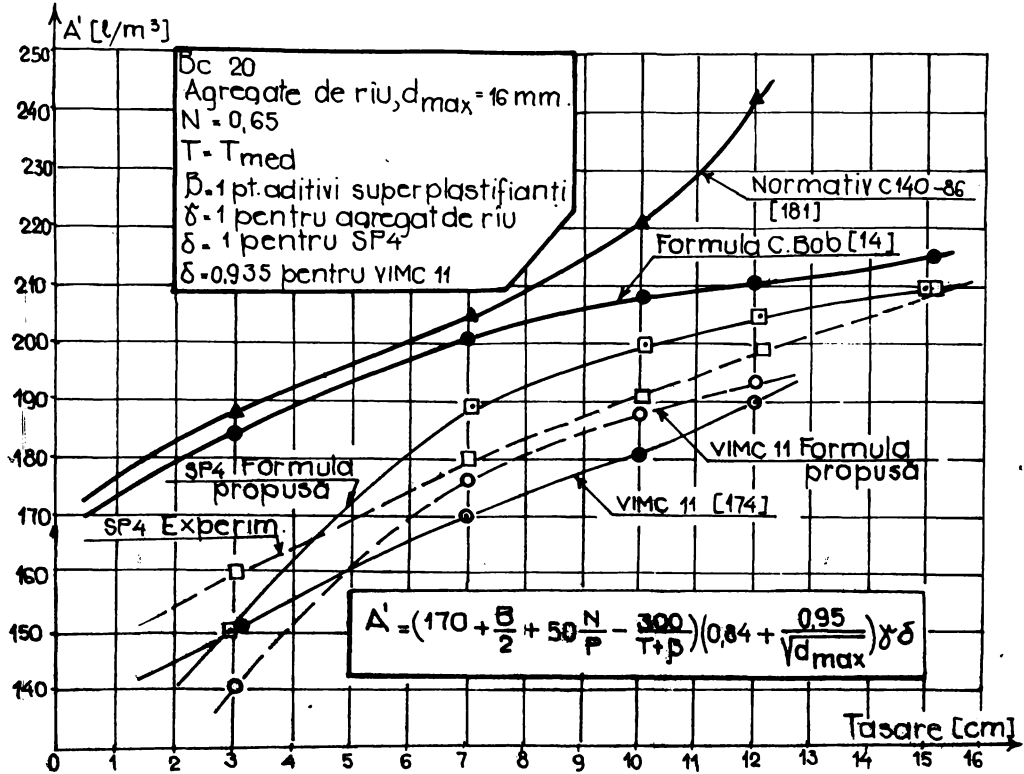


Fig.7.7. Variația cantității de apă de preparare în funcție de lucrabilitate.

Efectele editivilor superplastifianți din literatura de specialitate indicată în continuare sînt caracteristice pentru compoziția betonului utilizat, respectiv a curbei granulometrice a agregatului, a cimentului și a dozejului de editiv.

a) Eficiențe economică a editivului SP4 utilizat ca editiv cu efect de superplastifiere a betoanelor și mortarelor. Pentru a pune în evidență efectul editivilor superplastifianți asupra lucrabilității betoanelor proaspete se consideră :

$$\Delta T = T_A - T_M \quad (\text{cm}) \quad (7.1)$$

unde:  $\Delta T$  - sporul de tasare al betonului cu editiv superplastifiant față de betonul martor (cm);

$T_A$  - tasarea betonului proaspăt cu aditiv superplastifiant (cm) ;

$T_M$  - tasarea betonului proaspăt martor (cm).

Intrucât  $\Delta T$  depinde de tipul și procentul de aditiv superplastifiant, în fig.7.8 se prezintă variația sporului de tasare în funcție de procentul de aditiv (substanță activă din cantitatea de ciment) pentru 9 tipuri de aditivi superplastifianți.

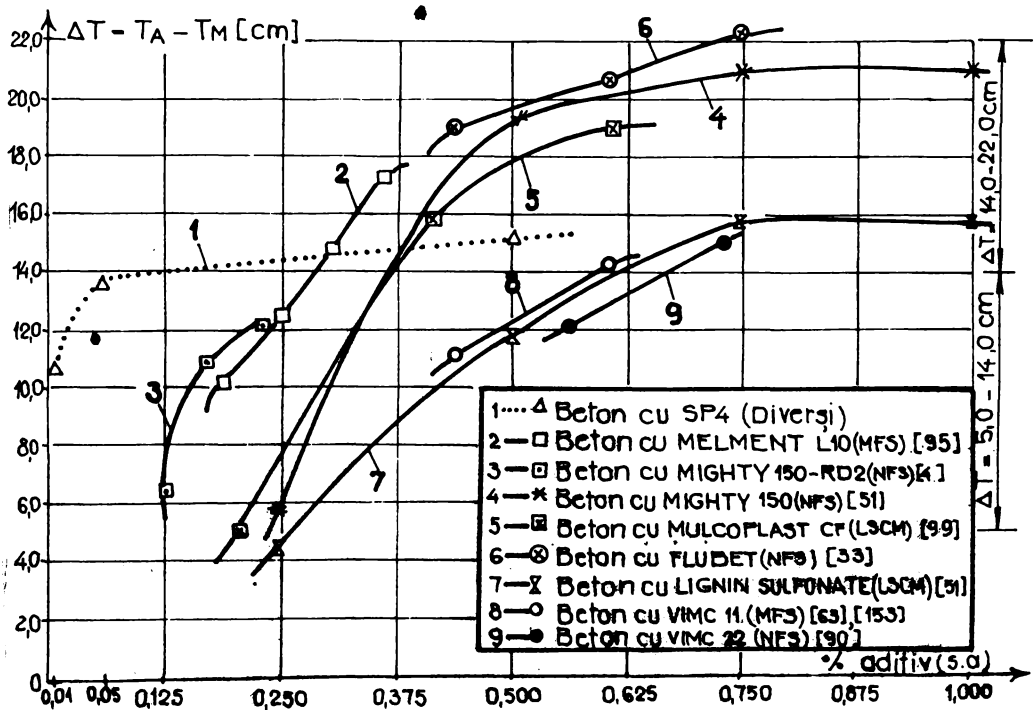


Fig.7.8. Variația sporului de tasare  $\Delta T$  în funcție de procentul de aditiv superplastifiant.

Se constată că  $\Delta T$  pentru betonul cu aditiv SP4 are o valoare medie, împărțind graficul în 2 părți. De aceea, pentru aprecierea eficienței economice a aditivilor superplastifianți comparativ cu cea a aditivului SP4, se propune discutarea ei în 2 variante:  $\Delta T = (5,0 - 14,0)$  cm și  $\Delta T = (15,0 - 22,0)$  cm. Se introduce un coeficient de eficiență economică pentru efectul de superplastifiere al aditivilor superplastifianți  $n_{ES}$ :

$$n_{ES} = \frac{\Delta T}{A_a} \left[ \frac{\text{cm}}{\%} \right] \quad (7.2)$$

unde:

$\Delta t$  - procentul de aditiv substanță activă (uscăta) din cantitatea de ciment care a produs sporul de tasare (%)

- pentru prima variantă  $\Delta T=(5,0-14,0)$  cm se prezintă în fig.7.9 variația lui  $\eta_{ES}$  în funcție de % de aditiv superplastifiant.

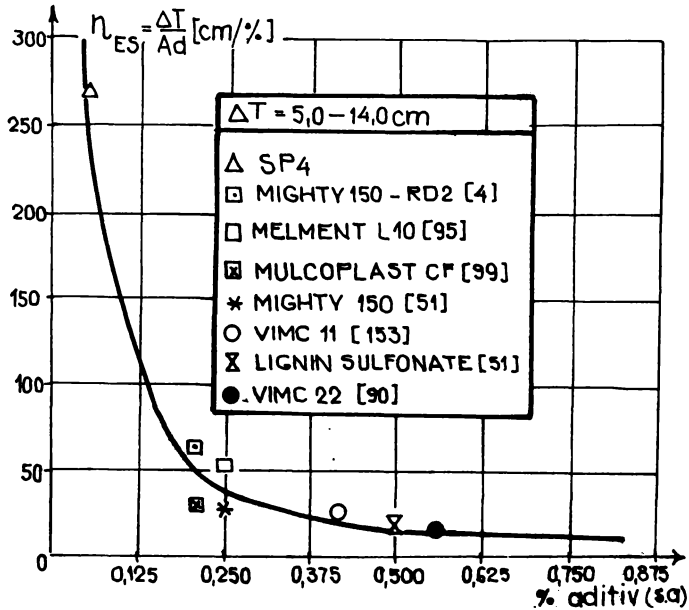


Fig.7.9. Eficiența economică a aditivilor superplastifianți  $\eta_{ES}$  pentru  $\Delta T=5,0-14,0$  cm.

Se constată că cei mai eficienți aditivi superplastifianți din punctul de vedere al realizării lui  $\Delta T$  propus, la un procent de aditiv cât mai scăzut, sînt : SP4, MIGHTY 150-RD<sub>2</sub>, MELMENT L 10 etc.

- pentru a doua variantă  $\Delta T=(15,0-22,0)$  cm, se prezintă în fig.7.10 variația  $\eta_{ES}$  în funcție de % de aditiv superplastifiant.

Se constată că cei mai eficienți aditivi în realizarea acestui spor mare de tasare, sînt : MELMENT L 10, FLUBET, MULCOPLAST CF, MIGHTY 150 etc.

b) Eficiența economică a aditivului SP4 utilizat ca aditiv cu efect de reducător al raportului A/C (a cantității de apă de preparare) a betoanelor și mortarelor.

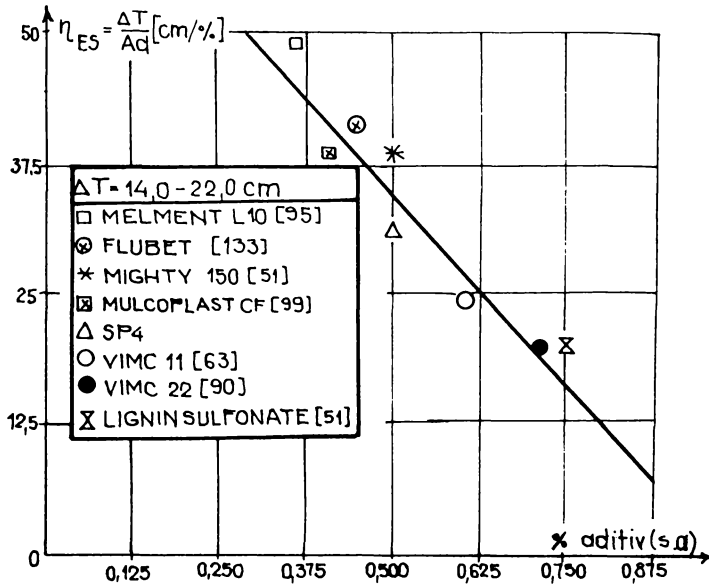


Fig.7.10. Eficiența economică a aditivilor superplastifianți  $\eta_{ES}$  pentru  $\Delta T=15,0-22,0$  cm.

Pentru a pune în evidență efectul de reducător sau super-reducător de apă a aditivilor superplastifianți se prezintă în fig. 7.11 reducerea raportului A/C ( $\Delta A/C$ ) în funcție de tipul de aditiv superplastifiant.

Pentru a urmări eficiența economică a aditivilor superplastifianți comparativ cu cea a aditivului SP4, se propune discutarea ei în 3 variante :

$$\Delta \frac{A}{C} = (10,0-15,0)\%, \quad \Delta \frac{A}{C} = (16,0-20,0)\% \text{ și}$$

$$\Delta \frac{A}{C} = (21,0-25,0)\%$$

Se introduce un coeficient de eficiență economică pentru efectul de reducător (superreducător) al aditivilor superplastifianți,  $K_{ER}$  :

$$K_{ER} = \frac{\Delta \frac{A}{C}}{A_d} \quad (7.3)$$

unde:  $\Delta \frac{A}{C}$  - reducerea raportului A/C corespunzătoare tipului de aditiv superplastifiant (conform tab.5.4, cap.5 și fig.7.11) (%).

$A_d$  - procentul de aditiv substanță activă (uscată) din cantitatea de ciment, care a produs reducerea raportului A/C (%).

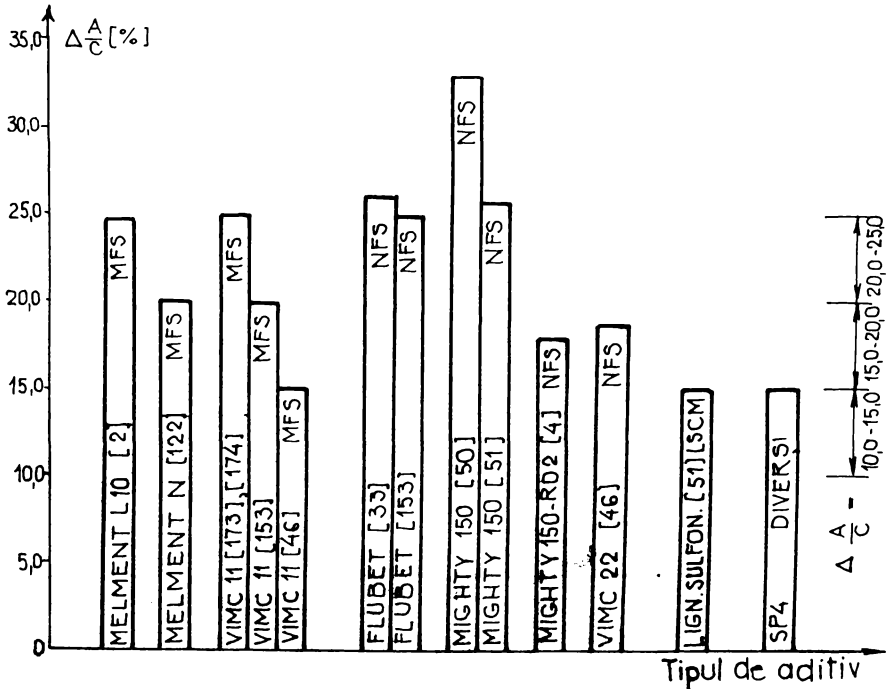


Fig.7.11. Reducerea raportului A/C în funcție de tipul aditivului superplastifiant.

- pentru prima variantă,  $\Delta \frac{A}{C} = 10,0-15,0$  %, se prezintă în fig.7.12 variația lui  $K_{ER}$  în funcție de procentul de aditiv.

Se constată că cei mai eficienți aditivi pentru interval sînt: SP4, MELMENT N, MIGHTY 150-RD<sub>2</sub> etc.

- pentru varianta a doua,  $\Delta \frac{A}{C} = 15,0-20,0$  %, variația lui  $K_{ER}$  în funcție de procentul de aditiv se prezintă în fig.7.13.

Cei mai eficienți aditivi sînt: MELMENT N, MIGHTY 150-RD<sub>2</sub>, VIMC 11 MIGHTY 150, FLUBET etc.

- pentru varianta a treia,  $\Delta \frac{A}{C} = 20,0-25,0$  %, în fig.7.14 se prezintă variația lui  $K_{ER}$  în funcție de procentul de aditiv.

Aditivii cu cel mai mare efect de superreducători sînt : FLUBET, MIGHTY 150 și MELMENT L 10.

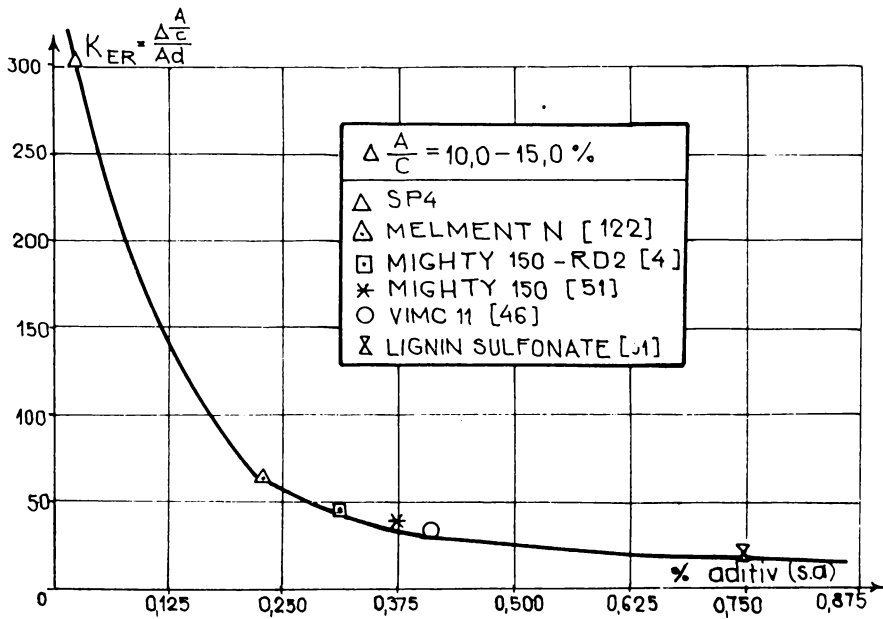


Fig.7.12. Eficiența economică a aditivilor superplastifianți  $K_{ER}$  pentru  $\Delta A/C = 10,0 - 15,0 \%$ .

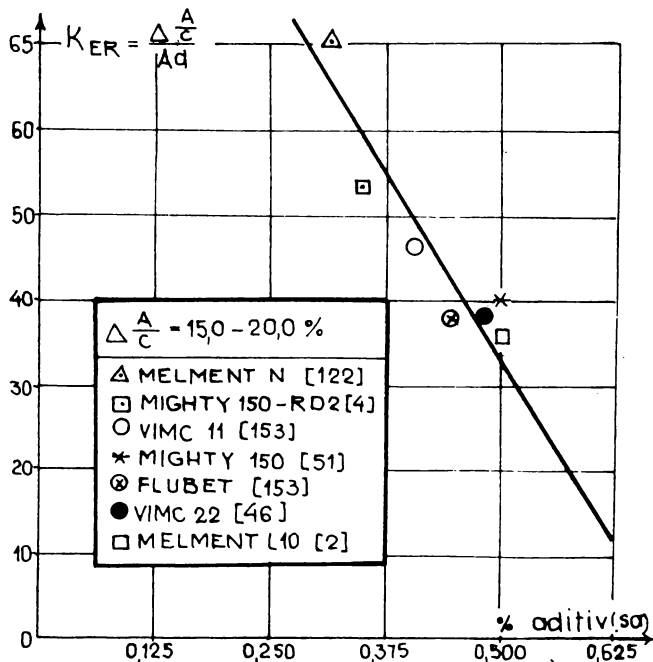


Fig.7.13. Eficiența economică a aditivilor superplastifianți  $K_{ER}$  pentru  $\Delta A/C = 15,0 - 20,0 \%$ .

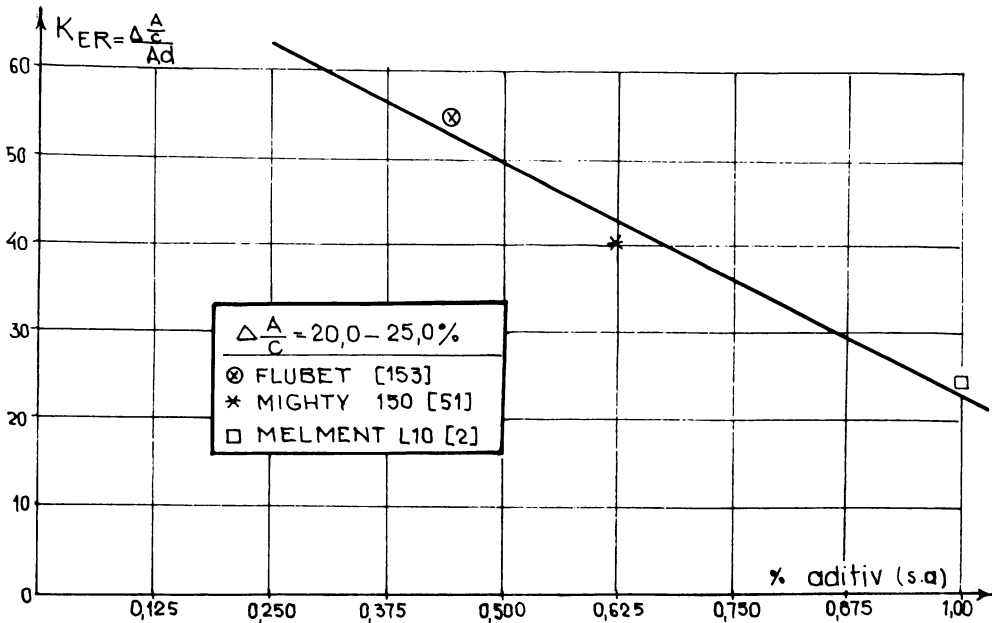


Fig.7.14. Eficiența economică a aditivilor superplastifiantei  $K_{ER}$  pentru  $\Delta A/C = 20,0 - 25,0\%$ .

Concluzionând rezultatele prezentate, se constată că aditivul SP4 are un efect de superplastifiere și un efect de reductor al raportului A/C iar utilizarea lui în tehnologia betoanelor și mortarelor este eficientă, în comparație cu alți aditivi superplastifiante, în următoarele cazuri :

a) ca aditiv cu efect de superplastifiere, pentru cazul când  $\Delta T = 5,0 - 14,0$  cm ;

b) ca aditiv cu efect de reductor de apă, pentru cazul când  $\Delta \frac{A}{C} = 10,0 - 15,0\%$ .

În tab. 7.2 se prezintă dozele unor aditivi superplastifiante utilizați în tehnologia betoanelor comparativ cu cele ale aditivului SP4.

#### 7.4. Contribuții originale ale tezei de doctorat și valorificarea cercetărilor

Principalele contribuții originale ale autorului, cuprinse în teza de doctorat sînt : . . .

# Dozaje de aditivi superplastifianți

Tabelul 7.2

Nr. crt.	Denumirea aditivului	% aditiv s.a	Cantități utilizate		
	Tipul, Țara				
1	MIGHTY 150 - RD2 NFS/SUA	0,3-0,5 *	3,8-6,4 $\frac{USFl\ ounce}{100\ lbs}$	[4] $\frac{ml}{45,4kg}$	0,246 - 0,327 l 100 kg ciment
2	RHEOMAC 716 NFS/Italia	0,4		[24]	$\frac{1,50l}{100\ kg\ ciment}$
3	RHEOMAC 877 NFS/Italia	0,4		[24]	$\frac{3,0l}{100\ kg\ ciment}$
4	MELMENT L10 MFS/Canada	2,8 *	$\frac{10\ kg\ (22\ lbs)}{353\ kg\ ciment\ (180\ lbs)}$	[55]	$\frac{2,8\ kg}{100\ kg\ ciment}$
5	MELMENT L10 MFS/Anglia	0,32-0,42	$\frac{0,83-1,10\ l}{50\ kg\ ciment}$	[53]	$\frac{1,66-2,20\ l}{100\ kg\ ciment}$
6	CONPLAST N1 MFS/Anglia	0,31-0,36	$\frac{1,14-1,33\ l}{50\ kg\ ciment}$	[53]	$\frac{2,28-2,66\ l}{100\ kg\ ciment}$
7	SEALOPLAZ SUPER MFS/Anglia	0,48-0,63	$\frac{1,28-1,67\ l}{50\ kg\ ciment}$	[53]	$\frac{2,56-3,34\ l}{100\ kg\ ciment}$
8	CORMIX SP1 NFS/Anglia	0,55-0,63	$\frac{0,72-0,83\ l}{50\ kg\ ciment}$	[53]	$\frac{1,42-1,66\ l}{100\ kg\ ciment}$
9	CRODA 3 NFS/Anglia	0,45-0,46	$\frac{0,57-0,58\ l}{50\ kg\ ciment}$	[53]	$\frac{1,14-1,16\ l}{100\ kg\ ciment}$
10	MIGHTY 150 NFS/Anglia	0,49-0,56	$\frac{0,50-0,57\ l}{50\ kg\ ciment}$	[53]	$\frac{1,0-1,14\ l}{100\ kg\ ciment}$
11	SUPAFLO NFS/Anglia	0,52-0,63	$\frac{0,83-1,00\ l}{50\ kg\ ciment}$	[53]	$\frac{1,66-2,00\ l}{100\ kg\ ciment}$
12	SIKAMENT NFS/Anglia	0,41	$\frac{0,50\ l}{50\ kg\ ciment}$	[53]	$\frac{1,00\ l}{100\ kg\ ciment}$
13	ACOSAL FLUID LSCM/Anglia	0,35-0,40	$\frac{0,41-0,58\ l}{50\ kg\ ciment}$	[53]	$\frac{0,82-1,16\ l}{100\ kg\ ciment}$
14	VIMC 11 MFS/România	1,0-5,0 *		[174]	$\frac{1,0-5,0\ l}{100\ kg\ ciment}$
15	VIMC 22 NFS/România	0,8-2,0 *		[173]	$\frac{0,8-2,0\ l}{100\ kg\ ciment}$
16	FLUBET NFS/România	1,5-2,0 *		[181]	$\frac{1,5-2,0\ l}{100\ kg\ ciment}$
17	SP4 Diversi/România	0,05-0,1 *			$\frac{0,050-0,100\ l}{100\ kg\ ciment}$

\*% Aditiv soluție



1. Sinteza datelor din literatura de specialitate din țară și străinătate, cu privire la :

- aditivii clasici ;
- aditivii superplastifianți ;
- betoane, mortare și paste de ciment cu aditivi superplastifianți.

2. Elaborarea unui studiu teoretic cu privire la :

- conceptul de aditiv superplastifiant ;
- conceptul de beton cu aditiv superplastifiant ;
- propuneri de clasificări a betoanelor cu aditivi superplastifianți ;
- analiza tipurilor de betoane cu aditivi superplastifianți propuse și compararea cu rezultatele experimentale obținute.

3. Testarea, în colaborare cu Laboratorul Detergenți de la Întreprinderea de Detergenți Timișoara, a 22 tipuri de noi aditivi și identificarea unui nou tip de aditiv superplastifiant pentru betoane și mortare, pe baza unor criterii de selecție calitativă și cantitativă. Propunerea în cadrul criteriului cantitativ a 2 formule originale pentru cei 2 coeficienți  $\xi$  și  $\chi$  pe baza cărora s-a selectat aditivul superplastifiant SP4.

4. Brevetarea la OSIM București a aditivului superplastifiant SP4 sub titlul " Compoziție aditivă superplastifiantă pentru betoane și procedeu de obținere a acesteia", Brevet de Invenție, nr.91.423/ 25.09.1986 /83/.

5. Efectuarea unui studiu teoretic și experimental privind mecanismul de acțiune al aditivului superplastifiant SP4 prin utilizarea analizei roentgenografice și a microscopului electronic cu baleaj.

6. Cercetarea experimentală a betoanelor cu aditiv superplastifiant SP4 (betonul fluid, betonul cu raport a/c redus, betonul cu dozaj de ciment redus) și a principalelor lor proprietăți fizico-mecanice.

7. Efectuarea unui studiu experimental cu privire la durabilitatea betoanelor cu aditiv superplastifiant SP4.

8. Contribuții la stabilirea tehnologiei betoanelor și mortarelor cu aditiv superplastifiant SP4 prin :

- procedeu original de stabilire a compoziției betonului cu aditiv SP4 prin conceperea unei formule pentru determinarea cantității de apă de preparare prin utilizare a 2 coeficienți originali  $B$  și  $\delta$ ;

- stabilirea unor condiții specifice privind prepararea, transportul, punerea în operă, controlul calității și măsuri de protecția muncii pentru betoanele cu aditiv SP4.

9. Elaborarea în colaborare cu Laboratorul Stației de Betoane a Antreprizei nr.1 TAGCM Timiș a compoziției și tehnologiei de obținere pentru mortare (șape), betoane de monolitizare, betoane pentru fundații și betoane pentru elemente prefabricate cu aditiv superplastifiant SP4 și utilizarea lor în producție la diferite șantiere din Timișoara.

10. Elaborarea unei metodologii pentru studiul eficienței economice a aditivilor superplastifianți utilizați în tehnologia betoanelor în funcție de procentul de substanță activă, prin utilizarea a 2 coeficienți originali  $\eta_{ES}$  și  $K_{ER}$ .

11. Valorificarea studiilor teoretice și experimentale prin concluziile puse la dispoziția cercetării și producției prin:

- 5 contracte de cercetare științifică cu 9 faze elaborate în perioada 1982-1988 în colaborare cu TAGCM Timiș, /183/, /195/, /196/, ICCPDC București, Filiale Timișoara, /169/, TAGCInd. Timișoara /179/ ;

- participarea la simpozioane, manifestări științifice și publicarea în literatură de specialitate a unor lucrări legate de cercetările întreprinse /11/, /12/, /13/, /72/, /73/, /74/, /75/, /76/, /77/, /78/, /79/, /80/, /81/, /82/, /83/.

B I B L I O G R A F I E

1. Aignesberger, A., Kern, A. - Use of Melamine-Based Superplasticizer as a Water Reducer, Development in the Use of Superplasticizers, Publication ACI, Detroit; 1981.
2. Aignesberger, A., Reichert, I. - MELAMINE in Concrete: Long Term Behaviour and Selected Case Histories, Superplasticizers in Concrete, vol. I., Proceedings of an International Symposium Ottawa, Canada, 29-31 May, 1978.
3. Aitcin, P. C., Cossette, M., Malric, B. - Superplasticizers in Asbestos Cement, Superplasticizers in Concrete, vol. II, Proceedings of an International Symposium, Ottawa, Canada 29-31 May, 1978.
4. Arthur, N. G. - Low Dosage Super Water Reducer, v. /3/.
5. Avram, C., Bob, C. - Noi tipuri de betoane speciale, Editura Tehnică, București, 1980.
6. Avram, C., Păcăeru, I., Filimon, I., Mîrșu, O., Terteș, I. - Rezistențele și deformațiile betonului, Editura Tehnică, București, 1971.
7. Avram, C., Filimon, I. - Curs de beton armat, vol. I, II, IPTV Timișoara, 1976.
8. Bartos, P. - Orifice Rheometer as a Test for Flowing Concrete, v. /1/.
9. Bob, C. - Verificarea calității, siguranței și durabilității construcțiilor, Editura Facla, Timișoara, 1989.
10. Bob, C., Roșu, M., Buchman, I. - Materiale de Construcții, Vol. I, II IPTV, Timișoara, 1985.
11. Bob, C., Roșu, M., Buchman, I., Roșu, C., Jebellean, E., Ilca, A. - Realizări și perspective în domeniul tehnologiei betoanelor cu performanțe îmbunătățite, Simpozion "Zilele Academice Timișene", Timișoara, 25-27 mai, 1989.
12. Bob, C., Roșu, M., Furdut, C., Buchman, I., Roșu, C., Jebellean, E., Ilca, A. - Materiale de construcții, Indrumător de laborator, IPTV-Timișoara, 1982.
13. Bob, C., Roșu, M., Roșu, C., Buchman, I., Jebellean, E., Ilca, A., Furdut, C. - Contribuții privind realizarea de betoane cu consumuri specifice reduse folosite în domeniul diversificate, Simpozion "Contribuția IPTV Timișoara la dezvoltarea cercetării științifice românești", Timișoara, 8 Noiembrie, 1985.

14. Bob, C. - Unele considerații privind stabilirea compoziției betoanelor, Rev. Materiale de construcții, nr.2, București, 1986.
15. Botez, H.C. - Studiul adăsurilor tensioactive la mortare și betoane, Teză de doctorat, Iași, 1979.
16. Branște, C., Botez, E. - Materiale de construcții, Vol. I, II, III, IP. Iași, 1988.
17. Brooks, J.J., Wainwright, P.J., Reville, A.M. - Time-Dependent Properties of Concrete Containing HIGH Admixture, v./3/.
18. Brooks, J.J., Wainwright, P.J., Reville, A.M. - Time-Dependent Behavior of High-Early-Strength Concrete Containing a Superplasticizer, V. /1/.
19. Brusin, M. - Emploi des adjuvants dans l'industrie du béton, Les Adjuvants du Béton, Association Française du Béton, Annales IPTP, no.424, Paris, 1984.
20. Buchman, I.C. - Betoane armate cu fibre de oțel, Teză de doctorat, Timișoara, 1983.
21. Buchman, I., Földváry, A., Bob, C., Radușlav, I. - Beton fin cu întărire rapidă pentru monolitizări la structurile prefabricate asamblate prin precomprimare, Simpozion "Promovarea progresului tehnic în Construcții" Timișoara 21-22 martie, 1986.
22. Cadar, I. - Mortare și betoane armate cu fibre de sticlă, Teză de doctorat, Timișoara, 1980.
23. Charreton, C. - Ciments avec ajouts et rôle des adjuvants dans le cadre européen, v. /19/.
24. Collepardi, M., Corradi, M. - Influence of Naphthalene-Sulphonated Polymer Based Superplasticizers on the Strength of Ordinary and Lightweight Concretes, v./3/.
25. Collepardi, M., Corradi, M., Valente, M. - Influence of Polymerization of Sulphonated Naphthalene Condensate and its Interaction with Cement, v./1/.
26. Collepardi, M., Corradi, M., Valente, M. - Superplasticizers Shrinkage - Compensating Concrete, v."/1/.
27. Clipii, T., Toma, A., ș.e. - Beton armat și precomprimat. Indrumător de laborator, IPTV Timișoara, 1980.
28. De Lama, P., Tavano, S. - Vibration Energy Optimization in Prefabricated Concrete Casting using Superplasticizers, v. /1/.

29. Lesreumaux, A. - Controle et efficacité des adjuvants du béton, v. /19/.
30. Deutsch, I. - Cours de technologie lucrărilor de construcții, vol. I. II, IPTVT, 1984.
31. Dulieu, C. - De rheologie au béton frais et les adjuvants, v. /19/.
32. Enescu, S., Ionescu, E., Teslaru, S. - Influența aditivilor asupra proprietăților betonului, Rev. Materiale de Construcții, nr. 2, București, 1981.
33. Enescu, S., Tatu, D., Teslaru, S. - Cercetări privind influența aditivului superplastifiant FLUBET asupra proprietăților și structurii betoanelor, Rev. Materiale de Construcții, nr. 1, București, 1985.
34. Eriksen, K., Christensen, K. P. - Experiences in the Use of Superplasticizers in Some Special Fly Ash Concretes, v. /1/.
35. Filimon, I. - Cours de beton armat, vol. I., IPTV Timișoara, 1971.
36. Filimon, I., Bob, C., Buchman, I., Nicoară, L., Ionescu, K., Jive, C., Mureșan, H. - Cercetări experimentale privind folosirea betonului armat cu fibre de oțel la repararea îmbrăcămintelor rutiere rigide, A 5-a Consfătuire pe țară a lucrătorilor de drumuri și poduri, Timișoara, 6-8 decembrie, 1978.
37. Filimon, I., Cadar, I., Friedrich, R. - Beton armat și Construcții, vol. I, II, IPTV Timișoara, 1988.
38. Filimon, I., Deutsch, I. - Cours de beton armat și precomprimat, vol. I, II, IPTV Timișoara, 1979.
39. Filimon, I., Deutsch, I. - Cours de beton armat și precomprimat, vol. I, II, IPTVT, 1984.
40. Filimon, I., Deutsch, I., ș.a. - Beton armat și precomprimat, Indreptar de calcul, IPTV Timișoara, 1986.
41. Filimon, I., ș.a. - Beton armat, Indrumător de proiectare, IPTV Timișoara, 1981.
42. Florea, I., Ciobanu, C. - Superplastifianți pe bază de rășini sintetice. Realizări și perspective, Rev. Materiale de Construcții, nr. 1, București, 1980.
43. Freese, D. - Practical Experience in the Use of Superplasticizers in Ready-Mixed Concrete, v. /2/.
44. Furdui, C. - Contribuții privind studiul betoanelor ușoare de rezistență și a comportării lor în structuri cu diafragme monolite, Teză de doctorat, Timișoara, 1983.
45. Furdui, C., Bob, C., Ignaton, E., Korack, I. - Beton ușor de izolație și rezistență pentru elemente neportante, Rev. Materiale de Construcții, nr. 2, București, 1988.

46. Gažo, V., Koreck, I., Ionescu, I., Flores, I., Cotuna, I., Ciobanu, C., Iovănescu, M. - Unele rezultate ale experimentărilor efectuate la TCM - Diminuarea pentru utilizarea superplastifiantilor de tip VIMC în tehnologia betonului, Rev. Materiale de Construcții, nr.3, București, 1981.
47. Gokhale, V. G., Paranjpe, R. - Relevance of Concrete Superplasticizers in a Developing Economy, v./1/.
48. Groll, D., Hirtui, I. ș.a. - Materiale de construcții, I.P. Iași, 1988.
49. Hampton, I., S. - Extended Workability of Concrete Containing High-Range Water - Reducing Admixtures in Hot Wheater, v./1/.
50. Hattori, K. - Experiences with MIGHTY Superplasticizer in Japan, v./2/.
51. Hattoni, K., Yamakawa, C. - Cement Dispersing Agent MIGHTY for the High-Strength Concrete, KAO Technical Information, October 20, Tokyo, 1973.
52. Hester, W.I. - Field Applications of High-Range Water Reducing Admixtures, v./3/.
53. Hewlett, P.C. - Experiences in the Use of Superplasticizers in England, v./2/.
54. Hewlett, P.C. - The concept of Superplasticized Concrete, v./2/.
55. Holbek, K., Skrestins, J.T. - Canadian Experience with the Use of Superplasticizers in the Precast Concrete Industry, v. /2/.
56. Hovasse, C. - Contrôle de la qualité et recherche de produits nouveaux, v./19/.
57. Hyland, E.J. - Use of MBLENT in Precast Pipe and Tunnel Sections, v./2/.
58. Ionescu, I. - Ameliorări posibile în tehnologia betonului prin utilizarea superplastifiantilor, Rev. Materiale de Construcții, nr.3, București, 1978.
59. Ionescu, I. - Aspecte actuale ale utilizării superplastifiantilor în tehnologia betonului și prefabricatelor, Rev. Materiale de Construcții, nr.1, București, 1980.
60. Ionescu, I. - Comportarea în timp a betoanelor și elementelor prefabricate din beton cu superplastifianti de tip VIMC, Rev. Construcții, nr.4, București, 1983.
61. Ionescu, I., Dumitrescu, D., Nicula, I., Negoită, A. - Condiții tehnice pentru prepararea și utilizarea betoanelor de înaltă rezistență B 600- B 800 în unitățile de prefabricate, Rev. Materiale de Construcții, nr.3, București, 1978.

62. Ionescu, I., Ionescu, A. - Aspecte ale utilizării aditivilor acceleratori în tehnologia betoanelor, Rev. Materiale de Construcții, nr.4, București, 1986.
63. Ionescu, I., Ispas, T. - Practica actuală a betoanelor, Editura Tehnică, București, 1986.
64. Ionescu, I., Ispas, T. - Proprietățile betoanelor cu cimenturi cu adaosuri de zgură și cu lianți pe bază de zgură activată, Rev. Materiale de Construcții, nr.1, București, 1985.
65. Ionescu, I., Ispas, T. - Rezultate ale experimentărilor privind proprietățile betoanelor cu superplastifianți, Rev. Materiale de Construcții, nr.1, București, 1981.
66. Ionescu, I., Ispas, T. - Cercetări și realizări în domeniul reparării elementelor prefabricate și monolite din beton, Rev. Materiale de Construcții, nr.3, București, 1986.
67. Ionescu, I., Ispas, T. - Aspecte actuale privind realizarea betoanelor de înaltă rezistență, Rev. Materiale de Construcții, nr.1, București 1987.
68. Ionescu, I., Ispas, T., Rener, G., Petri, G., Chebelean, C., Florea, I., Ciobanu, C. - Unele rezultate ale experimentărilor efectuate pe liniile tehnologice de la IMG Brașov cu folosirea superplastifianților în tehnologia prefabricatelor, Rev. Materiale de Construcții, nr.1, București, 1980.
69. Ispas, T., Ionescu, I., Rener, G., Petri, G. - Aspecte privind dezvoltarea tehnologiei betoanelor de înaltă performanță, Rev. Materiale de Construcții, nr.1, București, 1990.
70. Ispas, T., Ionescu, I. - Aspects of Cement and Energy Economy in Precasting Plants by the Use of Superplasticizers, v./1/.
71. Ispas, T., Ionescu, I. - Aspecte din experiența ICPMC în domeniul tehnologiei betoanelor, Rev. Materiale de Construcții, nr.4, București, 1984.
72. Jebelean, E., Avram, C., Bob, C., Koreck, I. - Influența unor noi aditivi asupra proprietăților betonului, Rev. Materiale de Construcții, nr.4, București, 1980.
73. Jebelean, E., Bob, C., Buchman, I., Roșu, M., Guștu, N. - Betoane cu noi tipuri de adaosuri și aditivi, Sesiunea științifică de comunicații a Academiei Române, București, 26-27 octombrie 1988.
74. Jebelean, E., Bob, C., Guștu, N. - Unele considerații asupra unui nou aditiv superplastifiant, "CONSILOX V", Timișoara, 8-10 septembrie, 1988.

75. Jebelean, E., Bob, C., Ilca, A. - Proprietăți fizico-mecanice ale betoanelor cu aditivul superplastifiant indigen F4, Simpozion "Promovarea progresului tehnic în construcții", Timișoara, 21-22 martie, 1986.
76. Jebelean, E., Bob, C., Ilca, A., Gușatu, L. - Noi tipuri de aditivi pentru betoane grele și ușoare, Rev. Materiale de Construcții, nr.1, București, 1985.
77. Jebelean, E., Bob, C., Ilca, A., Gușatu, L. - Polietilen-poliamide ale acidului sulfosuccinic, o nouă grupă de tensi-de cu acțiune de superfluidizare a mortarelor și betoanelor. II. Aplicații, Al III-lea Simpozion de Chimia Coloizilor și Suprafețelor, Timișoara, 11-14 septembrie, 1989.
78. Jebelean, E., Bob, C., Ilca, A., Koreck, I., Plăvăț, G., Jurcuț, R., Gușatu, L. - Utilizarea aditivului superplastifiant indigen F4 la realizarea șapelor obișnuite și a șapelor de pompă, Simpozion "Promovarea progresului tehnic în construcții de locuințe, social-culturale și tehnico-edilitare", Timișoara, 25-26 septembrie, 1986.
79. Jebelean, E., Bob, C., Koreck, I., Plăvăț, G., Jurcuț, R. - Realizarea îmbinărilor structurilor din beton armat cu betoane cu aditiv superplastifiant, Simpozion "Soluții noi, eficiente în proiectarea și execuția structurilor", Timișoara, 14-15 noiembrie, 1986.
80. Jebelean, E., Bob, C., Marinescu, V., Koreck, I., Plăvăț, G., Jurcuț, R., Gușatu, L. - Utilizarea aditivului superplastifiant indigen F4 la realizarea șapelor și a betoanelor de monolitizare, Simpozion "Promovarea progresului tehnic în construcții", Timișoara, 21-22 martie, 1986.
81. Jebelean, E., Bob, C., Roșu, C. - Preocupări privind folosirea unor aditivi indigeni și a altor adăosuri rezonabile la prepararea mortarelor și betoanelor, Simpozion "Creația tehnico-științifică, factor determinant al progresului economic și social", Timișoara, 12-13 noiembrie, 1984.
82. Jebelean, E., Gușatu, L., Maurer, E., Bob, C., Ilca, A. - Polietilen-poliamide ale acidului sulfosuccinic, o nouă grupă de tensi-de cu acțiune de superfluidizare a mortarelor și betoanelor, I. Obținerea, Al III-lea Simpozion de Chimia Coloizilor și Suprafețelor, Timișoara, 11-14 septembrie, 1989.



83. Jebelean, E., Gușatu, I., Maurer, E., Bob, C., Ilca, A., Marinescu, V., Koreck, I. - Compoziție aditivă superplastifiantă pentru betoane și procedeu de obținere a acesteia, Brevet de Invenție, nr.91.423/25.09.1986.
84. Kakizaki, M. - Report on Superplasticized Concrete for Use in Extremely Hot Climates, KICT Report<sup>o</sup>, no.48, April, 1984.
85. Kasami, H., Ikeda, T., Yamane, S. - Workability and Pumpability of Superplasticized Concrete. Experience in Japan, v./2/.
86. Kishitani, K., Kasami, H., Iizuka, M., Ikeda, T., Kazama, I., Hattori, K. - Engineering Properties of Superplasticized Concrete: v./1/.
87. Kishitani, K., Tomosawa, F., Oka, S. - Rheological Study of Superplasticized Concrete, v./1/.
88. Kobayashi, M., Nakakuro, E., Kodama, K., Negami, S. - Frost Resistance of Superplasticized Concrete, v./1/.
89. Koreck, I. - Contribuții la tehnologia betonului ușor cu granuli de Lugoș, Teză de doctorat, Timișoara, 1989.
90. Koreck, I., Cotuna, I., Gaze, I. - Dozarea superplastifiantilor în betoanele transportate pe șantier, Simpozion " Promovarea progresului tehnic în construcții ", Timișoara, 21-22 martie, 1986.
91. Le Fraugh, R.W. - The Use of Superplasticizers in the Precast Industry, v./2/.
92. Lane, R. O., Best, J.F. - Laboratory Studies on the Effects of Superplasticizers on the Engineering Properties of Plain and Fly Ash Concretes, v./2/.
93. Lukas, W. - Chloride Penetration in Standard Concrete, Water-Reduced Concrete and Superplasticized Concrete, v./1/.
94. Lupan, M. - Progrese și perspective în domeniul betoanelor, Rev. Materiale de Construcții, nr.1, București, 1977.
95. Mailvaganam, N.P. - Slump Loss in Flowing Concrete, v./3/.
96. Mailvaganam, N.P., Bhagrath, R., S., Shaw, K.L. - Sulfate Resistance of Mortar Containing Superplasticizers With Fly Ash or Blast Furnace Slag, v. /1/.
97. Malhotra, V.M. - Mechanical Properties and Durability of Superplasticized Semi-Lightweight Concrete, v./1/.
98. Malhotra, V.M., Carrette, G.G. - Silica fume, Rev. Concrete Construction, vol.27, nr,5, May, 1982.
99. Malhotra, V.M., Malenka, D. - Performance of Superplasticizers in Concrete: Laboratory Investigation, Part I, v./3/.

100. Marta, R. - Cîteva considerații asupra betoanelor de înaltă rezistență, Rev. Materiale de Construcții, nr.3, București, 1979.
101. Massaro, F., Costa, M., Barrila, M. - Adsorption of Superplasticizers on Calcium Aluminate Monosulfate Hydrate, v./1/.
102. Mather, B. - Tests of High-Range Water-Reducing Admixtures, v./2/.
103. Merlin-Chalumeau, J. - Emploi standard des adjuvants dans le bâtiment, problèmes quotidiens de l'entreprise, v./19/.
104. Meyer, A. - Experiences in the Use of superplasticizers in Germany, v./2/.
105. Mielenz, R. C., Sprouse, J.H. - High Range, Water - Reducing Admixtures: Effect on the Air-Void System in Air-Entrained and Non-Air-Entrained Concrete, v./2/.
106. Mihail, I. - Întărirea accelerată a betoanelor, Editura Tehnică, București, 1972.
107. Mills, R. H., Meisner, T.M. - Use of Superplasticizers in Fibre Reinforced Concrete, v./3/.
108. Mîrșu, O. - Betoane ușoare simple și armate, Teză de doctorat, Timișoara, 1957.
109. Moldovan, V. - Aditivi în betoane, Editura Tehnică, București, 1978.
110. Moldovan, V., Patu, D. - Cercetări privind corelația între structură și proprietățile betonului, Rev. Materiale de Construcții, nr.2, București, 1979.
111. Moiceanu, I., Renner, C.ș.a. - Realizarea elementelor prefabricate din beton cu superplastifianți, Rev. Materiale de Construcții, nr.2, București, 1983.
112. Mukherjee, P.K., Chojsacki, B. - Laboratory Evaluation of Concrete Superplasticizing Admixture, v./2/.
113. Murata, J., Kawai, T., Kokubu, K. - Studies on the Utilization of Water-Reduced High-Strength Concrete for Monorail Piers, v./1/.
114. Murray, M., Lynn, I.L. - Superplasticizers - Water-Reducers or Flowing Agents, v./3/.
115. Negru, R. - Asupra utilizării superplastifianților în betoane, Rev. Materiale de Construcții, nr.1, București, 1980.
116. Reville, A.M. - Proprietățile betonului, Editura Tehnică, București, 1979.

117. Nicoară, L., Păunescu, M., Bob, C., Bilțiu, A. - Îndrumătorul laboratorului de drumuri, Editura Tehnică, București, 1985.
118. Micula, I., Cneț, T. - Beton armat, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
119. Nishibayashi, S., Yamura, K., Inoue, S. - Rheological Properties of Superplasticized Concrete, v./1/.
120. Okada, E., Azuma, T., Hattori, K. - Workability and Flexural Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete Containing Superplasticizers, CAJ Review of the 31 st. General Meeting, 1977.
121. Okada, E., Hisaka, M., Kazama, Y., Hattori, K. - Freeze - Thaw Resistance of Superplasticized Concretes, v./1/.
122. Ogawa, A. - Application of RETARDER to the Production System of Precast Concrete Elements, v. /3/.
123. Paillere, A.M. - Mithe et réalité des fluidifiants, v. /19/.
124. Perenchio, W.F., Whiting, D.A., Kantro, D.L. - Water - Reduction, Slump Loss and Entrained Air Void Systems as Influenced by Superplasticizers, v./2/.
125. Pfeiffenberger, E., Ray, D.B. - Use of Superplasticizer in the Manufacture of Extra - High - Strength Block, v. /1/.
126. Poitevin, P. - Choix des adjuvants et surveillance de leur utilisations sur les grands chantiers de génie civil, v. /19/.
127. Potorac, C., Biletzchi, E., Vorovei, C. - Proprietăți fizico-mecanice ale betoanelor pe șantierul de construcții din zona Vaslui cu utilizarea aditivului superplastifiant VMC 11, Rev. Materiale de Construcții, nr.2, București, 1989.
128. Popescu, G., Ifrim, S., Bălăsoiu, H., Anghel, I., Muntean, M. - Influența aditivilor superfluidificatori asupra pastelor și mortarelor de ciment, Rev. Materiale de Construcții nr.1, București, 1980.
129. Preiss, H., Sasse, H.R. - Some New Information on Mix-Propportioning of Low-Viscosity-Mortars, V. /3/.
130. Quan, D., H., Malhotra, V.M. - Effect of Superplasticizers on Slump, Strength and Degree of Conversion of High-Alumina Cement Concrete, v. /1/.
131. Rama Chandran, V.S. - Effect of Retarders /Water Reducers on Slump / Loss in Superplasticized Concrete, v. /1/.

132. Remedier, C. - Béton prêt à l'emploi et adjuvants, v./19/.
133. Ramakrishnan, V. - Workability and Strength of Superplasticized Concrete, v./3/.
134. Ramakrishnan, V., Coyle, W.V., Kopac, F.A., Pasko, Jr. P.J. - Performance Characteristics of Steel Fiber Reinforced Superplasticized Concrete, v./1/.
135. Rener, C., Zăicescu, D.C. - Accelerarea întăririi betonului din elemente prefabricate prin acțiunea combinată a superplastifiantilor și a aerului cald, Rev. Materiale de Construcții, nr.4, București, 1984.
136. Rixom, M.R., Weddick, J. - Role of Lignosulfonates as Superplasticizers, v./1/.
137. Roberts, L.R. - Cure Temperature Reduction by the Use of High-Range Water Reducing Admixtures, v./1/.
138. Roberts, L.R., Schaeiner, P. - Air Void System and Frost Resistance of Concrete Containing Superplasticizers, v./1/.
139. Ryan, W.G., Munn, R.L. - Some Recent Experiences in Australia with Superplasticizing Admixtures, v./2/.
140. Săftoiu, G., Ionescu, I., Florea, L., Panu, L., Ciobanu, G., Popescu, R. - Experimentări efectuate la TCM Prahova pentru realizarea elementelor prefabricate (panouri mari) cu folosirea superplastifiantilor VIMC 11 și VIMC 22, Rev. Materiale de Construcții, nr.4, București, 1981.
141. Schäffer, H. - Zusätze zu Beton, Beton Steinzeitung, nr.9, 1970.
142. Seabrook, P.T., Molhotra, V.M. - Accelerated Strength Testing of superplasticized Concrete and the Effect of Repeated Doses of Superplasticizers on Properties of Concrete, v./3/.
143. Shilstone, J.M. - Concrete Strength Loss and Slump Loss in Summer, Rev. Concrete Construction, Vol.27, nr.5, May, 1982.
144. Soshiroda, T. - Segregation Characteristics of Concrete Containing a High Range Water - Reducing Admixture, v./1/.
145. Sprinkel, M.M. - Super Water Reduced Concrete Pavements and Bridge Deck Overlays, v./2/.
146. Suma, C., Cotuna, I. - Utilizarea plastifiantilor și superplastifiantilor pe șantierele din județul Timiș, Schimb de experiență a laboratoarelor din construcții, ediția a VI-a, Suceava, oct.1989.
147. Stăfănescu, G.A. - Incercările mortarului și materialelor componente, Editura Tehnică, București, 1983.

148. Ratu, D. - Betoane cu adaos de cenuşă pentru ecrane de etanşare, Rev.Materiale de Construcţii, nr.2, Bucureşti, 1986.
149. Ratu, D. - Urele rezultate privind betonul pompat cu adaos de cenuşă şi aditiv superplastifiant, Rev.Materiale de Construcţii, nr.4, Bucureşti, 1983.
150. Teoreanu, I., - Bazele tehnologiei lianţilor, Editura Tehnică, Bucureşti, 1975.
151. Teoreanu, I. - Consideraţii teoretice şi experimentale asupra folosirii aditivilor fluidifianţi în betoane, Rev.Materiale de Construcţii, nr.1, Bucureşti, 1980.
152. Teoreanu, I.-Tehnologia betoanelor şi azbocimentului, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1977.
153. Teoreanu, I., Moldovan, V. - Consideraţii teoretice şi date experimentale privind mecanismul de acţiune al aditivilor superfluidifianţi în beton, Rev.Materiale de Construcţii, nr.2, Bucureşti, 1983.
154. Teoreanu, I., Moldovan, V., Georgescu, M., Muntean, M., Puri, A. - Bazele fizico-chimice ale întăririi lianţilor anorganici, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1972.
155. Teoreanu, I., Moldovan, V., Nicolescu, L. - Durabilitatea betonului, Editura Tehnică, Bucureşti, 1982.
156. Terteza, I., Oneţ, T. - Verificarea calităţii construcţiilor de beton armat şi beton precomprimat, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1977.
157. Tokuda, H., Shoya, M., Kawakami, M., Kagaya, M. - Application of Superplastizer to Reduce drying Shrinkage and Thermal Cracking of Concrete, v./1/.
158. Trelea, A. - Tehnologia lucrărilor de construcţii, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1977.
159. Tripşa, I.- Utilizarea superplastifiantilor în tehnologia betonului şi prefabricatelor - o temă actuală, Rev. Materiale de Construcţii, nr.1, Bucureşti, 1980.
160. Veicum, A. - Studiul reologic al corpurilor solide, Editura Academiei Române, Bucureşti, 1978.
161. Valore, R., Kudrenski, W., Gray, L.E. - Application of High-Range Water - Reducing Admixtures in Steam - Cured Cement Fly Ash Concretes, v./3/.
162. Velicea, P. - Curs de materiale de construcţii şi instalaţii, vol.I, IPTV Timişoara, 1982.
163. Velicea, P. - Curs de materiale de construcţii şi instalaţii, vol.II, IPTV Timişoara, 1985.

164. Vișă, I., Bratu, V. - Pompe de beton, Editura Tehnică, București, 1985.
165. Voina, K. - Materiale de construcții, Editura Tehnică, București, 1974.
166. Voina, K. - Teoria și practica utilizării cenușilor de la centralele termoelectrice, Editura Tehnică, București, 1981.
167. Yoshida, H., Kasami, H., Suzuki, S., Takahashi, T., Yoshioka, Z. - On Workability and Pumpability of Superplasticized Concrete with Large Size Aggregate, v./1/.
168. x x x Cl.II, Conferința a VIII-a de Betoane, betoane speciale și noi tipuri de betoane, vol.I,II,III, Cluj-Napoca, 1977.
169. x x x Extinderea domeniului de utilizare a aditivilor în betoane. Aditivi indigeni pentru betoane grele și ușoare. Fazele I/1983, II/1984, III/1984. Referat final de sinteză, cu recomandări privind utilizarea aditivului P4 la prepararea betoanelor de ciment. Contract nr. 936/1982, ICCPDC, Fil. Timișoara, contract nr. 181/1982, IPTV Timișoara, 1983-1984.
170. x x x Extinderea utilizării în practică a aditivilor pentru betoane, în primul rând a aditivilor cu caracter complex, Contract nr.2651/1984, ICCPDC, București, 1984.
171. x x x INCERC, Prognoza dezvoltării științei și tehnologiei în domeniul construcțiilor în perioada 1981-2000, București, 1975.
172. x x x INCERC, Prognoza dezvoltării științei și tehnologiei în domeniul beton și construcții de beton armat în perioada 1981-2000, București, 1975.
173. x x x Instrucțiuni tehnice provizorii pentru folosirea superplastifiantilor VIMC11 și VIMC 22 la prepararea betoanelor și realizarea elementelor prefabricate, MBFMC-ICPmC, București, 1981.
174. x x x Instrucțiuni tehnice provizorii pentru folosirea superplastifiantului VIMC 11 la prepararea betoanelor și realizarea elementelor prefabricate, Indicativ CD 137-81, MBFMC-ICPmC, București, 1982.
175. x x x Instrucțiuni tehnice pentru utilizarea superplastifiantului FLUBET la prepararea betonului de ciment, Indica-

- ativ C 211-82, Buletinul Construcțiilor nr.9, București, 1982.
176. x x x Instrucțiuni tehnice pentru execuția lucrărilor de reparare a drumurilor cu beton fluidificat cu aditiv FLOBER, Indicativ CD 146-84, Buletinul Construcțiilor, nr.5, București, 1985.
177. x x x Instrucțiuni tehnice și tehnologice pentru prepararea betoanelor utilizate la realizarea elementelor prefabricate, Indicativ JD 137/1-89, MILMO-ICPMO, București, 1989.
178. x x x Metodă pentru testarea aditivilor superplastifianți; Formă internă I.CERC-București, 1984.
179. x x x Noi materiale eficiente utilizate la prepararea betoanelor, Faza II/1986, Contract nr.121/1985, IPTV-Timișoara, TAGCI-Timișoara, 1986.
180. x x x Normativ pentru executarea lucrărilor din beton și beton armat, Indicativ C 140-79, Buletinul Construcțiilor, nr. 12, București, 1979.
181. x x x Normativ pentru executarea lucrărilor din beton și beton armat, Indicativ C 140-86, Buletinul Construcțiilor, nr. 12, București, 1986.
182. x xx Normativ pentru încercarea betonului prin metode nedistructive, Indicativ C 26-85, Buletinul Construcțiilor, nr.8, București, 1985.
183. x x x Procedee și soluții noi pentru reducerea consumului de materiale și pentru mărirea gradului de industrializare a lucrărilor de construcții civile. Teme I. Folosirea superplastifianților indigeni la prepararea mortarelor și betoanelor. Asigurarea de asistență tehnică în producție, Fazele I/1987, II/1988, Contract nr.81/1987, IPTV Timișoara, TAGCI-Timiș, Timișoara, 1987.
184. x x x RILEM. Colloque international sur les adjuvants des mortiers et bétons, Bruxelles, 1967.
185. x x x Standard specification for Chemical Admixtures for Concrete, C 494-1980, ASTM, Committee C-9 on Concrete Aggregates, Originally Published as C 494-62, July, 1980.
186. x x x STAS 1799-91. Construcții de beton, beton armat și beton precomprimat, Prescripții pentru verificarea calității materialelor și betoanelor destinate executării lucrărilor de construcții din beton, beton armat și beton precomprimat, 1981.

187. x x x STAS 1275-01-Incercări de laborator ale betoanelor. Incercări pe betonul întărit. Determinarea rezistențelor mecanice, 1981.
188. x x x STAS 2412-72-Incercări de laborator ale betoanelor. Determinarea densității, compactității, porozității, 1972.
189. x x x STAS 3518-66 - Incercări de laborator ale betoanelor. Determinarea rezistenței la îngheț-dezgheț, 1968.
190. x x x STAS 3519-76 - Incercări pe betoane. Verificarea impermeabilității la apă, 1976.
191. x x x STAS 5479-67 - Incercări de laborator ale betoanelor. Determinarea volumului de aer din betonul proaspăt, 1967.
192. x x x STAS 5511-71 - Incercări de laborator ale betoanelor. Determinarea aderenței dintre beton și armături. Metoda prin smulgere, 1971.
193. x x x STAS 5501 -71 - Incercări de laborator ale betoanelor. Determinarea rezistenței la uzură prin frecare, 1981.
194. x x x STAS 5585-71 - Incercări de laborator ale betoanelor. Determinarea modulului de elasticitate la compresiune, 1971.
195. x x x Testarea unor noi tipuri de aditivi plastifianți pentru prepararea mortarelor și betoanelor, Contract nr.129/1982, IPTV Timișoara, TAGCM Timiș, Timișoara, 1982.
196. x x x Testarea unor noi tipuri de aditivi plastifianți pentru mortare și betoane. Faza de experimentare în producție, Contract nr.154/1985, Faza I/1985 și Faza II/1985, IPTV Timișoara, TAGCM-Timiș, Timișoara, 1985.