

UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII ȘI ARHITECTURĂ

TEZA DE DOCTORAT

**BETOANE DE MARE
REZISTENȚĂ**

369^{642.451}
E

AUTOR:
ING. SUZANA DANA FRATUT

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:
PROF. DR. ING. CORNELIU BOB

CAPITOLUL I

1.1 Istoric

Liantii, ca materiale de constructii, au fost cunoscuti din cele mai vechi timpuri.

Nu se cunoaste data precisa a descoperirii lor dar se poate presupune ca ea a urmat la putin timp dupa folosirea rationala a focului. Asirienii si babilonienii au folosit ca material liant argila batatorita si bitumul. Se pare ca tot ei au fost primii care au folosit varul ca element de legatura.

Primul material liant a fost ipsosul obtinut prin arderea pietrei de ghips. Imediat dupa ipsos a aparut varul aerian, obtinut prin calcinarea la temperaturi ridicate ale calcarelor. Egiptenii au folosit la constructia piramidelor materiale liante pe baza de sulfat de calciu, care aveau si caracter hidraulic.

Astfel la constructia piramidei "ABU ROASCH" (3500 I.Ch.) s-a folosit un material hidraulic care avea urmatoarea compozitie chimica: 80% CaSO_4 ; 10% CaCO_3 ; 4% argila; 2-3% Fe_2CO_3 ; Al_2O_3 si apa.

La constructia templului lui Solomon s-a folosit var amestecat cu praf de caramida arsa. Folosirea cenusilor vulcanice este semnalata pentru prima oara la constructiile romane din timpul razboaielor punice.

Prima lucrare stiintifica in care se atingeau problemele formarii si intariri citorva lianti cunoscuti in acest timp este opera "De architectura libri decem" a lui Marcus Vitruvius Pollio aparuta in anul 13 I.Ch. In aceasta carte, apare pentru prima oara mentionata utilizarea pamanturilor de Puteoli-puzzolanele de astazi.

Cu pamanturile puzzolanice au fost construite Pantenonul, Coliseul, Basilica Constantin, care au supravietuit pina in zilele noastre.

In perioada ce a urmat- sec.II-XVIII- nu s-au facut descoperiri importante.

Spre sfirsitul acestei perioade apar manuale de tehnologie generala care cuprindeau si capitole despre lianti.

Astfel in Franta Belidor (1698-1761) mentioneaza in anul 1729 un amestec de diferite tipuri de var cu nisip si apa, care poseda bune proprietati de intarire.

Tot in aceasta perioada Lorient (1744) mentioneaza utilizarea unui amestec de var stins cu var nestins in pulbere si nisip sau praf de caramida. Concomitent cu

proprietatiile mecanice foarte bune ale acestui tip de amestec se mentioneaza si proprietatea de a se intari sub apa, cu alte cuvinte se mentioneaza proprietatea de intarire hidraulica.

In anul 1767 ing. englez John Smeaton a utilizat pentru constructia unui far un var hidraulic amestecat in proportie egala cu pamant puzzolanic de Civitta Vecchia de linga Roma.

In 1796 Josef Parcker a obtinut in Anglia primul patent pentru fabricarea unui fel de var hidraulic natural, pe care l-a denumit "ciment roman", obtinut prin macinarea produsului de calcinare a unor roci argilo-calcaroase.

Denumirea de ciment provine de la latinescul "cedero". Romanii denumeau constructia peretilor din piatra fasonata prin cuvintul "caementa" sau "caementicae" structura". Cind Lorient a tradus opera lui Plinius, cuvintul "caementa" l-a tradus prin cuvintul "cimentre".

In 1810 Edgar Dobbs obtine in Anglia un patent pentru fabricarea unui ciment roman artificial prin arderea unui amestec de calcar si argila.

In 1812 ing. Vicat, in Franta, pune la punct fabricarea unui var hidraulic artificial.

In 1822 Frost patenteaza un "ciment britanic" obtinut prin calcinarea unui amestec de materii prime care nu este, de fapt, decit varul hidraulic macinat.

Tot in acest an apare la Petersburg "Tratatul despre arta fabricarii mortarelor bune de constructii" a profesorului Charleville.

In anul 1824 Joseph Apsdin patenteaza un nou aglomerat hidraulic sub denumirea de ciment Portland, descriind astfel procedeul: calcarul ars si stins este amestecat intr-o pasta cu o anumita cantitate de argila cu ajutorul apei; masa plastica este uscata, apoi e sparta in bucati si arsa intr-un cuptor de var, produsul rezultat este transformat in pulbere prin macinare. Acest patent este considerat ca actul de nastere al cimentului Portland.

Acest ciment "Portland al lui Apsdin" cit si "cimentul britanic" nu erau cimenturi Portland in adevaratul inteles al cuvintului de astazi, deoarece calcinarea materiei brute nu ajungea pina la vitrefiere.

Importanta vitrefierii a fost recunoscuta 20 de ani mai tirziu in 1844 de catre fabricantul Isaac Charles Johnson, adevaratul descoperitor al cimentului Portland.

Dupa aceasta a urmat perioada de incheiere a industriei cimentului pe plan mondial.

Din Anglia fabricarea cimentului Portland a trecut in Franta si Germania. In 1857 se construiesc prima fabrica in Rusia iar in 1860 in Dalmatia si in 1875 in SUA, industria cimentului luand in scurt timp o foarte mare dezvoltare.

In 1875, in Germania, se propune pentru prima oara instituirea unor "norme" a unui "modus" dupa care sa fie incercate cimenturile.

In Noiembrie 1878 aceste norme sunt aprobate oficial de catre Ministerul Lucrarilor Publice din Germania, devenind obligatorii. In Anglia primele norme oficiale sunt statutate abia in 1904.

Dupa primul razboi mondial industria cimentului cunoaste o dezvoltare vertiginoasa, determinata in mare masura si de aparitia betonului armat, care imbunatateste substantial proprietatile de rezistenta la incovoiere si compresiune ale elementelor de beton.

Desigur toate aceste progrese au fost posibile numai datorita lucrarilor efectuate de oamenii de stiinta din intrega lume, care au elucidat o serie de probleme legate de chimia liantilor in general si chimia cimentului Portland in special. Printre acestia se numara Henry Le Chatelier, care poate fi considerat ca parintele chimiei cimentului.

Acesta a fost primul care a semnalat caracterul heterogen al clincherului de ciment, din punct de vedere al compozitiei mineralogice. A emis teoria cristalina cu privire la intarirea liantilor.

A.E.Tornebohm, in 1897, a identificat 4 constitienti mineralogici ai clincherului de ciment, denumindu-i : alit, belit, celit si felit.

W.Michaelis a emis teoria coloidala a intaririi cimentului Portland.

A.H.White, in 1909, W.Emlay in 1905, au perfectat metoda de determinare a CaO liber.

A.F.Guttman si F.Gille au descris pentru prima oara caracteristicile compusilor mineralogici studiatii microscopic in sectiuni subtiri. Au stabilit compozitia mineralogica completa a clincherului de ciment.

R.H.Bogue (1929) a elaborat pentru prima oara o metoda de calcul a compozitiei mineralogice a clincherului de ciment pe baza compozitiei chimice.

G.A.Rankin (1915) a elaborat diagrama de faza $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ importanta pentru chimia cimentului.

V.F.Juravliev(1938) a elaborat teoria asupra periodicitatii proprietatiilor hidraulice.

B.Tavasci (1940) introduce studiul pe sectiune slefuita (in lumina reflectata) a cimentului.

Dintre cercetatorii romani in acest domeniu s-a remarcat prof. A.Steope, autorul metodei care ii poarta numele pentru determinarea activitatii adaosurilor hidraulice si prof. S.Solacolu, cunoscut pentru clasificarea modulara a cimentului Portland si mai ales pentru studiile facute in domeniul zgurilor de furnal.

Primele referiri la fabricarea varului hidraulic in tara noastra mentioneaza perioada anilor 1876-1878, iar a cimentului Portland in 1890. Fabricile de var hidraulic au fost amplasate, in general, pe Valea Prahovei , in 1876 la Comarnic, in 1894 la Azuga, in 1896 la Sinaia.

Prima fabrica de ciment este construita intre anii 1889-1890 in comuna Izlaz (jud Braila) de catre ing. I.G.Cantacuzino.

Fabrica era aprovizionata cu materii prime din Dobrogea, iar cu carbuni din Anglia.

Capacitatea de productie a acestei fabrici era de 3000 vagoane annual, avand 10 cuptoare verticale. A doua fabrica este construita in 1896 la Azuga, iar in 1908 se construiesc fabrica de la Cernavoda.

Cuptorul rotativ este introdus la noi in tara in anul 1908, la fabrica de var din Comarnic. Drept combustibil s-a utilizat pacura (pentru prima oara in lume).

Primul razboi mondial a intrerupt dezvoltarea industriei de ciment, care si-a reluat activitatea abia intre anii 1919-1921.

La inceputul anului 1923 existau in Romania 11 fabrici de ciment cu o capacitate totala de 406.000 t/an.

In 1939 in tara noastra functionau 19 cuptoare rotative si 6 cuptoare verticale, productia de ciment fiind de 116 t clincher/ora.

In 1975 erau in functiune 59 cuptoare rotative cu o capacitate totala de peste 12 milioane tone clincher.

Dezvoltarea industrială implica largirea in continuare a cercetarilor si a sferei de cunoastere. Desi in domeniul chimiei liantilor s-au facut progrese remarcabile, totusi se impun studii adancite pentru cunoasterea legitatilor aparitiei proprietatilor liante, a modului de influentare a acestor proprietati si, pe aceasta baza, sa se obtina atat sorturi imbunatatite ale unor lianti cunoscuti, cat si noi lianti cu proprietati speciale.

Pentru a ilustra dezvoltarea industriei cimentului in secolele XIX si XX indicam in continuare productia cuptoarelor de clincher care au fost de 5 tone/zi in anul 1840; 30 tone/zi in anul 1890; 500 tone/zi in anul 1950; 3000 tone/zi in anul 1975, existind si proiecte japoneze de cuptoare de clincher de 10.000 tone/zi in anul 1976.

Productia mondiala de lianti hidraulici in principal ciment, fiind in anul 1990 de cca. 900 milioane tone/an, estimandu-se pentru anul 2000 un necesar de peste 1200 milioane tone/an.

Consumul de ciment in tarile europene a fost in anul 1991 de 487 kg/locuitor (cu variabilitate de la 231 pina la 1200 kg/locuitor).

De asemenea, incepind cu anii celui de al doilea razboi mondial, au inceput sa se foloseasca ca lianti suplimentari in beton sau ca lianti ce inlocuiesc complet cimentul unele produse organice naturale sau sintetice, monomeri sau polimeri, astfel ca in prezent gama produselor minerale si organice folosite ca lianti pentru betoanele utilizate in diferite scopuri este foarte mare[1;2;3;]

1.2 Nomenclatura si clasificare

Prin notiunea de lianti se inteleg acele materiale pulverulente care, prin amestecare cu apa sau cu solutiile apoase ale unor saruri, dau o pasta plastica care cu timpul se intareste, transformandu-se intr-un corp rigid cu aspectul unei pietre.

La baza acestei transformari stau procesele fizice si chimice care au loc in urma reactiei liantului cu apa .

Din cele aratate mai sus rezulta ca notiunea de lianti include o gama foarte larga de de materiale, de aici necesitatea de clasificare a acestora. Exista numeroase criterii de clasificare a liantilor.

Cel mai simplu si cel mai cunoscut tip de clasificare este acela care imparte liantii dupa capacitatea lor de a se intari, in aer sau sub apa [4], ca in tabelul 1.1.1:

<u>Nehidraulici sau Aerieni</u>	Naturali	Argile
Se intaresc numai in mediu uscat, iar dupa intarire nu rezista la actiunea apei	Artificiali	Var gras Ciment magnezian Lianti pe baza de ghips
<u>Hidraulici</u>	Unitari	Neclincherizati Clincherizati
Se intaresc in mediu umed sau chiar in apa iar dupa intarire rezista la efectul dizolvant al apei	Micsti	Ciment Portland cu adaosuri active Var gras cu adaosuri active

Tabelul 1.1.1

Aceasta clasificare este nesatisfacatoare deoarece ignora complet compozitia chimica precum si procesele chimice care stau la baza intaririi.

I.S.Kogan [80] a propus drept criteriu de clasificare compozitia produsului final. Conform acestei clasificari deosebim :

- ❖ Lianti care se intaresc sub forma de hidrosilicati de calciu (ciment Portland, varurile hidraulice)
- ❖ Lianti care se intaresc sub forma de hidroaluminati de calciu (cimentul aluminos)
- ❖ Lianti care se intaresc sub forma de sulfat de calciu dihidratat (ipsosurile)
- ❖ Lianti care se intaresc sub forma de hidroxid de calciu si carbonat de calciu (varul)
- ❖ Lianti care se intaresc sub forma de hidrat si combinatii complexe cu apa ale oxidului de magneziu.

Reprezentarea liantilor in una din aceste categorii se face luand in considerare preponderenta cantitativa a liantului intarit a unuia din compusii de hidratare.

O clasificare bazata pe procesele chimice si fizico-chimice care au loc la intarirea liantiilor a fost compusa de Juravliev [5].

Potrivit acestor criterii el clasifica liantii in 7 grupe :

- ❖ Clincher
 - Ciment Portland
 - Ciment roman
 - Ciment aluminos
- ❖ Magnezian
 - Ciment Sorel
- ❖ Ipsos
 - Ipsosul de constructii
 - Cimentul de anhidrit
 - Ipsosul de pardoseala
- ❖ Var
 - var aerian
- ❖ Puzzolane
 - lianti pe baza de var cu puzzolane
- ❖ Cu zgura
 - var-zgura
 - Ipsos –zgura
- ❖ Combinat
 - cimenturi Portland mixte.

Acest sistem de clasificare, desi corect din punct de vedere stiintific, prezinta anumite deficiente, in sensul ca plasarea liantilor in una din categoriile mentionate nu exclude existenta si a altor tipuri de reactii specifice altei grupe; in ultima instanta plasarea facandu-se ca si in cazul anterior dupa preponderenta timpului de reactie, in timpul procesului de intarire.

Standardele romanesti au adoptat o clasificare mai completa care ia in considerare in mod simultan mai multe criterii (tabelul 1.2.1).

nehidraulici	Cu baza de CaSO ₄		Ipsosuri cu continut predominant de semihidrat Ipsosuri anhidritice (obtinute la temperaturi ridicate)
	Cu baza de MgO		Ciment de oxiclorigura de magneziu (Sorel)
	Cu baza de CaO		Var gras Var dolomitic Var magnezian Var carbonat
hidraulici	unitari	neclincherizati	Var hidraulic Var roman
		clincherizati	<u>Silicati</u> Ciment Portland Ciment Portland cu 15% adausuri Ciment de sonde Ciment Portland alb Ciment de baraje Ciment maritim <u>Aluminosi</u> Ciment aluminos
		micsti	Pe baza de ciment Portland Pe baza de var Pe baza de ipsos Pe baza de zgura granulata

Tabelul 1.2.1.

Aceste criterii sunt:

- natura chimica si mineralogica a liantiilor;
- capacitatea de intarire in diferite medii;
- procesele fizico-chimice care au loc in timpul intaririi.

O clasificare mult mai utilizata pentru liantii hidraulici, in special pentru cimenturi, este clasificarea dupa marca sau clasa acestora. Marca sau clasa reprezinta rezistenta minima (sau medie in anumite norme) in N/mm^2 , kgf/cm^2 sau daN/cm^2 determinata printr-o anumita metoda de incercare in conditii standardizate, in general la 28 zile.

Pentru cimenturi cu intarire rapida se standardizeaza si rezistentele la 1-3 zile in functie de metoda de incercare utilizata [1;6]

Dupa aceasta clasificare avem urmatoarele clase de ciment :

- a) Pe baza normelor in vigoare pina in prezent, P35; P40; P55; Pa35; M30; F25 etc.
- b) Prin norma Europeana ENV 197-1/92 cimenturile se clasifica in 5 tipuri de la I-V, iar clasele de rezistenta sunt 32.5; 42.5; 52.5, conform tabelelor 1.2.2, 1.2.3. si 1.2.4 .

ECHIVALENTA APROXIMATIVA A CIMENTURILOR PRODUSE CONFORM S. R. CU CIMENTURILE STAS

Nr. Crt	Cimenturi produse conform S. R		Echivalent aproximativ cu ciment	
	TIP	S. R	TIP	STAS
1	II B- S 32,5	1500	M 30	1500
2	II A – S 32,5		Pa 35	
3	I 42,5	388	P 40	388
4	I 42,5 R		P 50 (P 45)	
5	H I 32,5	3011	H 35	3011
6	H II / A- S 32,5		Hz 35	
7	SR I 32,5	3011	SR 35	3011
	SR II / A- S 32,5		SR A 35	

Tabel 1.2.2.

OBSERVATII:

- 1) Echivalenta din punct de vedere al rezistentelor este acoperitoare numai in sensul in care cimenturile se produc cu realizarea conditiei de clasa conform S. R.

- 2) In sens invers, daca cimenturile se produc cu rezistente corespunzatoare “marcii” STAS, atunci echivalenta este descoperitoare in cazul cimentului M 30 si fortata (la limita) pentru cimenturile de “marca” 35.

TIPURI DE CIMENT CONFORM STANDARDELOR PROFESIONALE S.P.

TIP CIMENT	SORTUL DE CIMENT	STANDARD PROFESIONAL SP	ADAOS SAU/ SI ADITIV		CLASE DE REZISTENTA
			TIP	%	
Pc	Ciment Portland cu adaos de calcar	SP 1: 1994	Calcar	Max. 20	32,5; 42,5; 32,5 R; 42,5 R.
Pcd	Ciment Portland cu adaos de calcar dolomitic		Calcar dolomitic	Max. 20	
Ps	Ciment Portland cu adaos de scorie	SP 2 : 1994	Scorie bazaltica	Max. 15	32,5; 32,5 R.
Pt	Ciment Portland cu adaos de tuf		Tuf conf. STAS 4240-86	Max. 25	
BS 12- 78	Ciment Portland	SP 3 : 1995	-	-	32,5
I – A	Ciment Portland aditivat	SP 5 : 1995	Romantan NSF	0,4- 0,5	42,5; 52,5; 42,5 R; 52,5 R.
H _z – A	Ciment hidrotehnic aditivat	SP 6 : 1995	Zgura + romantan NSF	35- 40 0,3- 0,4	42,5; 52,5; 42,5 R; 52,5 R.
CD	Ciment pentru drumuri cu adaos	SP 7 : 1995	Zgura	Max. 40	32,5
CD – A	Ciment pentru drumuri cu adaos aditivat	SP 8 : 1995	Zgura + romantan NSF	40 0,3- 0,4	42,5; 52,5; 42,5 R; 52,5 R.

Tabel 1.2.3

Legenda : A – aditivat; R - rezistenta initiala mare.

Clasa echivalenta – conditia de rezistenta din standardul SF 3 : 1995, fiind cea prevazuta in B. S. – 12- 78.

TIPURI DE CIMENT CONFORM STANDARDELOR NATIONALE S.R.

TIP	SORT	SR	ADAOS		CLASE DE REZISTEN TA
			%	TIP	
CIMENT PORTLAND (FARA ADAOS)					
I	Ciment Portland	Sr 388	-	-	32,5; 42, 5; 52,5; 32,5 R; 42,5 R; 52,5 R.
CIMENTURI COMPOZITE (CU ADAOS)					
II A- M	Ciment Portland compozit	SR 1500	6 ÷ 20	Amestec de : zgura, cenusa puzzolana, calcar	32,5; 42,5; 52,5; 32,5 R; 42,5 R; 52,5 R
II A- S	Ciment Portland cu zgura			Zgura granulata de furnal	
II A- V	Ciment Portland cu cenusa			Cenusa de termocentrala	
II A- P	Ciment Portland cu puzzolana naturala			Trass	
II A- L	Ciment Portland cu calcar			Calcar	
II B- M	Ciment Portland compozit	SR 1500	21 ÷ 35	Amestec de : zgura, cenusa puzzolana, calcar	32,5; 42,5; 32,5 R: 42,5 R.
II B- S	Ciment Portland cu zgura			Zgura granulata de furnal	
II B- P	Ciment Portland cu puzzolana naturala			Trass	
II B- L	Ciment Portland cu calcar			Calcar	

III A	Ciment de furnal	SR 1500	36 ÷ 65	Zgura granulata de furnal	32,5; 32,5 R.
IV A	Ciment puzzolanic	SR 1500	11 ÷ 35	Puzzolana si cenusa	32,5; 42,5; 32,5 R.
V A	Ciment compozit	SR 1500	18 ÷ 30	Zgura granulata de furnal + puzzolana + cenusa	32,5; 32,5 R.
CIMENTURI HIDROTEHNICE					
HI	Ciment fara adaos	SR 3011	-	-	32,5; 42,5; 52,5.
H II/ A- S	Ciment cu zgura		6 ÷ 20	Zgura granulata de furnal	
H II/ B- S			21 ÷ 35		
H III/ A			36 ÷ 65		
CIMENTURI REZISTENTE LA SULFATI					
SR I	Ciment fara adaos	SR 3011	-	-	32,5; 42,5; 52,5
SR II/ A- S	Ciment cu zgura		6 ÷ 20	Zgura granulata de furnal	
SR II/A- P	Ciment cu puzzolana		6 ÷ 20	Puzzolana naturala	
SR II/B- S	Ciment cu zgura		21 ÷ 35	Zgura granulata De furnal	
SR III/A	Ciment cu puzzolana		36 ÷ 65		

Tabel 1.2.4.

Rezistenta cimentului la diferite termene de incercare (2; 7; 28 zile) si deci clasa (marca) cimentului difera si in functie de metoda standardizata si utilizata in fiecare tara pentru verificarea caracteristiciilor mecanice ale cimentului.

Astfel un ciment cu o rezistenta corespunzatoare clasei P40 sau P42.5 conform standardizarii romane (227/6 care este apropiata de ENV 196-1) va avea o rezistenta mai mare daca va fi incercat dupa standardele actuale din Rusia, pentru

ca același ciment, încercat după metodologia utilizată în SUA, să aibă o rezistență mai mică.

Aceasta deoarece cu toate eforturile făcute în anii de după al doilea război mondial, nu s-a ajuns încă la utilizarea pe plan mondial a unei singure metode de încercare a cimenturilor.

În prezent sunt folosite în diferite țări metode de încercare a cimenturilor ce diferă sensibil una de alta sub aspectul nisipului standard, raportului A/C, utilajelor de preparare și compactare a mortarelului standard, tipului epruvetelor pentru încercări etc. (tabelul 1.2.5).

Caracteristicile principale ale metodei	Țara sau organizația internațională ce a standardizat și indicativul metodei				
	S.U.A.: ASTM C109-77	Anglia: BS4550 partea 3-a-78	Rusia: GOST 3104-76	ISO-CEMBUREAU:CEM RILEM R679: ENV 196-1	Japonia: Jis 5201-77
Ciment/nisip	1/2,75	1/3	1/3	1/3	1/2
$P_w/ciment$	$P_w=0,485$ $AEP=0,460$	0,40	0,40	0,50	0,65
Natura nisipului utilizat	Silicios de Ottawa	Silicios	Silicios	Silicios, având granulele rotunjite	Silicios
Granulozitatea (mm)	0,15-0,60	0,60-0,85 max. 10% sub 0,60	0,50-0,90	0,08-2,00	0,10-0,30
Dimensiunea epruvetelor de încercare (cm)	5 x 5 x 5	7 x 7 x 7	4 x 4 x 16	4 x 4 x 16	4 x 4 x 16
Compactarea epruvetelor	Baterie manuală	Pe masa vibrantă	Pe masa vibrantă	Pe masa de șoc	Baterie manuală
Modul de încercare	Compreziune	Compreziune	Încovoiere și compreziune pe jumătăți de prismă	Încovoiere și compreziune pe jumătăți de prismă	Încovoiere și compreziune pe jumătăți de prismă
Țările care aplică metoda	S.U.A., Canada, Mexic, Columbia, Venezuela, Filipine, Taiwan, Taiwan	Anglia, Egipt, Ghana, Nigeria, Republica Sud Africană, Zambia, Zimbabwe, Jamaica, India, Irak, Israel, Pakistan, Singapore	Rusia, Ucraina, Belarus, alte țări din C.S.I.	România, Maroc, Algeria, Tunisia, Argentina, Costa-Rica, Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Chile, Cuba, Paraguay, Sri Lanka, Belgia, Bulgaria, Cehoslovacia, Danemarca, Finlanda, Franța, Germania, Grecia, Islanda, Irlanda, Italia, Luxemburg, Olanda, Norvegia, Polonia, Portugalia, Ungaria, Spania, Suedia, Turcia și Jugoslavia	Japonia

Tabel 1.2.5.

În practica de zi cu zi neluarea în considerare a diferențelor dintre metodele de încercare a cimentului utilizate în fiecare țară poate să creeze dificultăți șantierelor ce execută lucrări de construcții în străinătate.

1.3 Cimentul Portland

Cimentul Portland este liantul mineral de cea mai largă întrebuintare datorită proprietăților sale chimice și fizico-mecanice deosebite.

Prin compoziția și prin caracteristicile sale, cimentul Portland este de mai multe tipuri.

Cimentul Portland obtinut prin macinare fina, cu un adaos de ghips sau alte substante, a clincherului rezultat din arderea pina la vitrefiere a unui amestec natural sau artificial de calcar si argila, sau alte materii prime de compozitie asemanatoare. El este, deci, un liant multicomponent.

1.3.1 Compozitia clincherului de ciment

1.3.1.1 Compozitia chimica

Din punct de vedere chimic in compozitia clincherului de ciment intra urmatorii compusi : CaO ; SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 ; Na_2O ; K_2O ; SO_3 ; TiO_2 ; MgO ; P_2O_5 etc.

Compozitia chimica medie a clincherului de ciment Portland este in general urmatoarea :

CaO -	63-67%
SiO_2 -	21-24%
Al_2O_3 -	4-7%
Fe_2O_3 -	2.5-4%
MgO -	max 6%
SO_3 -	max 3%
Metale alcaline –	max 1%.

Dupa cum rezulta din datele de mai sus, componentii oxidici importanti ai clincherului de ciment Portland sunt : CaO ; SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 , ei constituind cam 95-97% din compozitia oxidica a clincherului.

Ca urmare, influenta acestora asupra clincherului este hotaritoare.

CaO - este componentul cel mai important atit sub aspect cantitativ cit si calitativ. Cresterea continutului in CaO determina :

- cresterea rezistentelor mecanice ale cimenturilor
- accelerarea procesului de priza
- cresterea temperaturilor de ardere a clincherului

Continutul de CaO nu poate depasi o anumita limita, determinata de ceilalti oxizi (SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3).

Depasirea acestei limite ar duce la existenta in clincherul de ciment a CaO sub forma libera, necombinata, care determina asa numita inconstanta de volum a cimenturilor. Aceasta se datoreste faptului ca procesul de hidratare a CaO are loc dupa procesul de intarire a cimentului si aceasta hidratare are loc cu o marire considerabila a volumului, ducind la aparitia de tensiuni interne, care de cele mai

multe ori depasesc rezistentele mecanice ale cimentului intarit determinand in final distrugerea pieselor.

SiO constituie, de asemenea, un component important al clincherului de ciment. El se combina cu CaO formind silicati de calciu.

Cresterea continutului de SiO₂ determina scaderea dinamicii de crestere a rezistentelor mecanice ale cimenturilor si de asemenea cresterea duratelor de priza si de intarire.

Al₂O₃ -cresterea cantitatii determina accelerarea proceselor de priza si intarire si determina cresterea caldurii de hidratare.

Fe₂O₃ -cresterea cantitatii determina scaderea temperaturii de aparitie a fazei topite. Cimenturile bogate in Fe₂O₃ se caracterizeaza printr-o stabilitate mai ridicata la apele ce contin sulfati.

MgO- in cantitati care depasesc 5-6% determina aceleasi fenomene ca in cazul CaO liber, adica inconstanta de volum.

TiO₂- continut de obicei in argila se gaseste in clincherul de ciment in cantitatii ce nu depasesc 0.3%

Cercetari mai recente au aratat ca substituirea unei parti a SiO cu TiO₂ in limite de pina la 4-5% duce la cresterea rezistentelor mecanice, datorita faptului ca prezenta acestuia determina o mai buna cristalizare a mineralelor clincherului. Peste aceasta limita determina o scadere a rezistentelor mecanice.

P₂O₅- poate apare ca o impuritate intimplatoare in materiile prime, prezenta acestuia in cantitati de 1-2% determina o incetinire a procesului de intarire a cimenturilor.

L.D. Ersov [7] a aratat ca un continut de 0.2-0.3% de P₂O₅ maresta substantial rezistentele mecanice in primele 24 de h si de asemenea rezistentele la 28 zile.

Oxizii metalelor alcaline (Na₂O, K₂O), continuti de obicei in argila, ajung in clincherul de ciment pina la 0.5-1%, indeosebi K₂O.

Prezenta acestora este nedorita in clincherul de ciment, datorita faptului ca provoaca scaderea rezistentelor mecanice din cauza inrautatirii procesului de cristalizare a constituentilor mineralogici, in special a alitului.

1.3.1.2 Compozitia mineralogica a clincherelor

Din punct de vedere al compozitiei fazale clincherul de ciment este o masa heterogena compusa din mai multe faze :

-faza cristalina, constituita din mai multi constituinti;

-faza vitroasa.

Constituentii mineralogici ce alcatuiesc faza cristalina sunt urmatorii: C₃S, C₂S, C₃A, C₄AF alaturi de cantitati mici de periclaz si oxid de calciu liber.

Silicatul tricalcic C₃S Alitul

Se prezinta sub forma de placute hexagonale sau prisme cu o slaba dubla refractie, cu un clivaj slab dupa o singura directie.

La microscop cu nicolii incrucisati se prezinta cu o culoare cenusie inchisa sau deschisa. Cercetari mai recente arata ca in clincherul de ciment alitul nu se prezinta ca un silicat tricalcic cu formula 3CaOSiO₂, ci ca o compozitie mai complicata datorita includerii in retea cristalina a acestuia a unor mici cantitati de MgO si Al₂O₃.

Dupa Jeffery [8] alitul se prezinta ca o combinatie cu compozitia 54CaO16SiO₂MgOAl₂O₃. Potrivit acestei compozitii, la fiecare 18 molecule de C₃S doi atomi de siliciu sunt inlocuiti cu doi atomi de aluminiu si pentru echilibrarea sarcinilor electrice ale retelei este necesara includerea in compozitia ei a unui atom de Mg.

Compozitia alitului se deosebeste putin de compozitia silicaturii tricalcic, dupa cum urmeaza din datele tabelului de mai jos :

Faza mineralogica Compozitia oxidica	% CaO	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% MgO
C ₃ S	73.69	26.31	-	-
C ₅₄ S ₁₆ AM	75.29	23.27	2.47	0.97

Tabel 1.3.1.

Belitul. Silicatul bicalcic 2CaOSiO₂

Se prezinta sub mai multe modificari poliforme si anume: α , α' , β , β' .

Transformarea polimorfa a silicaturii bicalcic prezinta un interes deosebit, intrucat trecerea formelor de temperatura inalta in C₂S conduce la pierderea proprietatilor hidraulice ale silicaturii bicalcic. In clincherele de ciment belitul se intalneste sub 3 forme diferite intre ele prin aspect si prin modificatia polimorfa din care sunt constituite. Aparitia uneia dintre cele trei forme in clincherele de ciment este dependenta de conditiile in care s-a transformat si in special este dependenta de tratamentul termic aplicat la racirea clincherele .

Belit I se prezinta sub forma de cristale rotunjite, cu striatiuni in ambele sensuri si corespunde formei poliforme α' C₂S. Apare de obicei in clincherele arse la temperaturi inalte si raciri bruste.

Belit II apare la microscop sub forma de cristale rotunjite cu striatiuni intr-un singur sens si corespund modificatiei β -C₂S. Este forma sub care apare in general silicatul bicalcic in clincherele de ciment obisnuite.

Belitul III apare mai rar si inconjoara, de obicei, cristalele de belit I. El provine din transformarea polimorfa a α' β -C₂S. Privit la microscop, cristalele lui nu prezinta striatiuni, in schimb au pete cu aspectul unor incluziuni fine.

O serie de cercetari au stabilit ca proprietatile de rezistenta ale silicaturii bicalcic sunt dependente de natura substantelor cu care formeaza solutii solide si care actioneaza ca stabilizator pentru forma polimorfa β -C₂S.

Faza feritica

Se prezinta sub forma de cristale prismatice sau rotunjite de culoare bruna inchisa sau bruna deschisa. Lucrarile lui Toropov au stabilit ca faza feritica este, de fapt, o serie continua de solutie solida in sistemul C-C₅A₃-C₂F. Pentru simplificare poate fi considerata ca o solutie solida intre combinatiile ipotetice C₂A si C₂F.

Aluminatul tricalcic.C₃A

In lumina transparenta se prezinta sub forma de placute hexagonale izotrope, iar la lumina reflectata sub forma de cristale dreptunghiulare. In clincherele de ciment poate forma solutii solide cu MgO si cu oxizii metalelor alcaline.

Faza sticloasa.

Aceasta faza apare la clincherele de ciment ca rezultat al racirii bruste a acestora prin solidificarea fazei topite. Are o compozitie variabila, cu un continut ridicat de Fe₂O₃ si Al₂O₃.

De asemenea, in clincherele de ciment pot aparea cantitati reduse de MgO si CaO liber. MgO cristalizat sub forma de periclaz prezinta cristale cubice care in sectiune slefuite prezinta reflexe violacee. CaO liber se prezinta sub forma de cristale rotunjite de culoare inchisa.

Oxizii metalelor alcaline formeaza in clincherele de ciment compusii :K₂O₂₃CaO₁₂SiO₂ respectiv Na₂O₈CaO₃Al₂O₃.

Aceste doua combinatii pot fi privite ca rezultatul inlocuirii in 2CaOSiO₂ si 3CaOAl₂O₃ a CaO cu K₂O, respectiv Na₂O.

1.3.1.3 Determinarea compozitiei mineralogice a clincherelor de ciment

Cunoasterea compozitiei mineralogice a clincherelor de ciment prezinta un interes deosebit deoarece proprietatile cimentului sunt determinate de acesta.

In practica exista mai multe metode pentru aprecierea compozitiei mineralogice si anume :

- Metode fizice
- Metode chimice
- Metode de calcul

Metodele fizice includ, in general, metodele microscopice, roentgenografice, spectroscopia in infrarosu si separarea mecanica.

Metodele microscopice

Studiul petrografic al clincherului de ciment se poate face pe sectiuni slefuite, sectiuni transparente si in pulbere prin imersie. Metodele microscopice permit aprecierea calitativa si cantitativa a compozitiei mineralogice.

Metoda roentgenografica

Aprecierea calitativa se bazeaza pe identificarea liniilor de difractie caracteristice pentru fiecare compus in parte. Aprecierea cantitativa se face, in principiu, pe baza relatiei ce exista intre intensitatea unei anumite linii din spectru si concentratia componentei careia ii apartine.

Spectroscopia in infrarosu

Se bazeaza pe faptul ca mineralele din clincher dau spectre de absorbtie caracteristice. Poate fi utilizata atat pentru aprecieri cantitative cit si calitative.

Separarea mecanica

Separarea mecanica a clincherului de ciment este deosebit de dificila, deoarece cristalele constituentilor mineralogici au dimensiuni mai mici de 1 milimicron. Dupa datele unor autori fractiunea pina la 5 milimicroni este constituita in proportie de 80% alit si cca 7% belit, iar fractiunea intre 5-10 milimicroni este constituita in proportie de 91% belit si cca 4% alit.

Metode chimice

Aceste metode se bazeaza in principiu pe sensibilitatea selectiva a constituentilor mineralogici in diversi reactivi chimici [9].

Metode de calcul

Sunt cel mai frecvent utilizate. Pentru calcul se porneste de la compozitia oxidica, recurgindu-se la o simplificare in sensul ca se considera ca clincherul de ciment este constituit numai din C_3S ; C_2S ; C_3A ; C_4AF , adica dupa racire clincherul nu contine faza sticloasa si este in intregime cristalizat.

In realitate nu se ajunge intotdeauna la realizarea echilibrului termodinamic. In clincher apar si alte faze, inclusiv cea sticloasa. Aceasta nu numai ca duce la diminuarea fazei cristaline, dar influenteaza si procesul de formare a constituentilor mineralogici, miciorand sau marind viteza lor de aparitie.

Exista numeroase metode de calcul, rezultatele obtinute pe baza acestora sunt foarte apropiate intre ele. Ca atare vom reda doar una dintre ele si anume cea a lui Bogue [10].

Considerand ca cimentul Portland face parte din subsistemul de echilbru termic $C_3S-C_2S-C_3A-C_4AF$, calculul compozitiei mineralogice se conduce considerandu-se stabilirea echilibrului termodinamic considerind doar CaO care a reactionat cu oxizii acizi (fara CaO liber si CaO legat ca sulfat)

O parte din Fe_2O_3 leaga 0.64 parti Al_2O_3 in greutate $\left[\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} = 0,64 \right]$ si 1,4 parti

CaO $\left[\frac{4CaO}{Fe_2O_3} = 1,4 \right]$. Cantitatea de C_4AF formata in functie de Fe_2O_3 se poate

exprima prin relatia:

$$\%C_4AF = 3,04\%Fe_2O_3 .$$

Alumina ramasa ($\%Al_2O_3_{total} - 0,64\%Fe_2O_3$) leaga 1,65 parti CaO

$\frac{3CaO}{Al_2O_3} = 1,65$, formand C_3A . Cantitatea de C_3A care se formeaza va fi:

$$\%C_3A = 2,65\%Al_2O_3 - 1,69\%Fe_2O_3.$$

Pentru formarea C_3A si C_4AF s-a consumat o parte din CaO total si anume:

$$\frac{4CaO}{Fe_2O_3} \left[\frac{4,56}{159} \right] + \frac{3CaO}{Al_2O_3} \left[\frac{3,56}{102} \right] [\%Al_2O_3 - 0,64\%Fe_2O_3].$$

Cantitatea de CaO ramas disponibil pentru formarea silicatilor de calciu va fi :

$$\%SiO_{disp} = \%CaO_{total} - [1,65\%Al_2O_3 + 0,35\%Fe_2O_3]$$

Oxidul de calciu ramas disponibil este legat sub forma de C_3S si C_2S impreuna cu tot SiO_2 .

Pornind de la aceste considerente se pot scrie relatiile :

$$\%SiO_2 = \frac{60}{228}\%C_3S + \frac{60}{172}\%C_2S$$

$$\%CaO_{total} - 1,05\%Al_2O_3 - 0,35\%Fe_2O_3 = \frac{168}{228}\%C_3S + \frac{112}{172}\%C_2S$$

Prin rezolvarea sistemului rezulta :

$$\%C_3S = 4,07\%CaO - 7,6\%SiO_2 - 6,72\%Al_2O_3 - 1,42\%Fe_2O_3$$

$$\%C_2S = 8,6\%SiO_2 + 5,06\%Al_2O_3 + 1,07\%Fe_2O_3 - 3,05\%CaO.$$

In cazul cind intreaga cantitate de Al_2O_3 si Fe_2O_3 este legata in C_4AF (raportul $\%Al_2O_3 / \%Fe_2O_3 = 0,64$) in clincherul de ciment se vor forma doar 3 componente : C_4AF , C_3S si C_2S . Calculul se va face in felul urmatoar :

$$C_4AF = 3,04\%Fe_2O_3$$

$$C_3S = 4,07\%CaO - 7,6\%SiO_2 - 5,7\%Fe_2O_3$$

$$C_2S = 8,6\%SiO_2 + 4,3\%Fe_2O_3 - 3,05\%CaO$$

In cazul cand cantitatea de fier este mai mare decat cantitatea de alumina ($Al_2O_3/Fe_2O_3 < 0,64$) se considera ca clincherul de ciment va fi constituit din C_4AF , C_2F , C_3S si C_2S .

In realitate silicati si aluminatii din clincherul de ciment nu sunt componente puri, ci contin mici cantitati de alti oxizi in solutie solida, care influenteaza aranjamentul atomic, forma cristalina si proprietatile hidraulice ale componentilor mineralogici (fig. 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3).

Pentru situatii curente, in practica se considera cimentul Portland in echilibru, adica se considera ca produsele racite reproduc echilibrul existent la temperatura de clincherizare, ipoteza ce permite calculul compozitiei potentiale, utilizind in cacest scop oxizii existenti in clincher, ca si cind s-ar fi produs o cristalizare completa.

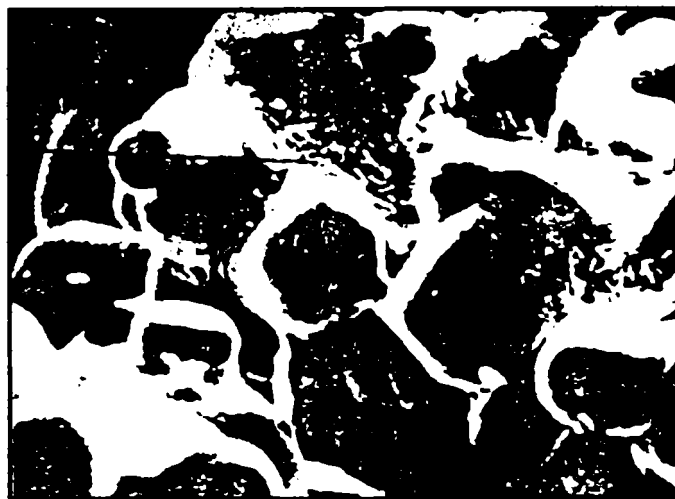


Fig. 1.3.1.
Clinker supraars. Se disting cristale de C_3S (romboedric) de 30-40 μ si faza interstitiala de C_4AF si C_3A .



Fig. 1.3.2.
Microstructura C_3A dupa doua zile de hidratare.

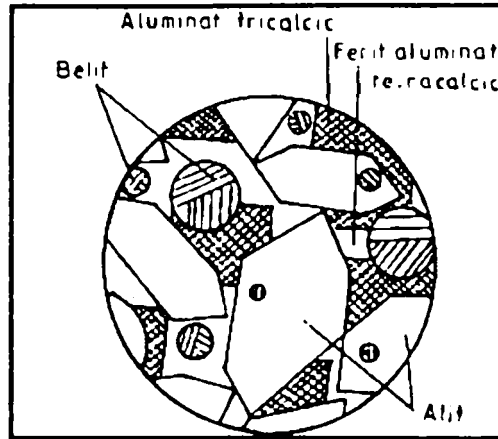


Fig. 1.3.3.

Exemplu schematic de microstructura a clincherului racit lent.

Compozitia mineralogica a clincherului de ciment Portland poate sa varieze in limite foarte largi, in functie de compozitia chimica a materiilor prime utilizate, procedeele de fabricatie si viteza de racire.

Oxizi	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O+K ₂ O	SO ₃
[%]	60-67	17-25	2-9	0,5-6,0	0-4,0	0-1,5	0,2-1,5

Tabel 1.3.2.

Compozitia chimica a clincherelor fabricate in alte tari.

Constituentii mineralogici	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₃ AF
[%]	40-73	2-35	1-18	2-20

Tabel 1.3.3.

Compozitia mineralogica a clincherelor fabricate in unele tari europene.

Componentul	Tipul de ciment				
	I	II	III	IV	V
C ₃ S maxim	*	*	*	35	*
C ₂ S minim	*	*	*	40	*
C ₃ A maxim	*	8	15	7	5

Tabel 1.3.4

Limitele compozitiei mineralogice a cimenturilor Portland produse in S.U.A conform ASTM standard 150- 17.

Cimentul	Valori	P oportțiile componentilor (%)								Numărul de probe analizate z
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CASO ₄	CaO liber	MgO	Pierderi la calcinare	
Tip I (Portland obișnuit)	Maxim	67	31	14	12	3,4	1,5	3,8	2,3	21
	Minim	42	8	5	6	2,6	0,0	0,7	0,6	
	Medie	49	25	12	8	2,9	0,8	2,4	1,2	
Tip II (Portland modificat)	Maxim	55	39	8	16	3,4	1,8	4,4	2,0	28
	Minim	37	19	4	6	2,1	0,1	1,5	0,5	
	Medie	46	29	6	12	2,8	0,6	3,0	1,0	
Tip III (Portland cu întărire rapidă)	Maxim	70	38	17	10	4,6	4,2	4,8	2,7	5
	Minim	34	0	7	6	2,2	0,1	1,0	1,1	
	Medie	56	15	12	8	3,9	1,3	2,6	1,9	
Tip IV (Portland cu căldură redusă de hidratare)	Maxim	44	57	7	18	3,5	0,9	4,1	1,9	16
	Minim	21	34	3	6	2,6	0,0	1,0	0,6	
	Medie	30	46	5	13	2,9	0,3	2,7	1,0	
Tip V (Portland rezistent la sulfat)	Maxim	54	49	5	15	2,9	0,6	2,3	1,2	22
	Minim	35	24	1	6	2,4	0,1	0,7	0,8	
	Medie	43	36	4	12	2,7	0,4	1,6	1,0	

Tabel 1.3.5.

Compoziția mineralogică a cimenturilor Portland fabricate în S.U.A. conform manualului de beton U.S.Bureau of Reclamation (Denver-Colorado)

În norma europeană ENV 197-1/92, drept condiții obligatorii pentru clincherul de ciment portland sunt cerute următoarele:

- minimum 2/3 din masă să fie constituită din silicat tricalcic și bicalcic;
- relația procentuală dintre oxidul de calciu și trioxidul de siliciu din compoziție să fie mai mare de 2;
- conținutul procentual în masă de oxid de magneziu să fie mai mic de 5.

Variația compoziției chimico-mineralogice a clincherelor de ciment portland permite obținerea unei game largi de cimente cu proprietăți diferite, atât sub aspectul caracteristicilor fizico-mecanice, cât și sub aspectul comportării în beton în diferite condiții de exploatare. Unele clinchere nu conțin sau conțin în proporție foarte redusă C₃A, ca de exemplu clincherele pentru cimentul rezistent la sulfat, iar alte clinchere nu conțin C₄AF, ca de exemplu clincherele pentru ciment alb.

1.3.1.4. Corespondența între metodele de determinare și compoziția reală a clincherului de ciment

Din datele publicate de diverși autori reiese faptul că nu există o corelație exactă între compoziția determinată și cea reală a clincherului de ciment. Astfel

metodele microscopice dau rezultate bune numai la determinarea cantitatilor de C_3S si C_2S . Aluminatul tricalcic nu poate fi determinat pe aceasta cale si de asemenea faza alumoferitica. Metodele roentgenografice dau rezultate diferite in raport cu alegerea liniei analitice pentru fiecare constituent mineralogic in parte. Dificultatea alegerii corecte a acestora consta in faptul ca cea mai mare parte a liniilor se suprapun. Nici metoda de calcul nu este in concordanta cu compozitia reala si aceasta din urmatoarele motive :

a) Calculul se face in ipoteza atingerii unui echilibru complet, ceea ce nu se intimpla de fapt. Dovada consta in existenta in clinchere de CaO liber si SiO_2 necombinat.

b) Compozitia mineralelor din clincherele industriale nu coincide cu compozitia calculata a acestora. De exemplu, C_3S nu se gaseste ca atare in clincherele de ciment, ci sub forma de $C_{54}S_{16}MA$. In acest caz coeficientul de transformare a SiO_2 in C_3S nu este 3.8 ci 4.3, ceea ce ar duce la o crestere a continutului in acest mineral cu 11%.

c) Alitul si belitul au o mare tendinta de a forma solutii solide, astfel poate include 1-3% Fe_2O_3 . De asemenea cantitatea stoechiometrica de Al_2O_3 inclusa conform formulei $C_{54}S_{16}MA$ corespunde la 2-3%.

Belitul poate include in retea sa cristalina Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3 si alti oxizi in cantitati de 1-4%.

d) O importanta modificare a compozitiei mineralogice teoretice o determina prezenta oxizilor metalelor alcaline. Acestia se combina in primul rind cu SO_3 formand $CaSO_4 \cdot Na_2SO_4$ si solutiile lor solide. Excesul de oxizi ai metalelor alcaline este inclus in faza sticloasa, sau formeaza combinatiile $KC_{23}S_{12}$ si NC_8A_3 caracterizate printr-o mare stabilitate.

Cu toate aceste neajunsuri calculul compozitiei mineralogice ramine inca un mijloc foarte utilizat pentru aprecierea calitatii unui clincher, pornindu-se de la datele experimentale prin care s-a dovedit ca constituentul mineralogic care se gaseste predominant imprima proprietatile sale cimentului obtinut prin macinarea clincherului respectiv.

1.3.1.5 Relatiile intre compozitia oxidica si compozitia mineralogica a clincherelor de ciment

Compozitia mineralogica a clincherului de ciment depinde de compozitia oxidica a amestecului brut, de raportul in care se gasesc oxizii componenti ai acestuia (in principal CaO , SiO_2 , Al_2O_3 si Fe_2O_3).

Michaelis a sesizat pentru prima oara importanta existentei unui anumit raport intre componentii oxidici ai amestecului brut si a introdus asa numitul modul hidraulic :

$$M_H = \frac{\%CaO}{\%SiO_2 + \%Fe_2O_3 + \%Al_2O_3}$$

Pornind de la observatia ca desi unele amestecuri brute care erau caracterizate prin aceeasi valoare a modulului hidraulic, dadeau prin ardere clinchere diferite, H.Kuhl a introdus asa numitul modul de silice :

$$M_{Si} = \frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3}$$

si de asemenea modulul de alumina constituit prin raportul :

$$M_{Al} = \frac{\%Al_2O_3}{\%Fe_2O_3}$$

Astazi, modulul hidraulic stabilit de Michaelis a fost inlocuit cu asa numitul grad de saturare in oxid de calciu, care reprezinta raportul dintre cantitatea de oxid de calciu continut de amestecul brut si cantitatea maxima de oxid de calciu necesar saturarii oxizilor acizi (SiO_2 , Al_2O_3 si Fe_2O_3).

Pentru exprimarea de fapt a acestuia s-au propus diverse formule in functie de modul in care s-a considerat saturarea cu CaO a Al_2O_3 si Fe_2O_3 .

Astfel, H. Kuhl [11], presupunand saturarea SiO_2 la C_3S , a Al_2O_3 la C_2S si a Fe_2O_3 la C_2F , a introdus pentru calculul asa numitei “ calce standard-k” formula :

$$K = \frac{\%CaO}{2.8\%SiO_2 + 1.1\%Al_2O_3 + 0.7\%Fe_2O_3}$$

Lee si Parker [12], considerind ca locul geometric al clincherului de ciment Portland cu saturare maxima este planul C_3S -W- C_4AF (W este definit ca punct de intersectie a dreptei C_3S -G, cu dreapta CaO - Al_2O_3), definesc gradul de saturatie prin formula :

$$S_k = \frac{\%CaO}{2.8\%SiO_2 + 1.18\%Al_2O_3 + 0.656Fe_2O_3}$$

Pentru moduli de silice si alumina se folosesc, in general, formulele propuse de H.Kuhl, mentionate anterior.

Exprimarea modulara a compozitiei oxidice aduce reale servicii in caracterizarea clincherelor si usureaza considerabil calculele amestecurilor brute.

Pornind de la exprimarea modulara a compozitiei oxidice, Solacolu [13] a facut o clasificare a cimenturilor in functie de valoarea modulelor, dupa cum reiese din figura de mai jos.

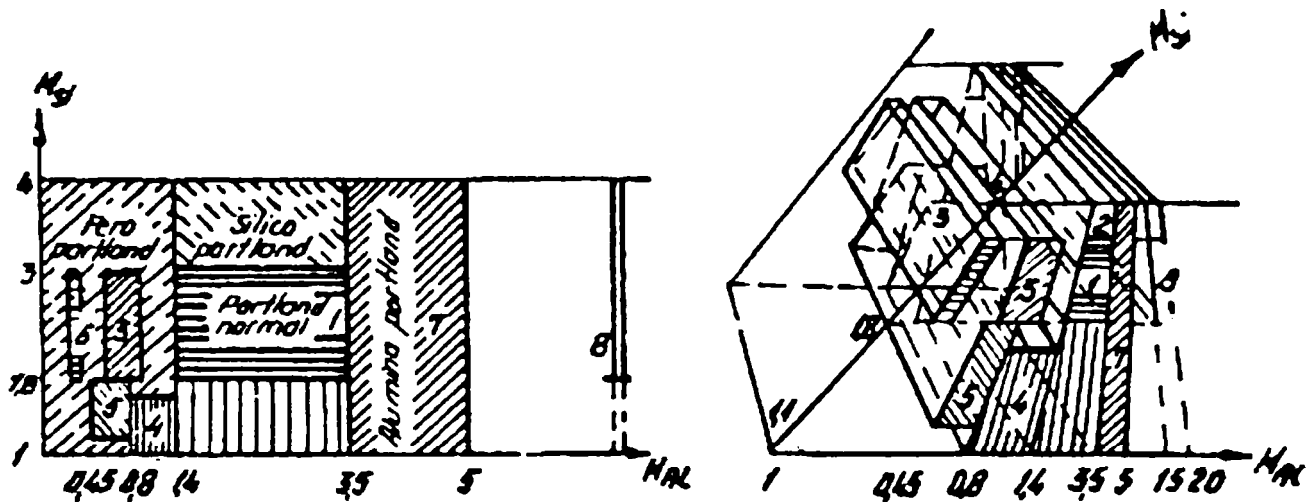


Fig. 1.3.4.

Clasificarea modulara a cimentului Portland

1.3.1.6. Calculul amestecului brut pentru clincherul de ciment Portland

Clincherul de ciment Portland se obtine prin arderea pina la topire partiala a unui amestec de materii prime in a caror compozitie intra oxizii care alcatuiesc in principal clincherul de ciment, adica: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 si CaO .

Pentru a obtine un clincher care sa aiba o anumita compozitie mineralogica, care sa duca la un ciment cu anumite proprietati, materiile prime ce stau la baza alcatuirii amestecului brut trebuie dozate in anumite proportii.

Pentru realizarea acestui deziderat ne folosim de caracterizarea modulara a compozitiei oxidice, deoarece, dupa cum s-a mentionat, exista o legatura intre valoarea modurilor si compozitia mineralogica a clincherelor de ciment.

In cazul cand definirea clincherului se face printr-un singur modul atunci amestecul brut se poate realiza din doi componenti; cind definirea clincherului se face prin doi moduli, amestecul brut se poate realiza din trei componenti si asa mai departe.

Calculul amestecului brut se poate face prin metode analitice sau metode grafice de calcul.

A) Metode analitice de calcul

Calculul amestecului brut din doi componenti.

Este cazul cel mai simplu, amestecul brut fiind caracterizat printr-un singur modul.

In acest caz considerindu-se ca la o parte in greutate dintr-un component revine x parti in greutate din al doilea component, se poate scrie:

$$C_0 = \frac{C_1 + xC_2}{1 + x}$$

$$A_0 = \frac{A_1 + xA_2}{1 + x}$$

$$S_0 = \frac{S_1 + xS_2}{1 + x}$$

$$F_0 = \frac{F_1 + xF_2}{1 + x}$$

in care :

C_1, S_1, A_1, F_1 - reprezinta continutul procentual in CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ pentru primul component

C_2, S_2, A_2, F_2 - reprezinta continutul procentual in CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ pentru al doilea component

C_0, S_0, A_0, F_0 - reprezinta continutul procentual in CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ pentru amestecul brut.

Introducandu-se aceste relatii in forma coeficientului de saturatie se obtine :

$$S_k = \frac{C_1 + xC_2}{2,8(S_1 + S_2) + 1,1(A_1 + xA_2) + 0,7(F_1 + xF_2)}$$

de unde :

$$x = \frac{C_1 - S_k(2.8S_{11} + 1.1A_1 + 0.7F_1)}{S_k(2.8S_2 + 1.1A_2 + 0.7F_2)}$$

Calculul amestecului din trei componente.

În acest caz, pe lângă valoarea gradului de saturare, se impune și valoarea modulului de silice sau alumina. Amestecul se poate forma doar din trei componente, cel de-al treilea component fiind un adaos de corecție care trebuie să mărească sau să micșoreze valoarea celui de al doilea modul luat în considerare.

Calculul amestecului brut din patru componente.

Dacă în afara de coeficientul de saturare se impun și cei doi moduli, cel de alumina și cel de silice, atunci pentru amestecul brut sunt necesari patru componente.

B) Metode grafice de calcul

Metodele grafice de calcul sunt, în general, mai expeditiv, deoarece graficul construit pentru anumite tipuri de materii prime utilizate de o fabrică de ciment permite calculul rapid în cazul când intervine modificarea compoziției clincherului care urmează a fi fabricat.

Aceste metode se pot aplica atât amestecurilor binare, cât și celor cu mai mulți componente.

În acest scop se utilizează o diagramă binară (fig.1.3.5) în care pe abscisa este reprezentat conținutul în SiO_2 de la 0-100%, iar pe ordonata CaO rămas disponibil după formarea aluminatilor și feritilor de calciu.

Atât SiO_2 cât și CaO se raportează la constituenții calcinați ai amestecului brut. Se unesc apoi cu o dreaptă punctele de 100% CaO și 100% SiO_2 . Toate cimenturile care pot rezulta sunt cuprinse în suprafața triunghiului format. Din infinitatea de compoziții posibile numai o parte vor fi cimenturi Portland industriale. Limitarea acestor compoziții se face prin unirea punctelor care marchează un conținut de 100% C_3S și 100% C_2S cu originea axelor de coordonate. Aceste puncte se găsesc pe ipotenuza triunghiului rezultat anterior.

100% C_3S conține 73.6% CaO și 26.4% SiO_2

100% C_2S conține 65% CaO și 35% SiO_2 .

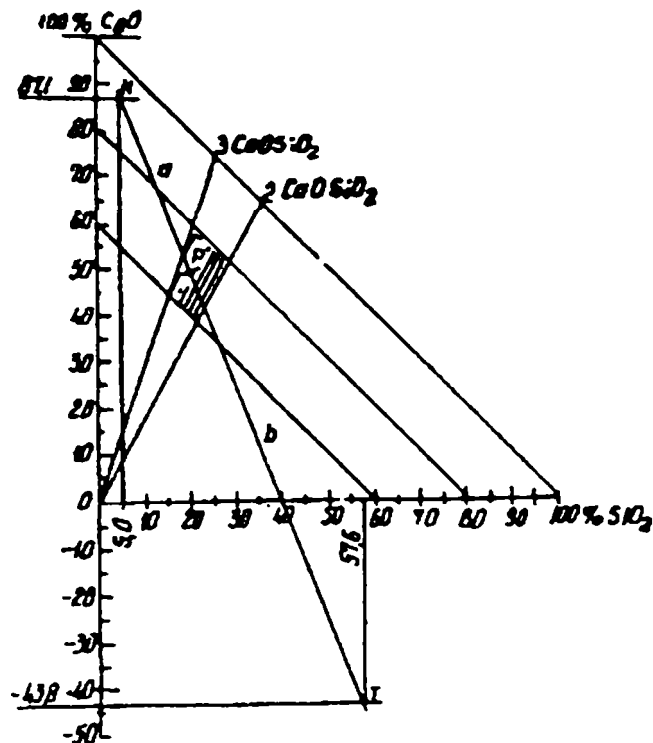


Fig. 1.3.5

Calculul grafic al amestecului brut format din doi componente.

De asemenea campul cimenturilor Portland industriale din domeniul cuprins intre linia C_3S-O si C_2S-O va fi limitat de drepte care marcheaza continutul in faza topita care merg paralel cu ipotenuza. Admitand continutul in faza topita cuprins intre 20-40% se obtine limitarea zonei in care toate punctele corespund unor cimenturi Portland industriale.

Calitatea acestora va fi cu atat mai buna cu cit punctele compozitilor se vor gasi mai aproape de linia C_3S .

1.3.2. Materii prime

1.3.2.1. Varietati de materii prime

Materiile prime de baza pentru fabricarea cimentului sunt rocile calcaroase si argiloase.

Prin roci calcaroase se inteleg: creta, calcarele, marnele calcaroase etc.

Din grupa rocilor argiloase fac parte: argilele, sisturile argiloase, argilele marnoase si alte roci acide (argilele nisipoase, loesurile).

Aceste roci calcaroase, calcaro-argiloase si argiloase se pot clasifica, conventional, dupa continutul lor in $CaCO_3$, in modul aratat in tabelul 1.3.6:

Roca	%CaCO ₃	%argila
Calcar	95-100	0-5
Calcar marnos	90-95	5-10
Marna calcaroasa	75-90	10-25
Marna	40-75	25-60
Marna argiloasa	25-40	60-80
Argila marnoasa	5-20	80-95
Argila	0-5	95-100

Tabelul 1.3.6

In afara materiilor prime enumerate mai sus se pot utiliza, de asemenea, si alte roci naturale care sa asigure compozitia chimica necesara clincherului de ciment, fara a ingreuna fabricatia sa.

In calitate de componentii pentru amestecul de materii prime folosit la prepararea cimentului Portland pot servi, de asemenea, deseurile unor ramuri industriale, ca: zgurile de furnal, cenusa de carbune etc.

a) Rocile calcaroase

Sunt formate exclusiv, sau in cea mai mare parte din CaCO₃, fie pur (calcit sau aragonit), fie amestecat cu diferite alte substante. In afara de rocile calcaroase de precipitatie, de marnele si calcarele marnoase detritice, majoritatea maselor calcaroase din scoarta globului pamantesc sunt de origine organica.

In majoritatea cazurilor, in afara de CaCO₃, in compozitia calcarelor intra : argila, oxizi de fier, carbonat de magneziu etc., toate acestea modificandu-i atat textura cit si coloratia. Varietatile foarte pure sunt in general albe. Culori mai des intilnite: cenusiu si galben; mai rar rosu brun si negru.

b) Rocile argiloase

Argilele sunt roci plastice, provenite din cele mai fine sfarimari ale rocilor, mai ales feldspatice. Caracteristicile generale ale argilelor difera de geneza si locul de acumulare.

Argilele sunt constituite din silicati de aluminiu amestecati cu diferite materii straine-impuritati care pot fi :

- impuritati mecanice ramase nemodificate din partile componente ale rocii din care a provenit;
- impuritati care s-au format in acelasi timp cu procesul de caolinizare sau mai tarziu;

-impuritati care s-au amestecat in mod mecanic cu produsul caolinizat in timpul transportului acestuia.

1.3.2.2. Conditiiile pe care trebuie sa le indeplineasca compozitia chimica a materiilor prime

Conditia generala pe care trebuie sa o indeplineasca materiile prime utilizate la fabricarea cimentului Portland este continutul de oxizi necesari: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 si Fe_2O_3 in cantitati si raporturi care sa asigure posibilitatea obtinerii clincherului. Compozitia mineralogica a clincherului variaza in limite largi. Aceasta are ca urmare si o variatie a compozitiei oxidice a clincherului, usurand conditiile de compozitie chimica pe care trebuie sa le indeplineasca materiile prime.

In general, la alcatuirea amestecului brut se utilizeaza doi componenti, unul calcaros si celalalt argilos. Conditiiile de compozitie chimica pe care trebuie sa le indeplineasca acesti doi componenti se conditioneaza reciproc. Astfel, de exemplu, daca componentul calcaros este foarte pur, valoarea modulilor clincherului va fi determinata de catre modulii respectivi ai componentului argilos, care in acest caz trebuie sa-i aiba in limitele indicate pentru clincher.

Pe masura ce procentul de impuritati din componentul calcaros creste, modulii componentului argilos nu pot prin ei insisi sa determine modulii clincherului.

In acest caz, compozitia chimica si modulii componentului argilos in amestecul de materii prime trebuie sa fie astfel incat pentru un raport oarecare stabilit prin calculul fata de componentul calcaros dat, sa se asigure obtinerea unui clincher cu compozitia cuprinsa intre limitele admisibile sau de compozitie data.

In afara de asigurarea compozitiei mineralogice sau modulare a clincherului intre limitele fixate, materiile prime trebuie de asemenea sa satisfaca si unele conditii privind continutul in unele impuritati care, daca depasesc anumite limite, influenteaza negativ procesul de ardere a clincherului si bineinteles calitatea sa.

Desi pina in prezent lipsesc date complete despre influenta acestor impuritati, totusi se dau anumite norme generale in ceea ce priveste continutul si influenta acestora (exceptie fac MgO si SO_3 , a caror influenta este cunoscuta si continutul este limitat prin norme).

Astfel :

-bioxidul de titan, TiO_2 , influenteaza negativ asupra calitatii cimentului atunci cand continutul lui in amestecul de materii prime depaseste 3%. Aceasta influenta negativa se datoreste faptului ca TiO_2 formeaza cu CaO niste compusi lipsiti de valoare hidraulica, deci leaga o parte din CaO sub forma lipsita de importanta practica;

-un continut mare de oxid de mangan, MnO, determina o crestere sensibila a viscozitatii fazei lichide, ingreunand procesul de ardere (formeaza lipituri, bulgari in cuptor);

-compusii fosforului au, de asemenea, o influenta negativa manifestata prin legarea CaO in compusi fara valoare hidraulica si prin inrautatarea conditiilor de ardere si de intarire a cimenturilor;

-alcaliile- impuritatile nedorite cel mai des intilnite- inrautatesc procesul de ardere, marind tendinta de formare a inelelor de lipitura si de asemenea leaga CaO sub forma unor compusi fara proprietati hidraulice.

1.3.2.3. Importanta tehnologica a naturii minerale si a proprietatiilor fizice ale materiilor prime

In afara de compozitia chimica a materiilor prime, o mare importanta o are si compozitia minerala .

Sub acest aspect materiile prime cele mai indicate sunt acelea care contin componentii oxidici cu cea mai mare capacitate de reactie in conditiile de ardere a cimentului. Astfel, in cazul componentului calcaros, in locul calcarelor compacte, dure, cu o structura cristalina cu capacitate de reactie scazuta, se prefera calcarele amorfe.

Din acest punct de vedere cel mai bun material calcaros este creta .

In cazul rocilor argiloase, cel mai greu dintre toate se asimileaza la ardere quartul sub forma de nisip, feldspatul si mica.

Cea mai mare capacitate de reactie o poseda alumosilicatii hidratati.

In concluzie calitatea materiilor prime pentru fabricarea clincherului, rentabilitate lor tehnologica si economica este determinata de totalitatea caracteristicilor lor chimice, mineralogice, petrografice, fizice si granulometrice.

1.3.2.4. Adaosuri

In afara de materiile prime de baza, in industria cimentului se utilizeaza si alte materiale in calitate de adaos. Dupa scopul si natura acestora, acestea pot fi impartite in mai multe categorii :

Adaosuri de corectie, folosite in general pentru corectia continutului in Fe_2O_3 , Al_2O_3 si uneori a SiO_2 . Pentru corectia Fe_2O_3 se utilizeaza cenusa de pirita, deseu rezultat la fabricarea acidului sulfuric. Pentru corectia Al_2O_3 se utilizeaza bauxita in proportie de 2-5%. Pentru corectia SiO_2 se utilizeaza adaosurile silicioase naturale: diatomitul, trasul etc., cu un continut ridicat in silice reactionabila.

Adaosul pentru reglarea prizei

Adaosul folosit pentru acest scop este ghipsul natural. In ultimul timp s-au facut studii in vederea utilizarii in acest scop a fosfoghipsului, deseori rezultat la fabricarea acidului fosforic din apatita.

Adaosuri diverse

Se folosesc in scopul fluidificarii pastelor de ciment sau in scopul scaderii temperaturii de aparitie a fazei topite.

1.3.2.5. Extragerea si transportul materiilor prime

Avand in vedere cantitatile mari de materii prime necesare, se urmareste ca fabricile de ciment sa fie amplasate, cand este posibil, in imediata apropiere de sursele de materii prime. Extragerea din zacamant a rocilor folosite in industria cimentului se face prin exploatare in cariere la zi.

Operatia de extragere comporta mai multe faze: derocarea, incarcarea si transportul materialelor.

Derocarea se efectueaza cu excavatorul in cazul rocilor moi; rocile mai dure se derocheaza prin operatii de forare cu instalatii de perforare si puscarea cu exploziv.

Incarcarea materiilor prime se face cu excavatoarele.

Transportul calcarului, al materiilor argiloase si al celorlalte materii prime necesare pentru fabricarea cimentului, de la cariere la fabrici se face cu diverse mijloace de transport: cale ferata, cale rutiera, cu ajutorul funicularilor, cu benzi transportoare. Alegerea sistemului de transport este determinata de distanta si de conditiile de transport.

1.3.3. Procedee de fabricatie

In industria cimentului exista mai multe procedee de fabricatie si anume : procedeul uscat, procedeul semiuscat, procedeul umed si procedeul semiumed.

Procedeul uscat

In cazul acesta materiile prime inainte de a fi macinate sunt uscate sau mairecent, daca umiditatea nu depaseste 5%, uscarea se efectueaza concomitent cu macinarea. In acest caz, cuptorul in care se clincherizeaza amestecul de materii prime se alimenteaza cu faina. In figura 1.3.6 este prezentat schematic un cuptor rotativ cu precalcinator, utilizat pentru producerea clincherului prin procedeul uscat. La constructia acestor cuptoare, ce pot atinge 150 m lungime si depasi 5 m in

diametru, progresele inregistrate in ultimii 30 de ani asigura, printr-un sistem de schimbatoare de caldura (cicloane) etajate pe verticala incalzirea amestecului de materii prime pana la inceperea decarbonarii, prin utilizarea gazelor de ardere care ating la evacuarea din cuptor temperaturi pana la 950°C , ceea ce permite obtinerea de importante economii de combustibil la arderea clincherului de ciment Portland.

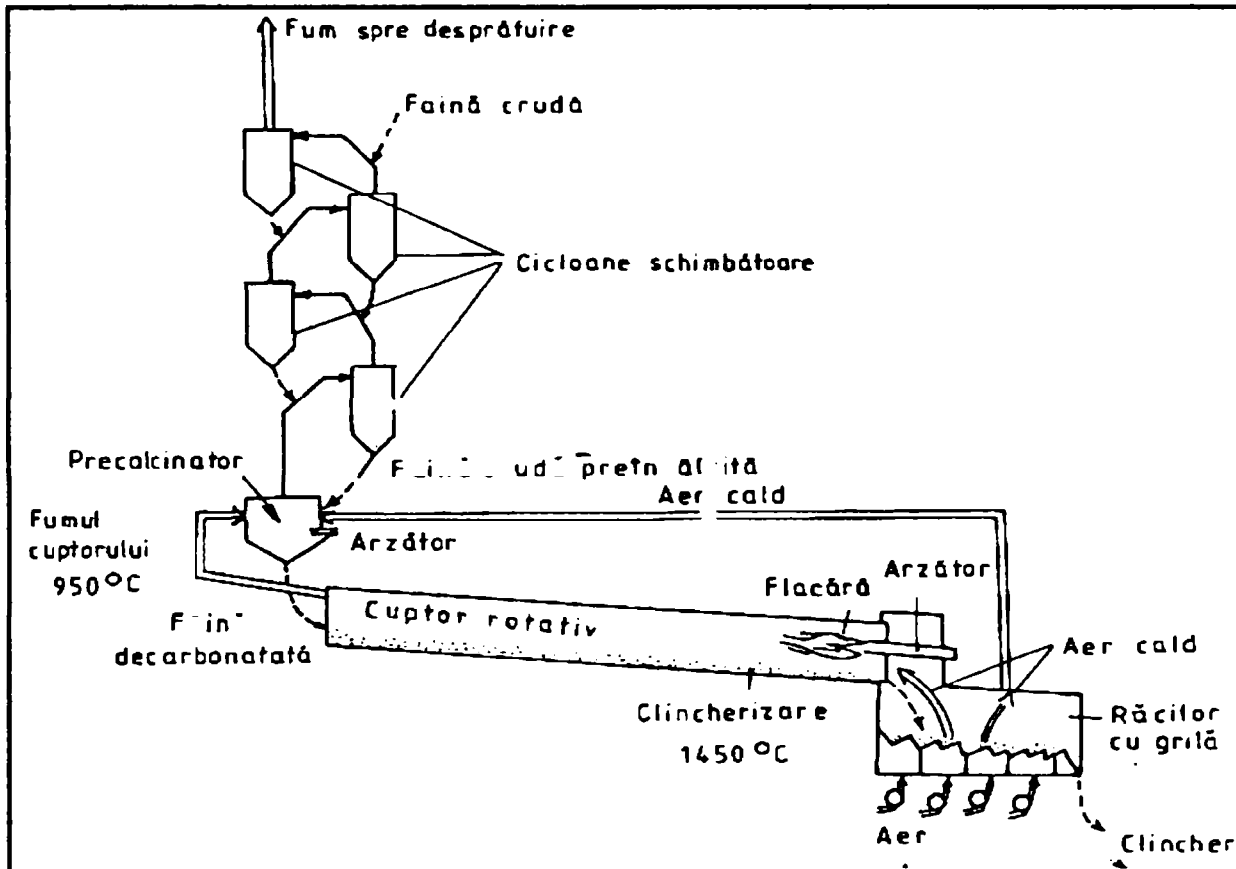


Fig. 1.3.6.
Schema de principiu cuptor rotativ, procedeul uscat.

Procedeul semiuscat

Materiile prime se pregatesc dupa o tehnologie analoaga procedeului uscat. Faina bruta se granuleaza cu 8-12% apa si cuptorul se alimenteaza cu granule formate.

Procedeul umed

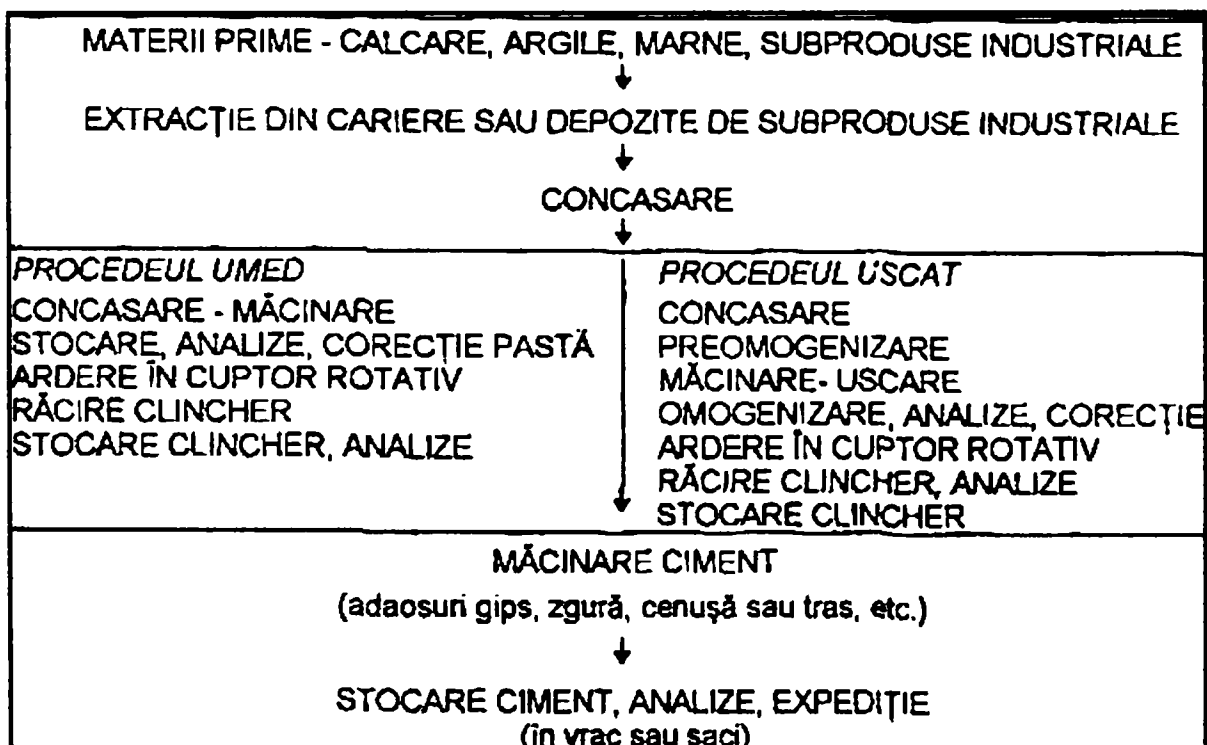
Materiile prime se macina umed obtinandu-se amestecul brut sub forma unei paste cu un continut in apa de 30-50%. Cuptorul de ardere este alimentat cu pasta obtinuta la macinare.

Procedeul semiumed

Materiile prime se macina in mori analog ca si in cazul procedeului umed. Pasta obtinuta se filtreaza pentru eliminarea excesului de apa. Turtele obtinute (18-20% apa) se granuleaza si se introduc in cuptorul de ardere.

Pina la aparitia cuptoarelor rotative (anul 1885) clincherul se obtinea prin procedeul uscat sau semiuscat, iar arderea se facea in cuptoare verticale.

O data cu aparitia cuptorului rotativ s-a putut introduce si procedeul umed de fabricatie. Aceste doua procedee principale de fabricatie a clincherului s-au dezvoltat si perfectionat continuu in cursul anilor. In tabelul 1.3.7. sunt prezentate sinoptic unele din principalele procese si operatii uzuale la fabricarea clincherului si cimentului portland prin procedeele umed si uscat.



Tabelul 1.3.7.

Prezentarea sinoptica a unor procese si operatii la fabricarea clincherului.

Dezvoltarea preferentiala a fost influentata de o serie de factori si anume : proprietatile fizice ale materiei prime (in special umiditatea), consumul specific de caldura, consumul specific de energie electrica, consumul de metan.

Proprietatile fizice

Materiile prime exercita o influenta asupra alegerii procedului de fabricatie, in special prin nivelul umiditatii acestora. La umiditate ridicata peste 15 % uscarea ridica probleme dificile si in acest caz procedeul umed este cel mai indicat a fi de folosit.

Consumul specific de caldura

Ceea ce diferentiaza net procedeul umed de cel uscat este consumul de caldura , care este cu cca 60% mai mare la procedeul umed, la utilaje de capacitati egale.

Consumul specific de energie electrica

Din datele literaturii de specialitate reiese ca pentru obtinerea unei tone de clincher sunt necesari 35-45 KWh la procedeul umed si cu cca 10-20% mai mult pentru procedeul uscat. Tendinta actuala este ca aceste cifre sa scada atat la procedeul umed cat si la cel uscat.

Consumul specific de metan

Echipamentul mecanic al unei fabrici de ciment face parte din grupa utilajelor grele, datorita conditiilor de lucru: volum mare al productiei, solicitari mecanice mari si variabile in timpul exploatarei, uzura mare datorita frecarii si temperaturii ridicate. Analizand greutatea utilajelor tehnologice pentru linii de aceasi capacitate care functioneaza dupa cele doua procedee rezulta ca pentru procedeul uscat apare o importanta economie de metan (aprox. 15%).

Initial cimentul Portland s-a fabricat exclusiv dupa procedeul uscat. O data cu introducerea cuptorului rotativ a aparut procedeul umed, care in scurt timp a capatat o pondere importanta in productia de ciment datorita avantajului pe care il avea in comparatie cu procedeul uscat si anume: realizarea amestecului brut, macinarea si omogenizarea se realizau in bune conditii cu cheltuieli mult mai reduse.

Cresterea masiva a productiei de ciment a dus la marirea continua a dimensiunilor de gabarit, in special a cuptoarelor rotative, ajungandu-se la cuptoare cu $\phi 7.62 \times 232$ m si o productie de 3600 tone/zi. Cel mai mare cuptor

prezent in lume a fost pus in functiune in 1972 in Japonia si are o productivitate de 5000 tone/ zi clincher, la dimensiuni ale cuptorului de $\phi 6.2 \times 125$ m.

In Romania evolutia ponderii celor doua procedee este redata in urmatorul tabel :

Procedeu/ Anul	1908	1915	1939	1955	1965	1970	1972	1975
Umed	--	38.4	56	78.5	89.1	70	58	34
Uscat	100	61.6	44	21.5	10.9	30	42	66

Tabel 1.3.8

Din cele de mai sus rezulta ca si in Romania, la fel cu tendinta mondiala , dezvoltarea productiei de ciment dupa anul 1965 s-a facut pe baza procedeeului umed de fabricatie.

1.3.3.1. Procesul tehnologic de obtinere a cimentului Portland

Cimentul Portland este o pulbere fina, obtinuta prin macinarea clincherului de ciment Portland cu un adaos de 1-7% ghips pentru reglarea timpului de priza si eventual cu alte adaosuri hidraulice sau inerte pentru a imprima acestuia proprietati speciale corespunzatoare destinatiei .

Clincherul de ciment Portland este produsul obtinut prin arderea amestecului de materii prime pana la topire partiala.

Amestecul de materii prime se introduce in cuptor fie sub forma de pasta fie sub forma de pulbere (faina) in raport cu procedeul umed sau uscat de fabricatie .

Operatiile principale ce compun procesul tehnologic de fabricatie a cimentului Portland sunt date in schema de mai jos:

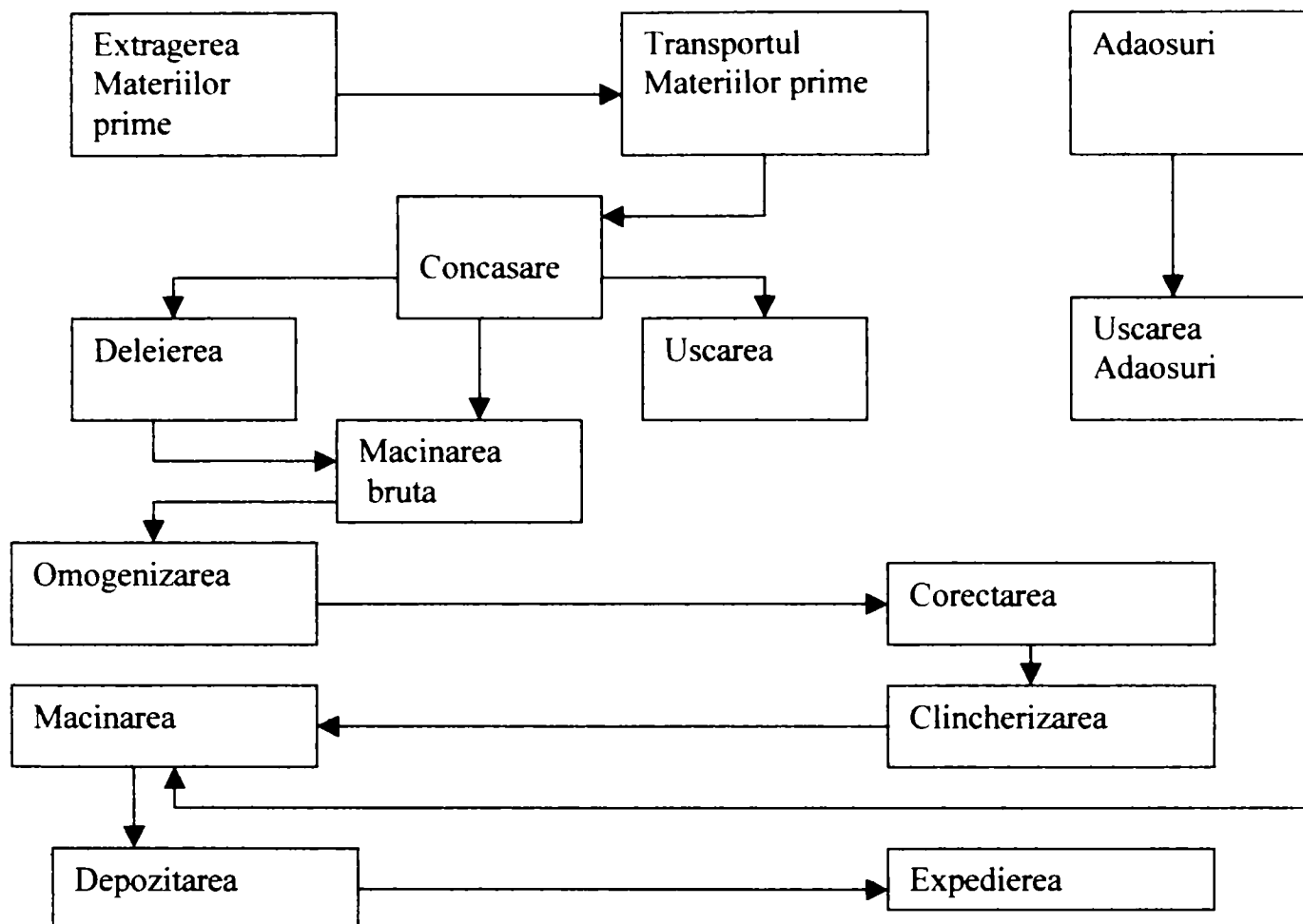


Figura 1.3.7

Operatiile mentionate pot fi grupate in 3 etape importante:

- pregatirea amestecului brut;
- arderea amestecului brut;
- obtinerea cimentului.

1.3.3.2. Pregatirea amestecului brut

Materia prima extrasa din cariera trebuie adusa la un grad de dispersie adecvat conditiilor de desfasurare a reactiilor de formare a constituentilor mineralogici.

In industria cimentului se folosesc o multitudine de instalatii si de procedee pentru maruntirea materiilor prime.

Procesul de maruntire a materiilor prime se poate imparti in doua etape in functie de dimensiunile finale ale particulelor de materie prima si anume :

- maruntire in domeniul grosier sau concasare;
- maruntire in domeniul fin sau macinare.

Ambele etape , in raport de drumul parcurs de material,se pot desfasura fie in “circuit deschis” fie “in circuit inchis”.

1.3.3.3. Maruntirea grosiera (concasarea)

Are ca scop aducerea dimensiunilor materiilor prime de la valorile cu care acestea vin din cariera, la dimensiuni la care acestea pot fi introduse in agregate pentru maruntirea fina. Raportul dintre dimensiunea liniara maxima a materialului inaintea maruntirii (D_{max}) si dimensiunea liniara maxima dupa maruntire (d_{max}) este cunoscut sub denumirea de grad de maruntire:

$$n = \frac{D_{max}}{d_{max}}$$

In general in industria cimentului dimensiunea d_{max} oscileaza intre 20-25 mm si in mod corespunzator gradul de maruntire poate ajunge pina la 50 .

Alegerea tipului de agregat pentru maruntirea grosiera este dependenta de mai multi factori si anume :

- de dimensiunea maxima a bucatilor de material extras in cariera;
- de proprietatile fizico-mecanice ale materialului supus maruntirii;
- de capacitatea de productie a liniei tehnologice;
- de tipul maruntirii.

Deoarece in industria cimentului factorii mentionati mai sus variaza in limite foarte largi, pentru maruntirea grosiera pot fi intilnite aproape toate tipurile de concasoare cunoscute.

Concasorul cu falci

Este larg raspindit datorita constructiei sale relativ simple si serveste de obicei pentru realizarea primei trepte de maruntire (preliminara).

Concasoare giratorii (conice)

In comparatie cu concasorul cu falci are un debit de 2-3 ori mai mare pentru aceleasi dimensiuni ale gurilor de alimentare si evacuare.Gradul de maruntire al concasoarelor giratorii este cuprins intre 7:1 si 15:1. Capacitatea de productie poate atinge pina la 5000 tone/h.

Concasoarele cu ciocane

Sunt folosite la sfaramarea calcarului dur pana la semidur; uneori ele sunt folosite la sfaramarea marnei. Ele lucreaza cu un grad de maruntire 1:60.

Concasoarele cu impact

La sfaramarea prin impact se arunca materialul cu viteza mare pe placile fixe de izbire (impact) care se dezintegreaza avind loc si izbirea reciproca intre bucatile de material. Se folosesc la sfaramarea prin impact numai a rocilor fragile.

1.3.3.4. Uscarea materiilor prime

Materiile prime contin umiditate naturala in proportii variabile in functie de natura acestora precum si de factorii climatici din zonele de amplasare a materiilor prime. Astfel, calcarul contine pina la 3% umiditate, marna 15%, iar argila pina la 20%, astfel ca in cazul procedurii uscat este necesara o uscare a materiilor prime inainte de macinare.

Metodele de uscare utilizate pot fi incadrate in urmatoarele grupe :

- uscarea in uscatoare tambur;
- uscatoare cu impact;
- uscatoare cu maruntire simultana dispuse in tandem;
- instalatii de macinare autogena;
- instalatii de uscare simultana cu macinarea.

Uscarea se duce, in general, cam pana la 1% umiditate, uscarea completa necesita un consum mare de caldura, nejustificat din punct de vedere economic.

Gazele de uscare pot avea o temperatura maxima de 600-650° C, aceasta pentru a nu provoca in timpul uscarii desfasurarea unor procese chimice care in unele cazuri pot fi daunatoare (divitrificarea zgurei granulate de furnal determina diminuarea proprietatilor latent hidraulice). Temperaturiile de iesire sunt cuprinse intre 120-125° C pentru a preveni condensarea vaporilor de apa. La aceste temperaturi scazute ale gazelor de evacuare, tirajul natural nu este suficient, de aceea astfel de instalatii lucreaza cu exhaustoare.

1.3.3.5. Maruntirea fina (macinarea)

Macinarea este o operatie extrem de importanta si se intalneste in doua etape si anume: macinarea materiilor prime si macinarea clincherului de ciment impreuna cu diverse adaosuri in vederea obtinerii cimentului. Circa 85% din energia totala este folosita pentru sfaramarea materiilor prime pentru macinare.

Pentru macinarea in sine se consuma 75%.

Agregatele pentru macinare folosite in ambele etape (materii prime si ciment) sunt morile cu bile si morile tubulare. Acestea se deosebesc intre ele prin raportul

dintre lungimea si diametrul cilindrului. La morile cu bile este cuprins intre 2 la 1 sau mai putin, iar la morile tubulare raportul este cuprins de la 3 la 1 pina la 7 la 1.

1.3.3.6. Capacitatea de productie a morilor

Depinde de urmatorii factori: turatia optima, cantitatea, timpul si dimensiunile corpurilor de macinare, volumul spatiului de macinare, amplitudinea materialului la macinare.

Pentru turatia corecta a morilor nu exista o formula universala, ci pe cale empirica s-au dedus formule ce au la baza turatia critica.

Prin turatie critica se intelege acea viteza de rotatie la care forta centrifuga anuleaza forta gravitationala ce actioneaza asupra bilelor de macinare. Ca urmare corpurile de macinare raman lipite de peretii morilor si procesul de macinare nu mai are loc. Turatia practica a morilor este, in general, de 65-90% din turatia critica, valorile depinzand de raportul intre lungimea si diametrul morii.

$$\text{Turatia critica} = -\frac{42,3}{\sqrt{D}} \text{ rot/min}$$

unde D= diametrul morii in metri.

$$\text{Turatia practica} = -\frac{23-32}{\sqrt{D}} \text{ ture/min}$$

Gradul de umplere a morii este raportul dintre volumul ocupat de corpurile de macinare si volumul util de lucru al morii. Acesta este cuprins intre 25-45%. La un grad mai mic corpurile aluneca pe peretii morii, iar la un grad mai mare se produc impiedicari de traiectorii efective de cadere libera a bilelor. Astfel pentru bile din otel gradul oscileaza intre 28-45%, iar pentru corpurile cilindrice intre 25-33%. In ceea ce priveste repartitia gradului de umplere la morile compartimentate, acesta scade odata cu cresterea finetii de macinare a materialului.

Atit macinarea uscata cit si cea umeda presupun o uzura a corpurilor de macinare. In cazul macinarii umede uzura corpurilor de macinare si a blindajului morilor este mai mare decit in cazul macinarii uscate. In cazul macinarii uscate, materiile prime formeaza un strat de protectie din material maruntit atit la suprafata bilelor cit si pe cea a blindajelor. Uzura corpurilor de macinare oscileaza aproximativ intre 15-110 g/tona de ciment.

Macinarea uscata se executa in mori cu bile compartimentate care lucreaza fie in ciclu deschis, fie in ciclu inchis.

Macinarea in ciclu deschis consta in faptul ca materialul supus macinarii trece o singura data prin moara. Constructia si exploatarea morilor dupa acest principiu este mai sigura. Se preteaza in general pentru procedeul umed.

Macinarea in ciclu inchis se caracterizeza prin faptul ca materialul supus macinarii traverseaza moara de mai multe ori, dupa ce in prealabil a fost trecut prin separatoare. Acestea separa partea fina de cea grosiera. Partea fina este trecuta la siloz, iar cea grosiera este reintrodusa in moara pentru macinare.

1.3.3.7. Transportul amestecului brut

De la mori amestecul brut (faina sau pasta) este transportat spre dispozitivele de omogenizare si depozitare, apoi la cuptoare cu mijloace de transport adecvate starii in care se afla acesta.

In cazul procedeului umed, transportul se face cu pompe cu piston sau centrifuge prin conducte. In cazul procedeului uscat, faina este transportata cu transportoare elicoidale, cu melc, rigole pneumatice sau benzi transportoare. Pe verticala faina bruta este transportata cu pompe pneumatice cu melc si camera (pompe Fuller).

1.3.3.8. Depozitarea si omogenizarea amestecului brut

Pentru depozitarea amestecului brut se utilizeaza bazine pentru pasta si silozuri pentru faina bruta, prevazute cu dispozitive de amestecare in vederea omogenizarii.

1.3.3.9. Arderea amestecului brut

Obtinerea clincherului

Formarea clincherului de ciment Portland este un proces extrem de complex, care depinde de o multitudine de factori atat chimici cat si fizici. Din punct de vedere termic si in mare masura si din punct de vedere al proceselor fizice si chimice care se petrec in cuptorul rotativ, acestea pot fi impartite in 6 zone :

- Zona de evaporare;
- Zona de incalzire;
- Zona de calcinare;
- Zona exotermica;
- Zona de clincherizare;
- Zona de racire.

Zonele de evaporare și de încălzire ocupă aproximativ 50-60% din lungimea cuptorului, zonele de calcinare și exotermica 25-30%, zona de clincherizare 10-15% și zona de răcire 2-4%.

În zona de evaporare-uscare care începe la capatul de alimentare a cuptorului se petrec numai procese fizice, evaporarea apei din material, uscarea acestuia și încălzirea până la temperatura de 200° C.

În zona de încălzire materialul se încălzește până la temperatura de 500-650° C. În această zonă încep deja reacțiile chimice, se modifică compoziția chimică și proprietățile fizice ale amestecului. Are loc descompunerea substanțelor organice și deshidratarea argilei. Caolinitul se descompune în metacaolinit.

În zona de calcinare temperatura atinge valori cuprinse între 900-1000° C. În această zonă are loc descompunerea $MgCO_3$ și a $CaCO_3$, formându-se MgO și CaO liber, în stare fin dispersată. Oxidul de calciu reacționează cu SiO_2 și cu Fe_2O_3 și Al_2O_3 . Pe măsura creșterii temperaturii au loc reacțiile în fază solidă. Al_2O_3 reacționează cu CaO formând mai întâi $CaO \cdot Al_2O_3$ iar apoi $12CaO \cdot 7Al_2O_3$. Oxidul de fier formează mai întâi $CaO \cdot Fe_2O_3$ iar apoi $2CaO \cdot Fe_2O_3$. Bioxidul de siliciu reacționează și el cu CaO formând $2CaO \cdot SiO_2$.

În zona exotermica temperatura se ridică până la 1300° C, reacțiile în fază solidă decurg cu viteză mare. În această zonă se formează cea mai mare parte a $2CaO \cdot SiO_2$. De asemenea $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ trece în $3CaO \cdot Al_2O_3$ iar $2CaO \cdot Fe_2O_3$ trece în $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$. Cantitatea CaO scade rapid. În această zonă se termină practic toate reacțiile în fază solidă.

În zona de clincherizare temperatura crește până la 1400-1450° C. Aici materialul se topește parțial. Faza topită interacționează cu produsele reacțiilor în fază solidă, cu alte cuvinte începe procesul de clincherizare. La începutul clincherizării în compoziția fazei topite intra C_4AF, C_3A, MgO și CaO în timp ce $2CaO \cdot SiO_2$ se găsește în fază solidă.

Pe măsura creșterii temperaturii o parte importantă din cantitatea de C_2S formată se dizolvă rapid în fază topită. În topitura C_2S reacționează cu CaO formând C_3S care se separă din topitura sub formă de cristale.

În zona de răcire temperatura scade până la 1000-1100° C. O parte din fază topită trece sub formă sticloasă, iar o parte cristalizează. Produsul astfel obținut este clincherul de ciment, prin a cărui macinare, împreună cu diverse adaosuri, rezultă cimentul Portland.

Formarea clincherului de ciment este un proces extrem de complex. Pentru simplificare, se împarte procesul de formare a clincherului în două etape: etapa formării mineralelor prin reacții în fază solidă și etapa formării mineralelor din

clinker în prezenta fazei lichide (topite). Factorii care influențează acest proces sunt următorii :

1.3.3.9.1. Influența reactivității materiilor prime

Componentul calcaros. Cercetările efectuate au arătat că amestecurile brute obținute pe baza utilizării calcarelor microcristaline sau a cretei sunt mai active decât cele obținute pe baza unor calcare cu grad avansat de cristalizare.

Componentul argilos. Toate mineralele argiloase sunt mai fin dispersate și ca atare vor fi mai reactive. Diferențele de reactivitate constau, în general, în diferențele vitezei de descompunere la încălzire, caracterul acestei descompuneri și intervalul de temperatură la care are loc, precum și cantitatea și natura impurităților. Marna și sisturile argiloase sunt mai active decât argilele silicioase.

Componenta silicioasă. Viteza reacției dintre SiO_2 și CaO depinde de dimensiunile particulelor. O influență deosebită asupra reactivității SiO_2 o exercită forma sub care acesta se găsește. Clasificarea tipurilor de componentă silicioasă, în ordinea reactivității, arată în felul următor: silice coloidală, calcedonia, varietățile sticloase (trassul) și diatomitul.

1.3.3.9.2. Influența gradului de dispersie a materiilor prime.

Cresterea finetei de macinare a componentelor amestecului de materii prime atrage după sine modificări ale unor proprietăți ale particulelor și anume :

- concomitent cu creșterea gradului de dispersie a granulelor se mărește cantitatea de particule care prezintă deteriorări ale rețelei cristaline – deci mai active;
- creșterea gradului de dispersie mărește valoarea energiei de suprafață;
- crește suprafața de contact dintre particule.

Toate aceste modificări ale stării pulberii (fainii brute) se rasfrâng asupra reactivității sale chimice.

1.3.3.9.3. Influența compoziției granulometrice a materialului de-a lungul cuptorului

Componentele amestecului brut se găsesc în stare fin dispersată, iar prin specificul cuptorului rotativ, într-o permanentă mișcare. În aceste condiții, contactul dintre particulele reactante prezintă o particularitate cu totul aparte în raport cu alte procese din industria silicatilor. Cercetările efectuate în acest scop au arătat că în lungul cuptorului rotativ, ca urmare a reacțiilor chimice, materialul

sufera si unele transformari fizice, care la rindul lor, exercita o puternica influenta asupra desfasurarii proceselor chimice. Astfel, in zona de uscare, ca urmare a indepartarii apei, are loc o aglomerare a materialului si, sub actiunea plasticitatii argilei, se transforma in bulgari de dimensiuni diferite. Acestia, sub actiunea mecanica a dispozitivelor de schimb de caldura (lanturile), sunt sfaramati in granule de diferite dimensiuni.

1.3.3.9.4. Influenta fazei topite

Aparitia fazei topite aduce dupa sine modificari importante ale procesului de formare a mineralelor din clincher. Unele din acestea recrystalizeaza prin intermediul fazei topite, iar altele initiaza reactii noi formind compusi noi. Sensul si mecanismul acestor transformari depind putin de compozitia topiturii, viteza acestora depinde numai, sau in masura importanta, de proprietatile fazei topite.

1.3.3.9.5. Influenta mineralizatorilor

Mineralizatorii sunt substante care adaugate la produsul de baza in cantitati reduse (0.1-1%) accelereaza procesul de formare al produsului respectiv. La fabricarea cimentului Portland, in calitate de mineralizator, pot fi folosite saruri ale acidului fluorhidric, combinatii fluosilicaticice sau chiar CaSO_4 ori CaCl_2 .

1.3.3.9.6. Influenta MgO

Oxidul de magneziu apare ca o impuritate frecventa a calcarelor si in clincherul de ciment continutul sau oscileaza in limitele de 0.5-5%. Prezenta in amestecul de materii prime a MgO pina la 5% determina scaderea vascozitatii fazei topite si accelereaza procesul de formare a alitului, imbunatatind totodata caracterul cristalizarii acestuia.

1.3.3.10. Procesul tehnologic de ardere a clincherului

Arderea clincherului de ciment se efectueaza in cuptoare rotative care lucreaza pe principiul contracurentului. Viteza de deplasare a materialului de-a lungul cuptorului are un caracter ondulatoriu. Temperatura maxima a gazelor de ardere in cazul ambelor procedee de fabricare este cuprinsa intre 1700-1800° C. Schimbul de caldura de la gazele calde la materialul din cuptor se realizeaza prin radiatie si

convectie. Procesul de transmitere a caldurii catre captuseala refractara are loc prin radiatie si prin conductibilitate. Ca urmare incalzirea particulelor de material se face atat prin contactul cu gazele calde cit si cu captuseala. La un grad optim de umplere a cuptorului cu material cat si la o viteza de rotatie corespunzatoare a cuptorului are loc o distributie uniforma a temperaturii in stratul de material.

Caracterul schimbului de caldura si cantitatea de caldura cedata nu este uniforma in toate zonele cuptorului.

Astfel, in zona de clincherizare, cedarea de caldura se face in proportie de 80-90% prin radiatie si are caracter intensiv. In zonele de calcinare, incalzire si uscare cedarea de caldura are loc prin convectie. Ca urmare, in acea zona, pentru intensificarea schimbului de caldura, este necesara marirea suprafetei de schimb prin montarea de dispozitive de schimb de caldura (baterii cicloane). Aceste dispozitive de schimb de caldura prezinta avantajul ca sunt instalatii stationare, determinand reducerea lungimi cuptorului si a energiei consumate prin rotirea acestuia.

1.3.3.11. Racirea clincherului

Racirea este necesara din mai multe motive si anume :

- aplicarea unei raciri corecte imbunatateste o serie intrega de proprietati ale cimentului;

- permite recuperarea unei cantitati insemnate de caldura si desfasurarea in bune conditii a procesului de macinare a clincherului.

Realizarea unei raciri corecte consta, in principal, dintr-o corelare a vitezei de racire cu procesele de echilibru termic la racire ale parogenezei de cristalizare din care face parte clincherul respectiv. Viteza de racire a clincherului de ciment mai poate fi dictata si de continutul in MgO al amestecului de materii prime. Pentru a se evita cristalizarea acestuia sub forma de periclaz sau eventual o crestere exagerata a dimensiunilor periclazului se procedeaza la o racire rapida a clincherului, aceasta pentru a evita inconstanta de volum a cimentului. In industria cimentului exista patru tipuri constructive de racitoare de clincher:

- racitoare tambur;
- racitoare planetare;
- racitoare gratar;
- racitoare verticale.

In industria cimentului din Romania cele mai folosite racitoare pentru clincher sunt racitoarele gratar cu placi mobile de impingere a clincherului, prevazute cu orificii prin care se insufla aer de racire.

1.3.3.12 Macinarea clincherului

Macinarea clincherului este operatia fundamentala si totodata ultima in procesul tehnologic de fabricare a cimentului. Modul in care este efectuata aceasta operatie este hotarator pentru calitatea cimentului. Operatia de macinare trebuie sa asigure, pe langa o finete corespunzatoare, si o compozitie granulometrica optima. Cercetarile au demonstrat ca fractiunea optima este cuprinsa intre 3- 30 milimicroni. O finete mai mare de $5000 \text{ mm}^2/\text{g}$ nu mai influenteaza crestera rezistentelor, din contra, produce o scadere a acestora.

Macinarea se realizeaza in mori cu bile de mare capacitate cu circuit inchis sau deschis. O data cu clincherul la macinare se mai introduc si adaosuri ca: ghips si cenusa de termocentrala pentru reglarea timpului de priza.

Compozitia mineralogica a clincherului determina comportari diferite ale acestuia in timpul macinarii. Clincherele cu un continut mai ridicat de $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ au aptitudinea de macinare mai mare decat a clincherelor belitice.

1.3.3.13. Insilozarea cimentului

Dupa macinare, cimentul este transportat pneumatic in silozuri de depozitare in vederea stocarii si livrarii. Aceste silozuri sunt bine izolate la intemperii pentru a evita hidratarea unei parti de ciment si degradarea acestuia, fiind prevazute cu dispozitive de afanare a cimentului (pentru evitarea aglutinarii acestuia).

1.3.3.14. Ambalarea si livrarea cimentului

Livrarea cimentului se poate efectua fie in vrac, fie ambalat in saci de hartie. Silozurile de depozitare a cimentului permit introducerea vagoanelor speciale pentru incarcarea cimentului in vrac.

1.3.4. Priza si intarirea cimentului.

Utilizarea practica a cimentului Portland se bazeaza pe faptul ca atunci cand este amestecat cu apa formeaza o pasta plastica , care cu timpul se intareste, transformandu-se intr-un corp rigid cu rezistente mecanice insemnate. Acest proces are loc in doua etape:

- in prima etapa pastele isi pierd treptat plasticitatea si devin mai mult sau mai putin friabile;

- in a doua etapa are loc consolidarea din punct de vedere mecanic pana ce in final se ajunge la o textura pietroasa.

In ansamblu aceste doua etape constituie ceea ce se numeste in mod obisnuit priza si intarirea cimentului.

Prima teorie cu privire la mecanismul procesului de intarire a cimentului Portland a fost elaborata de catre Le Chatelier in anul 1882. Potrivit acestei teorii priza si intarirea cimentului se desfasoara dupa un proces asemanator prizei si intaririi ipsosului, adica prin procese de dizolvare si precipitare a produsilor hidratati din solutiile suprasaturate, urmata de cresterea cristalelor.

In anul 1893 Michaelis a prezentat asa- numita "teorie coloidala", potrivit careia priza cimentului se datoreste formarii si precipitarii formatiunilor coloidale, iar intarirea se datoreste pierderii apei, fie in exterior fie in interior, prin asa numita "sugere interioara", cauzata de hidratarea definitiva a partilor din granulele de ciment nehidratate inca. Schematic intregul proces se poate formula ca in figura 1.3.8.

Clincherul de ciment Portland este alcatuit din mai multi constituinti mineralogici care prin specificul lor reactioneaza in mod diferit cu apa, iar prezenta simultana a acestora in acelasi amestec determina interdependente si influente reciproce. Pentru intelegerea tuturor fenomenelor fizico- chimice care au loc este necesara examinarea separat pe categorii de componentii in parte.

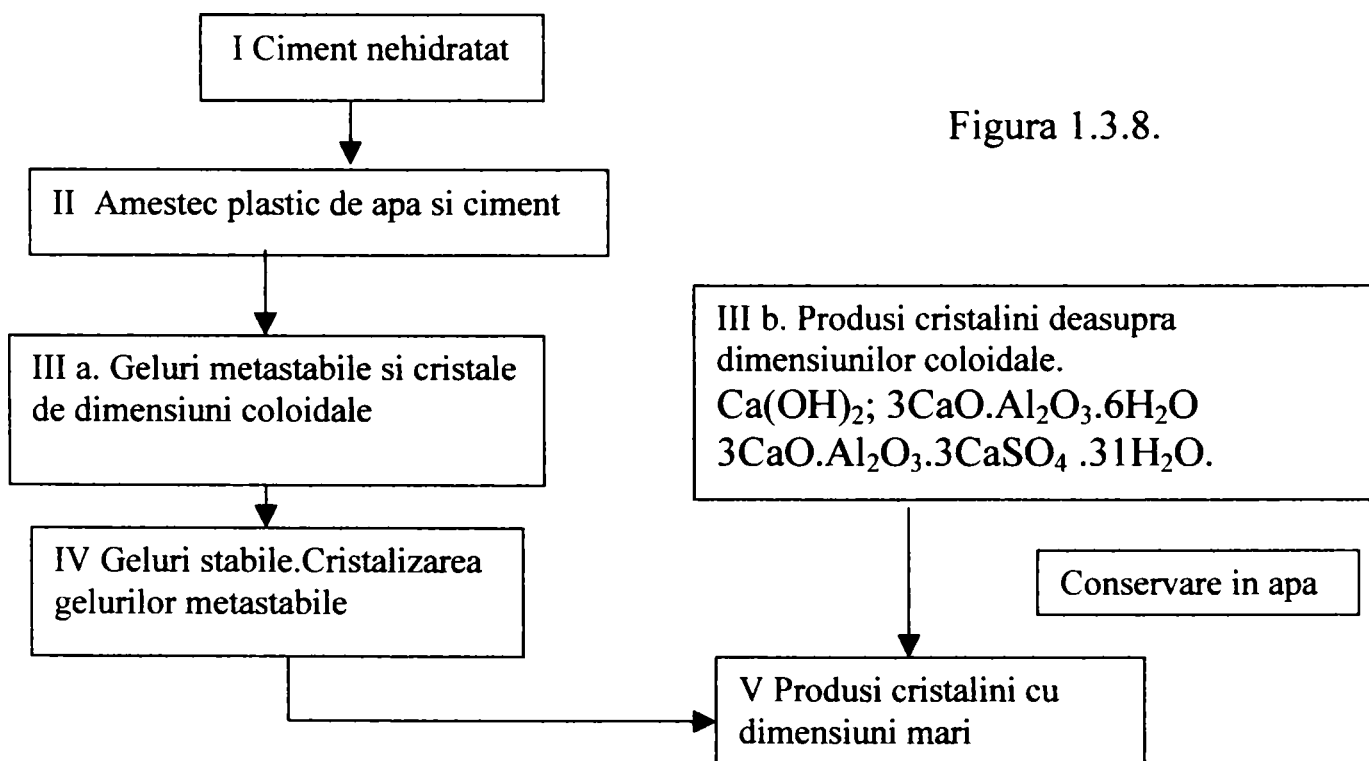


Figura 1.3.8.

Reactiile chimice care decurg la amestecarea cimentului cu apa determina schimbarea structurii fizice a pastei. Aceasta isi pierde treptat plasticitatea devenind rigida. Aceasta schimbare este cunoscuta sub denumirea de priza. Termenii "inceputul" si "sfarsitul prizei" care marcheaza pierderea plasticitatii si sfarsitul acestui proces sunt, de fapt, niste termeni conventionali.

Procesul de priza este in mod intim legat de doua fenomene, prin masurarea carora se pot obtine date precise cu privire la "inceputul" si "sfarsitul" prizei. Acestea sunt degajarea de caldura si conductibilitatea electrica.

Determinarea vitezei reactiilor chimice care se petrec la priza cimentului ne ajuta la cunoasterea naturii acestora si ne permite sa calculam cantitatea de ghips necesara pentru incetinirea acestui proces in limitele posibilitatii unei prelucrari normale ale mortarelor si betoanelor pe baza de ciment Portland.

Se admite, in general, ca inceputul prizei ar putea fi determinat de hidratarea C_3A sau a C_3S .

Daca nu se utilizeaza nici un intarziator de priza, sau daca continutul in C_3A este ridicat, el trece rapid in solutie si tot atat de rapid se hidrateaza producand o rigidizare brusca a pastei de ciment, insotita de o degajare brusca de caldura. In realitate reactiile de hidratare se suprapun in parte, astfel ca inceputul prizei nu poate fi atribuit numai formarii si separarii hidroaluminatilor.

Paralel cu C_3A se hidrateaza si ceilalti componentii, in special C_3S . Gelurile coloidale de hidrosilicati vor fi precipitate aproape in momentul formarii lor, sub actiunea ionilor rezultati la disocierea hidroaluminatului din solutie. Aceasta coagulare inglobeaza totodata granule de ciment in starea in care se afla (partial sau total nehidratate), oprind procesul de hidratare a acestora, contribuind totodata la rigidizarea pastelor de ciment.

Adaosul folosit universal este gipsul. Actiunea incetinitoare a procesului de priza a cimenturilor Portland consta in faptul ca datorita solubilitatii sale trece in solutie, reactionand apoi cu hidroaluminatul de calciu formand combinatia complexa insolubila etringitul. In acest mod aluminatul de calciu nu-si mai poate exercita actiunea coagulanta asupra gelurilor de hidrosilicati, aceasta coagulare facandu-se normal. Din acest motiv cantitatea optima de gips care se adauga in calitate de incetinitor va diferi de la un tip de clincher la altul, in raport cu compozitia mineralogica a acestora si in principal in raport cu continutul in C_3A . Cantitatea optima de adaos de gips este influentata si de cantitatea de metale alcaline pe care le contin cimenturile Portland. Cu cat cantitatea de metale alcaline va fi mai mare, cu atat va fi necesara o cantitate mai mare de gips.

Pentru reglarea timpului de priza se recomanda introducerea numai a cantitatii optime de gips, deoarece prezenta acestuia in exces influenteaza si alte proprietati

ale cimentului si anume: rezistentele mecanice la compresiune, contractia la uscare si dilatarea la termene lungi. S-a stabilit ca rezistentele mecanice ale cimenturilor Portland cresc o data cu cresterea cantitatii de gips adaugate pana la o anumita valoare, apoi incep sa scada. Cresterea rezistentelor mecanice se explica prin aceea ca ghipsul determina accelerarea proceselor de hidratare a particulelor de ciment.

Adaosul de gips micsoreaza, de asemenea, si contractia la uscare a particulelor de ciment. Excesul de gips adaugat este cauza expansiunii mortarelor si betoanelor din ciment la termene mai lungi de intarire. Aceasta este cauza principala pentru care continuturile in SO_3 in cimenturi sunt limitate la o anumita valoare maxima.

Pentru cimenturile Portland produse in mod curent, majoritatea standardelor prevad ca inceputul prizei (determinat dupa o metodologie standardizata) sa nu se produca mai devreme de 1 ora, iar sfarsitul sa nu se produca mai tarziu de 10 ore.

In cazul cimenturilor Portland cu intarire rapida unele standarde prevad ca inceputul prizei sa nu se produca mai devreme de 45 min, iar sfarsitul mai tarziu de 10 ore.

Pentru anumite scopuri se pot utiliza si cimenturi cu priza rapida produse special, la care inceputul de priza variaza intre 1 si 10 minute, iar sfarsitul intre 5 si 30 minute.

Termenul de "priza falsa" indica inceperea intaririi premature a unui ciment Portland, in cateva minute de la preparare, fara degajare puternica de caldura. Prin reamestecarea energica a pastei de ciment, mortarului sau betonului cu priza falsa, fara adaugare de apa, se restabileste plasticitatea initiala, materialul facand apoi priza normala, iar rezistentele initiale si finale nu sunt afectate. Cimentul cu "priza falsa" se deosebeste deci de cimentul cu priza rapida, prin faptul ca inceperea prizei false nu este insotita de degajare puternica de caldura, iar prin amestecarea energica in continuare plasticitatea revine si cimentul face priza si se intareste normal.

Fenomenul de priza falsa este explicat insuficient in prezent in literatura de specialitate, cauzele care-l provoaca fiind considerate urmatoarele:

1) Deshidratarea totala sau partiala a gipsului pentru reglarea timpului de priza in situatiile cand la macinarea cimentului temperaturile depasesc $110-120^{\circ}\text{C}$ se produce transformarea gipsului in anhidrit (CaSO_4) sau in sulfat de calciu semihidratat ($2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), care la amestecarea cimentului cu apa se hidrateaza formand gips. In acest mod are loc priza ipsosului cu intarirea corespunzatoare a pastei de ciment.

2) In timpul depozitarii alcaliile din ciment se pot carbonata, iar carbonatii alcalini reactioneaza cu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pus in libertate prin hidratarea C_3S si formeaza CaCO_3 care participa si provoaca intarirea pastei.

In unele cazuri in care cimentul proaspat fabricat face priza falsa, dupa lasarea in repaus 3-7 zile, fenomenul de priza falsa dispare.

Intarirea cimentului Portland.

Cercetarile asupra mecanismului proceselor de intarire a cimentului evidentiaza opinii diferite, in ceea ce priveste fenomenele care conditioneaza structura de rezistenta a cimentului. Astfel, in conformitate cu teoria cristalizarii elaborata de Le Chatelier, rezistenta se atribuie aparitiei concretiunilor cristaline a noilor formatiuni hidratate care precipita din solutie si care, prin impaslire, dezvolta structuri cristaline rezistente.

In conformitate cu teoria lui Michaelis, structura de rezistenta se datoreaza formarii hidrogelurilor care unesc particule de ciment nehidratat si agregatele intr-un conglomerat rezistent.

Opinii mai recente cu privire la procesul de formare a structurii de rezistenta a pietrei de ciment consta in urmatoarele: procesul de formare se desfasoara in doua etape:

- In etapa I are loc formarea scheletului structurii cristaline, datorita aparitiei germenilor de cristalizare si a contactelor de concretiune, fiind posibila, in acelasi timp, si cresterea cristalelor mici concretionate intre ele.

- In etapa a II-a, datorita scaderii concentratiei de hidrocompusi in solutie, nu mai apar contacte de concretiune, ci are loc cresterea cristalelor mici care formeaza scheletul cristalin; acest proces duce, pe de-o parte, la o consolidare si crestere a rezistentei structurii de intarire, iar pe de alta parte, la aparitia de tensiuni interne, care micsoreaza rezistenta structurii.

Dupa un anumit timp, cand concentratia solutiei intergranulare in compusi hidratati scade foarte mult, ajungand sub limita de saturatie, are loc dizolvarea contactelor de concretiune termodinamic instabile, ceea ce duce la o restructurare prin recristalizare a structurii de rezistenta.

Potrivit acestei opinii, structura de rezistenta este dependenta de gradul de suprasaturare a solutiilor intergranulare.

La saturatie foarte mare apar contacte foarte numeroase si cu tensiuni interne, iar la saturatie redusa apare un numar redus de contacte, care determina o structura de rezistenta neansemnata.

Pasta de ciment intarita contine atat produse de hidratare (geluri si cristale) cat si o parte din nucleele granulelor de ciment nehidratate. Acest lucru se poate observa cu usurinta in figurile 1.3.9, 1.3.10, 1.3.11, 1.3.12.

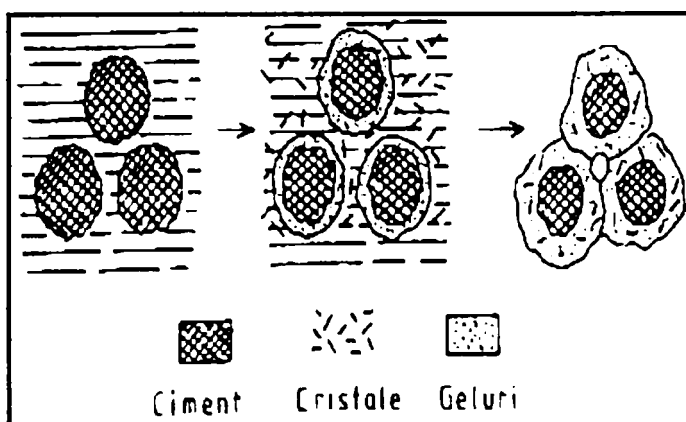


Figura 1.3.9.
Schema procesului de hidratare
a unor granule de ciment



Figura 1.3.10
Hidratarea unui ciment portland
(A/C=0,50), dupa 7 zile. E=Etringit
intre hidrosilicatii de calciu



Figura 1.3.11.
Hidrosilicatii de calciu intr-un
ciment portland (A/C=0,50),
dupa prima zi de hidratare



Figura 1.3.12.
Hidratarea unui ciment portland
(A/C=0,50) dupa 3 luni

Aceasta structura complexa a facut pe V.N. Jung sa numeasca cimentul intarit microbeton[13-21]. Din figura 1.3.13 rezulta ca C_3A si C_4AF au viteza mare de hidratare, C_3S are viteza de hidratare moderata, iar C_2S se hidrateaza lent .

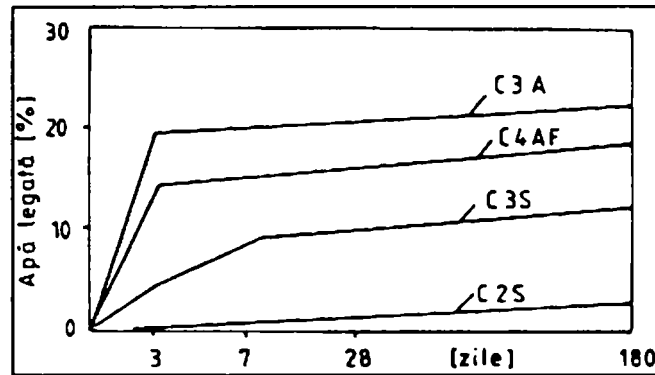


Figura 1.3.13.
Viteza de hidratare a componentilor mineralogici.

Caldura de hidratare degajata in procesul de hidratare de cei 4 componente mineralogici ai cimentului este reprezentata in fig.1.3.14 si arata cea mai mare degajare de caldura in primele zile de hidratare pentru C_3A si C_3S , o degajare de caldura modetrata pentru C_4AF si o degajare de caldura mai lenta pentru C_2S . astfel, un ciment bogat in C_3A si C_3S poate sa contribuie in conditii izotermele ridicarea temperaturii betonului cu mai multe zeci de grade Celsius.

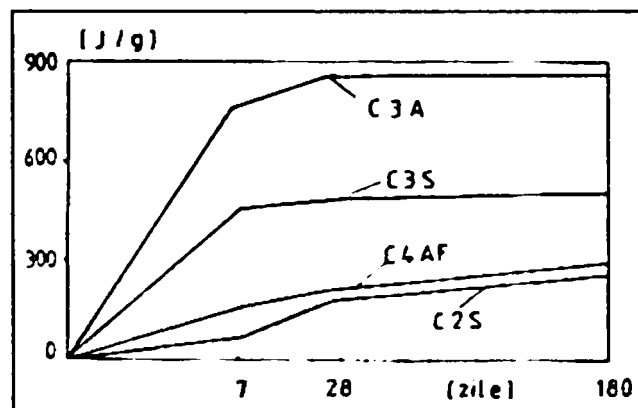


Figura 1.3.14.
Caldura de hidratare a componentilor mineralogici.

Rezistentele la compresiune pe paste pure pentru cei patru compusi mineralogici principali ai cimentului arata (fig. 1.3.15) ca silicatul tricalcic C_3S are rezistenta initiala mare, care continua sa creasca in timp pana la 90-180 zile. Silicatul bicalcic C_2S are rezistenta initiala mica iar cresterea acesteia in timp este redusa. Ferit aluminatul tetracalcic C_4AF prezinta rezistenta initiala acceptabila si inregistreaza o crestere de rezistenta importanta in timp. Aluminatul tricalcic asigura numai in primele 90 de zile o rezistenta mai mare decat silicatul bicalcic, care in timp insa nu mai creste si in anumite conditii de mediu poate chiar sa regreseze. de aceea se considera ca practic, sub aspectul rezistentelor mecanice, C_3A nu are vreun aport asupra proprietatilor mortarelor si betoanelor.

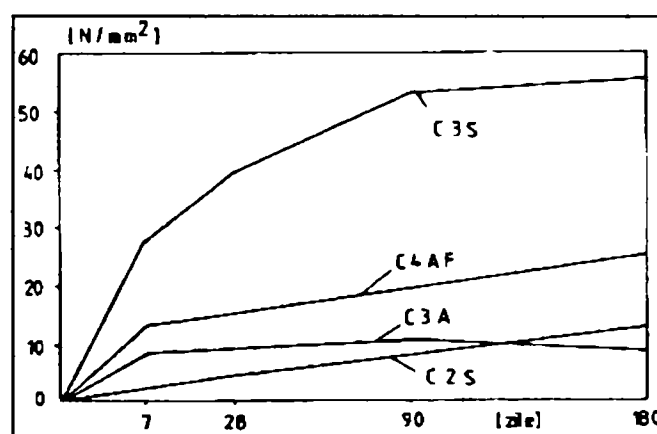


Figura 1.3.15

Variatia rezistentei la compresiune a componentilor mineralogici.

Rezistentele la actiunea fenomenului de inghet- dezghet repetat se manifesta aproximativ in acelasi mod cu rezistentele mecanice, in sensul ca C_3S asigura cea mai buna rezistenta, iar C_3A cea mai slaba.

Sub aspectul contractiei la uscare, cei 4 componentii mineralogici au valori relative dupa cum urmeaza:

$$C_3A = 0,0322; C_4AF = 0,0168; C_3S = 0,0100; C_2S = 0,0046$$

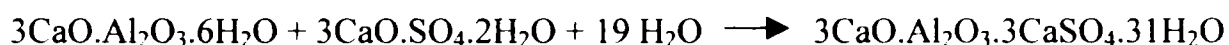
rezultand ca si sub aspectul contractiei hidroaluminatii de calciu au contractii mult mai mari in raport cu silicatii de calciu.

La intarirea cu tratament termic se comporta bine componentii C_3S , C_2S si C_4AF si slab C_3A . Astfel, cimenturile pentru industria prefabricatelor, unde intarirea este accelerata prin tratament termic, ar trebui sa aiba din fabricatie un continut cat mai redus posibil de C_3A (dupa Dr. Reinsdorf- Germania, continutul de C_3A in

cimenturile pentru elemente prefabricate întarite cu tratament termic ar trebui limitat la max 8%)

În afara de reacțiile de hidratare ale celor 4 componente mineralogici principali, în pasta de ciment se mai produc și o serie de reacții secundare, care pot influența sensibil durabilitatea și proprietățile cimentului și betonului întarit.

Reacțiile secundare mai importante sunt următoarele: practic toate cimenturile contin în anumite proporții C_3A , compus mineralogic care în procesul de ardere al clincherului are rol pozitiv (acționând ca fondant). Prezența C_3A în ciment, datorită reacției foarte rapide cu apă, conduce la fenomenul de priză instantanee, pentru prevenirea careia este necesar ca la macinarea cimentului să se adauge gips pentru reglarea timpului de priză. Reacția dintre o parte din aluminatul de calciu format prin hidratarea C_3A și sulfatul de calciu deshidratat (gipsul) adăugat la macinarea cimentului se produce după ecuația:



Reacția se produce cu o marire a volumului aparent de 2-3 ori, însă nu este daunatoare când se produce în faza incipientă de hidratare și cimentul nu a făcut priză. Din acest motiv, gipsul utilizat la macinarea cimentului este limitat în funcție de conținutul clincherului în C_3A . De exemplu, standardul englez BS 12/1978 admitea un conținut de gips exprimat ca SO_3 de 2,5%, când conținutul de C_3A din ciment este mai mic de 7% și $SO_3 = 3\%$ când conținutul de C_3A este mai mare de 7%. Reacția de hidratare a oxidului de calciu rămas necombinat în procesul de ardere a clincherului, care se hidratează cu o marire de volum poate, de asemenea, provoca expansiunea cimentului. În cazul în care oxidul de calciu liber se găsește în ciment sub 2% din masa clincherului, expansiunea nu are efecte importante.

1.3.5. Hidratarea constituentilor mineralogici.

1.3.5.1. Hidratarea silicatilor de calciu

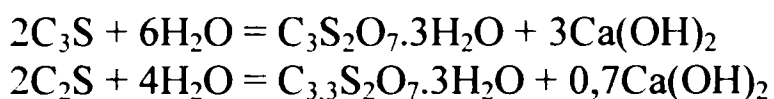
Dacă reacțiile de hidratare se petrec la temperaturi coborate (în general sub 100^0 C) se obțin hidrosilicatii cu structură defectuoasă foarte apropiată de structură amorfă.

La temperaturi peste 100^0 C se obțin hidrosilicatii cu un grad de cristalizare avansat. În cazul cimentului Portland vor predomină hidrosilicatii din prima categorie. Hidrosilicatii pot fi clasificați în mai multe grupe:

- grupa cu structură asemanătoare cu wollastonitul;

- grupa tobermolitilor;
- grupa girolitului.

Cea mai importanta pentru intarirea cimentului este grupa tobermolitilor, deoarece hidrosilicatii care se formeaza la hidratarea cimentului Portland, la temperatura obisnuita, prezinta caracteristici asemanatoare tobermolitilor. Formula generala se poate scrie $XCaOSiO_2 \cdot YH_2O$, unde X si Y sunt raporturile molare corespunzatoare CaO/SiO_2 si H_2O/SiO_2 . Stoechiometria aparent exacta a reactiilor de hidratare se poate face pe baza reactiilor:



1.3.5.2 Hidratarea aluminatilor de calciu

Toti aluminatii de calciu se hidrateaza fara eliberarea de $Ca(OH)_2$ in faza solida. Studiul sistemului $CaO-Al_2O_3-H_2O$ a aratat ca in intervalul de temperaturi $21-90^{\circ}C$ unica faza stabila la concentratii mai mici de $0,33g CaO/litru$ este gipsitul $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$, forma cubica a hidroaluminatului $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ se formeaza in faza solida la concentratii mai mari de $0,33g CaO/litru$ alaturi de CaO , bi si tetra-hidroaluminatii de calciu apar in acest sistem ca si combinatii nestabile.

1.3.5.3 Hidratarea celorlalte faze din clincher

Faza sticloasa la hidratare formeaza o solutie solida de hidroaluminat cu formula generala $C_3(A,F)H_6$. Este posibila formarea unor faze hidratate mult mai complicate, insotita uneori de substituirea izomorfa a H_2O cu SiO_2 . De exemplu se semnaleaza uneori formarea hidrogranatilor de tipul celor intalniti in natura $3CaOAl_2O_3 \cdot 3SiO_2$ –grosularul.

CaO si MgO liberi se hidrateaza formand $Ca(OH)_2$ si, respectiv, $Mg(OH)_2$. Procesul decurge foarte lent, prelungindu- se si dupa formarea structurii de rezistenta a pietrei de ciment, provocand asa numita inconstanta de volum.

1.3.5.4 Formarea de combinatii complexe

La macinarea clincherului de ciment se adauga inttdeauna o anumita cantitate de ghips. La amestecarea cu apa a cimentului, ghipsul trece in solutie si reactioneaza cu aluminatul tricalcil dizolvat, formand hidrosulfoaluminatul de calciu, etringitul.

In general se cunosc doua tipuri de etringit:

- Forma inalt sulfatata de compozitie $3CaOAl_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$. Cristalizeaza sub forma aciculara si este cea mai stabila.
- Forma slab sulfatata $3CaOAl_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$. Se prezinta sub forma de placute hexagonale si se formeaza la intarirea cimenturilor care contin baze alcaline.

1.3.5.5 Hidratarea pulberii de ciment

La amestecarea cimentului cu apa, acesta se imbogateste rapid in baze alcaline si in CaO, ca urmare a hidrolizei mineralelor corespunzatoare si a dizolvarii ghipsului. Continutul in ghips incepe sa scada rapid ca urmare a legarii sale sub forma sarii insolubile- sulfataluminat de calciu.

In rezumat, la hidratarea cimentului Portland au loc urmatoarele reactii:

1. Silicatul tricalcic formeaza hidrosilicat de tipul C_2SH_2 si $Ca(OH)_2$; silicatul bicalcic formeaza C_2SH_2 , de asemenea este posibila formarea unor cantitati reduse de gel tobermoritic din seria CSH I.
2. Aluminatul tricalcic reactioneaza in solutie cu ghipsul formand etringit.
3. Alumoferitii de calciu formeaza cu ghipsul solutii solide de sulfati aluminati si sulfati feriti de calciu, iar la o cantitate insuficienta de ghips formeaza $C_3(AF)H_6$.
4. Faza sticloasa formeaza hidroalumoferiti si o oarecare cantitate de hidrogranati de calciu.

1.3.6 Proprietatile cimentului Portland

In aprecierea proprietatilor fizico-mecanice ale cimentului Portland trebuie avut in vedere ca acestea depind atat de modul de obtinere a clincherului de ciment, cat si de modul de realizare a betoanelor si mortarelor, de adaosurile utilizate si de conditiile de intarire.

Tinand cont de acesti factori, proprietatile cimentului Portland sunt urmatoarele:

Greutatea specifica depinde de compozitia mineralogica si de cantitatea si natura adaosurilor. In general greutatea specifica oscileaza intre $3,05-3,20 \text{ g/cm}^3$. Faza alumoferitica determina cresterea greutatii specifice, de asemenea adaosurile de BaO determina cresterea greutatii specifice. Adaosurile puzzolanice si de zgura duc la scaderea greutatii specifice.

Greutatea in gramada in stare afanata este cuprinsa in limitele de 900- 1100 g/litru, iar in stare indesata intre 1400-1700 g/litru. Greutatea in gramada depinde

de compozitia mineralogica si de finetea de macinare. Cu cat finetea de macinare este mai mare, cu atat este mai mica greutatea in gramada.

Finetea de macinare influenteaza viteza de desfasurare a proceselor de hidratare-hidroliza a cimentului si, ca atare, viteza de intarire si mai ales dinamica cresterii rezistentelor mecanice.

Cu cat finetea de macinare este mai avansata, cu atat rezistentele mecanice sunt mai mari, mai ales la primele termene.

Aprecierea finetei de macinare se face prin exprimarea in procente a reziduului ramas la cernerea cimentului pe site cu un anumit numar de ochiuri/cm² sau prin masurarea suprafetei specifice.

Pentru cimenturile Portland obisnuite reziduul pe sita cu 4700 ochiuri/cm² este cuprins intre 4,5-12,9 % sau suprafata specifica cuprinsa intre 2500- 5000 cm²/g.

Analizele efectuate de CEPROCIM au aratat ca determinarea finetei cimentului prin cernere, desi este accesibila tuturor laboratoarelor, nu este concludenta, deoarece nu da indicatii asupra dimensiunilor particulelor cimentului analizat.

Analizele efectuate au aratat ca nu exista o corelare satisfacatoare intre rezultatele obtinute la determinarea finetei de macinare a cimentului prin cernere si suprafata specificata a acestuia, motiv pentru care in standardele romanesti mai noi s-a renuntat la determinarea finetei cimentului prin cernere.

Astfel, caracterizarea finetei de macinare a cimentului se face prin determinarea suprafetei specifice exprimata ca arie totala a suprafetei granulare de ciment, in cm²/g (dupa metoda Blaine care este mult utilizata si pe plan international).

In alte tari se utilizeaza mai multe metode pentru determinarea suprafetei specifice a cimentului, ca de exemplu metoda Lea- Nurse in Anglia si metoda Wagner in paralel cu metoda Blaine in SUA.

Metodele Blaine si Lea- Nurse conduc la obtinerea de rezultate apropiate, insa mai mari cu peste 100 cm²/g, prin comparatie cu metoda Wagner.

Sub aspectul practic trebuie de asemenea evidentiata principalele avantaje si dezavantaje ale cresterii finetei de macinare a cimentului, comparatiile facandu-se cu cimenturile cu finete corespunzatoare suprafetei specifice de circa 2500cm²/g (determinat prin metoda Blaine):

1) Rezistentele mecanice ale clincherului de ciment cresc cu finetea de macinare a cimentului, cresterile fiind mai importante pentru rezistentele initiale (la 1-3 zile de la preparare). Acest lucru se poate observa cu usurinta si in figura 1.3.16.:

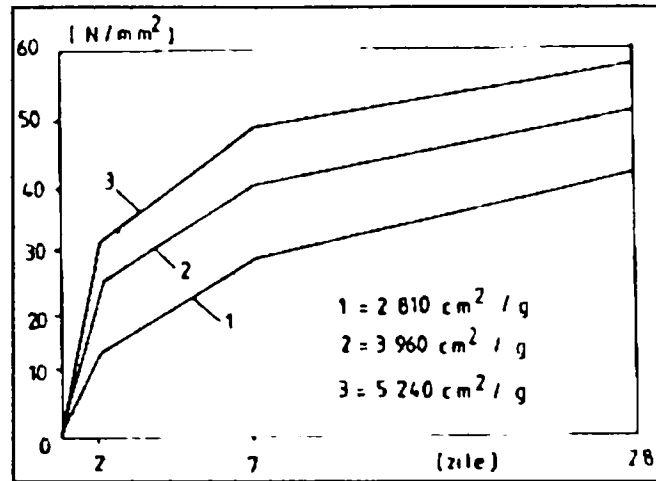


Fig. 1.3.16

Variatia rezistentei unor cimenturi portland obtinute din acelasi clincher, in functie de finetea de macinare exprimata prin suprafata specifica.

2) Caldura de hidratare a cimenturilor creste sensibil in perioada initiala cu finetea de macinare, ceea ce favorizeaza scurtarea ciclului de productie in industria prefabricatelor si in executia lucrarilor de constructii pe timp friguros (fig.1.3.17):

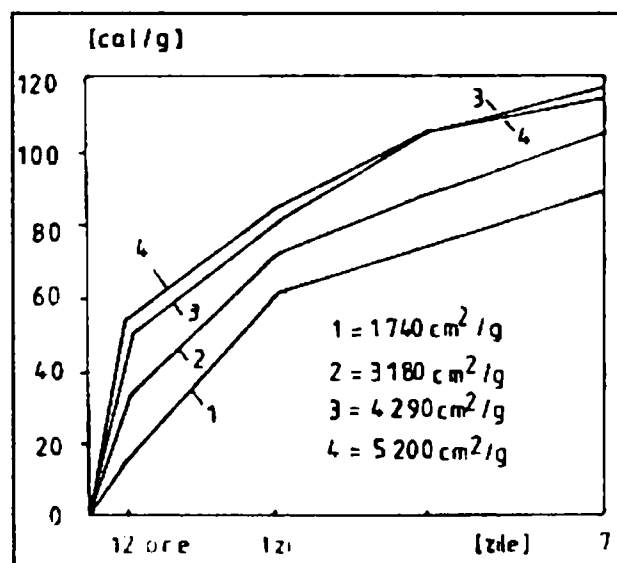


Figura 1.3.17

Variatia cantitatii de caldura de hidratare degajata in primele 7 zile de cimenturi obtinute din acelasi clincher, in sa cu finete de macinare diferita.

3) Cresterea finetei de macinare a cimentului contribuie la imbunatatirea lucrabilitatii betonului proaspat, la cresterea gradului de impermeabilitate si a rezistentei la cicluri de inghet- dezghet pentru betonul intarit.

4) Cresterea finetei de macinare a cimentului are insa si efecte negative, accentuand contractiile si tendinta de fisurare a mortarelor si betoanelor, curgerea lenta etc., aspecte ce impun limitarea finetei de macinare a cimenturilor obisnuite la $3200-3500 \text{ cm}^2/\text{g}$ si a cimenturilor cu intarire rapida la $4500-5500 \text{ cm}^2/\text{g}$.

5) Necesarul de apa de preparare creste cu finetea cimentului pentru o pasta de consistenta normala.

6) Cresterea finetei de macinare necesita cresterea cantitatii de gips pentru reglarea timpului de priza.

Timpul de priza este determinat de viteza cu care se desfasoara procesele de hidratare- hidroliza a particulelor de ciment. Aceasta depinde de natura constituentului mineralogic si de finetea de macinare. Dintre constituentii mineralogici, cel mai rapid se hidrateaza C_3A si cel mai lent βC_2S . Cimenturile Portland nu trebuie sa manifeste inceputul de priza mai repede de 45 min. din momentul adaugarii apei si sa nu se termine acest proces mai tarziu de 12 ore.

Rezistentele mecanice stau la baza utilizarii practice a cimenturilor. Ele depind, in afara de caracteristicile proprii ale cimentului portland, si de alti factori ca: compozitia mortarului sau betonului, plasticitatea acestora, modul de pastrare, timpul de intarire, modul de incercare etc. Din aceste motive metodica incercarilor de rezistenta este reglementata de norme standardizate. Tot prin aceste norme sunt clasificate cimenturile in raport cu rezistenta la compresiune pe care acestea trebuie sa o dezvolte. Rezistentele mecanice depind intr-o masura insemnata de compozitia partii silicate a clincherului de ciment. Cu cat este mai mare cantitatea de C_3S , cu atat rezistentele mecanice finale vor fi mai mari. Cresterea continutului in βC_2S atrage dupa sine scaderea rezistentelor mecanice, mai ales ritmul de crestere a acestora in timp este mai lent. O influenta deosebita asupra rezistentelor mecanice o are continutul in C_3A . continutul ridicat in C_3A (10-12%) determina o crestere rapida a rezistentelor mecanice initiale, in schimb provoaca scaderea acestora la termene lungi.

Modul in care se determina rezistentele mecanice ale cimentului influenteaza destul de mult valorile ce se obtin pentru aceste diferente la diferite termene de incercare, deoarece in diferite tari se aplica metode diferite pentru determinarea rezistentelor cimenturilor.

Sub aspectul rezistentelor mecanice, doua cimenturi pot fi comparate intre ele numai in situatia in care ambele au fost incercate folosind aceeasi metoda.

Tara sau organizatia internationala ce a standardizat și indicativul metodei					
Caracteristicile principale ale metodei	S.U.A.:	Anglia:	Rusia:	ISO-CEMBUREAU:CEH	Japonia:
	ASTM C109-77	BS4550 partea 3-a-78	GOST 3104-76	RILEM R679; ENV 196-1	Jis 5201-77
Ciment/risip	1/2,75	1/3	1/3	1/3	1/2
Apă/ciment	P=0,485 AEP=0,460	0,40	0,40	0,50	0,65
Natura nisipurii utilizat	Silicios de Ottawa	Silicios	Silicios	Silicios, având granulele rotunjite	Silicios
Granulozitatea (mm)	0,15-0,60	0,60-0,85 max. 10% sub 0,60	0,50-0,90	0,08-2,00	0,10-0,30
Dimensiunea epruvetelor de încercare (cm)	5 x 5 x 5	7 x 7 x 7	4 x 4 x 16	4 x 4 x 16	4 x 4 x 16
Compactarea epruvetelor	Batere manuală	Pe masa vibrantă	Pe masa vibrantă	Pe masa de șoc	Batere manuală
Modul de încercare	Compresiune	Compresiune	Încoviere și compresiune pe jumătăți de prismă	Încoviere și compresiune pe jumătăți de prismă	Încoviere și compresiune pe jumătăți de prismă
Tările care aplică metoda	S.U.A., Canada, Mexic, Columbia, Venezuela, Filipine, Tailanda, Taiwan	Anglia, Egipt, Ghana, Nigeria, Republica Sud Africană, Zambia, Zimbabwe, Jamaica, India, Irak, Israel, Pakistan, Singapore	Rusia, Ucraina, Belarus, alte țări din C.S.I.	România, Maroc, Algeria, Tunisia, Argentina, Costa-Rica, Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Chile, Cuba, Paraguay, Sri Lanka, Belgia, Bulgaria, Cehoslovacia, Danemarca, Finlanda, Franța, Germania, Grecia, Islanda, Irlanda, Italia, Luxemburg, Olanda, Norvegia, Polonia, Portugalia, Ungaria, Spania, Suedia, Turcia și Jugoslavia	Japonia

In tabelul 1.3.9. sunt redate metodele de incercare a cimenturilor uzuale folosite si tarile care le aplica. (P= ciment portland, AEP=ciment portland cu antrenori de aer la macinare.)

Determinarea rezistentelor cimenturilor portland in Romania se face pe baza metodei internationale ISO TC 679, denumita si metoda RILEM-CEMBUREALI dupa numele organizatiilor internationale care au pus initial la punct aceasta metoda.

Metodologia este standardizata inca din anul 1967 (STAS 7727-67 si STAS 5156-67, care au devenit ulterior prin unificare STAS 227/6, iar modul operator pentru determinarea rezistentei cimenturilor este prezentat in STAS 227/6). Aceasta metoda este in prezent oficializata (cu mici diferente) ca norma europeana prin EN 196-1 si SR 196-1/95.

Rezistentele mecanice ale cimenturilor sunt influentate de un numar mare de factori, din care mentionam:

1) compozitia chimico- mineralogica a cimentului si raportul intre cei 4 componentii mineralogici principali, avand in vedere ca rezistentele cele mai mari sunt asigurate de silicatultricalcic C_3S

2) finetea de macinare a cimentului, deoarece granulele mai fine asigura o hidratare mai avansata a cimentului, iar granulele mai grosiere (cu diametrul peste $50 \mu m$) conserva in interiorul lor material ce nu se hidrateaza complet, practic niciodata, fapt ce l-a determinat pe V.N. Jung sa numeasca pasta de ciment intarita microbeton [14, 20, 1, 23].

3) cantitatea de apa de amestecare, eventualele adaosuri chimice, temperatura, conditiile de conservare etc.

Pentru a reduce numarul factorilor variabili ce influenteaza negativ rezistentele mecanice ale cimenturilor, toate metodele standardizate in lume prevad temperatura de incercare, conditiile de conservare a epruvetelor, modul de confectionare si incercare a epruvetelor, dimensiunea acestora [13-17].

Constanta de volum reprezinta proprietatea mortarelor si a betoanelor pe baza de ciment portland de a-si pastra in timp forma si dimensiunile. CaO liber sau MgO liber, sub forma de cristale de periclaz, reactionand mai lent cu apa, se vor hidrata dupa ce procesul de formare a structurii de rezistenta s-a incheiat. Hidratarea facandu- se cu marire insemnat de volum, va cauza fisurarea sau chiar distrugerea pieselor din beton. Din aceste motive continutul in CaO liber este limitat la max. 0,1%, iar continutul maxim admis de MgO este de 5%.

Contractia la uscare si umflarea la apa este un fenomen care se observa la mortarele sau betoanele de ciment care in mod alternativ sunt supuse uscarii, respectiv umezirii. Contractia la uscare, ca marime, depaseste de regula umflarea la

apa și din acest motiv este mai daunătoare. Contractia la uscare depinde de: compoziția mineralogică, finetea de macinare, caracteristicile de umiditate ale mediului în care lucrează betonul etc. Cercetările au arătat că modificarea conținutului în C_3S și C_2S a cimenturilor Portland normale, până la un conținut maxim de 40% C_2S și un conținut constant al componentelor alumoferitici, contractia de volum la uscare și umflarea la apă variază în limite restrânse de la o compoziție la alta. În schimb, odată cu trecerea la cimenturile Portland belitice, are loc o marire bruscă a deformației la uscare și o însemnată umflare la apă.

Căldura de hidratare. Hidratarea mineralelor clincherului de ciment este un proces exoterm, degajându-se o cantitate importantă de căldură. Ca urmare a degajării de căldură, temperatura betonului crește cu 20-40°C peste temperatura inițială.

Proprietățile termodinamice ale cimentului sunt determinate, în cea mai mare măsură, de compoziția sa mineralogică; o influență mai redusă o au factorii ca: finetea de macinare și durata de depozitare a cimentului.

Căldura de hidratare a cimentului este cantitatea de căldură exprimată în cal/g sau J/g de ciment nehidratat prin hidratarea completă a acestuia la o temperatură dată.

Intrucât în stadiul inițial al hidratării cimentului cei 4 componente mineralogici principali se hidratează cu viteze diferite, viteza de dezvoltare a căldurii și căldura totală depind de compoziția chimico-mineralogică (vezi tabel 1.3.10).

Căldura de hidratare degajată (cal/g) de componenții cimentului portland după The Chemistry of Cements de H.F.W. Taylor								
Consti-tuenți	La hidratarea la anumită vârstă: ($A/C = 0,40$; temperatura = 21°C- după Verbek)							La hidratarea completă (după Bogue)
	3	7	20	90	365 zile	6 ½ ani	13 ani	
C_3S	58	53	–	105	117	117	122	120±3
C_2S	12	10	25	42	54	53	59	62±3
C_3A	212	232	329	311	–	328	324	207±3
C_4AF	69	118	118	98	–	111	102	100±3
CaO	–	–	–	–	–	–	–	297±3
MgO	–	–	–	–	–	–	–	203±3

Tabel 1.3.10.

Căldura dehidratare degajată (cal/g) de componenții cimentului portland după The Chemistry of Cement de H. W. Taylor

In cazul cimenturilor pentru baraje, printr-o macinare mai grosiera, reducerea proportiilor de C_3S si C_3A din clincherul de ciment portland si a dozajelor de ciment la limita inferioara posibila, se poate reduce sensibil caldura de hidratare in primele perioade de intarire a betonului dupa turnare, invers pentru cimenturile destinate industriei prefabricatelor printr-o macinare mai fina, cresterea proportiilor de C_3S si C_3A din clincherul de ciment portland si eventual a dozajelor de ciment, se favorizeaza cresterea cantitatii de caldura de hidratare eliberata initial, asigurandu- se prin aceasta cresterea rapida a rezistentelor mecanice si reducerea tratamentului termic etc. (fig. 1.3.18, 1.3.19).

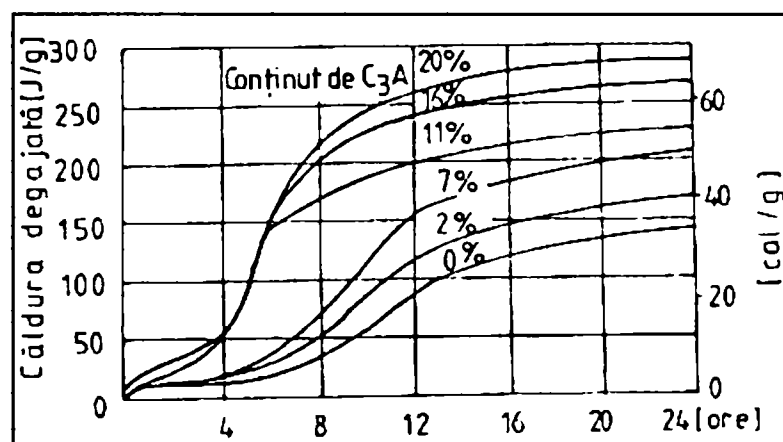


Figura 1.3.18

Influenta continutului de C_3A asupra evolutiei degajarii de caldura de hidratare (continutul de C_3S din clincher fiind aproximativ constant).

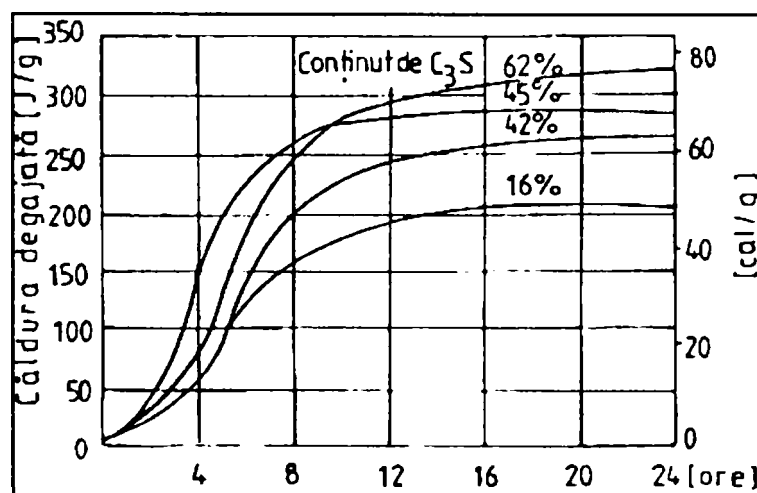


Figura 1.3.19

Influenta continutului de C_3S asupra degajarii de caldura de hidratare (continutul de C_3A din clincher fiind aproximativ constant).

Temperatura la care are loc hidratarea cimentului influenteaza viteza de dezvoltare a caldurii de hidratare si cantitatea de caldura degajata intr-un anumit interval de timp [18,22,23]; (fig.1.17,1.18).

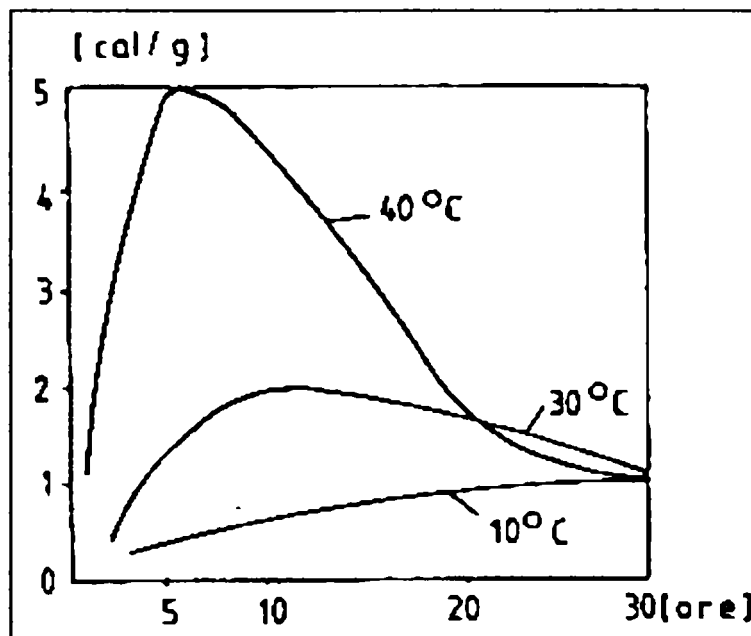


Figura 1.3.20
Fluxul caldurii de hidratare in functie de timp si temperatura pentru un ciment P45

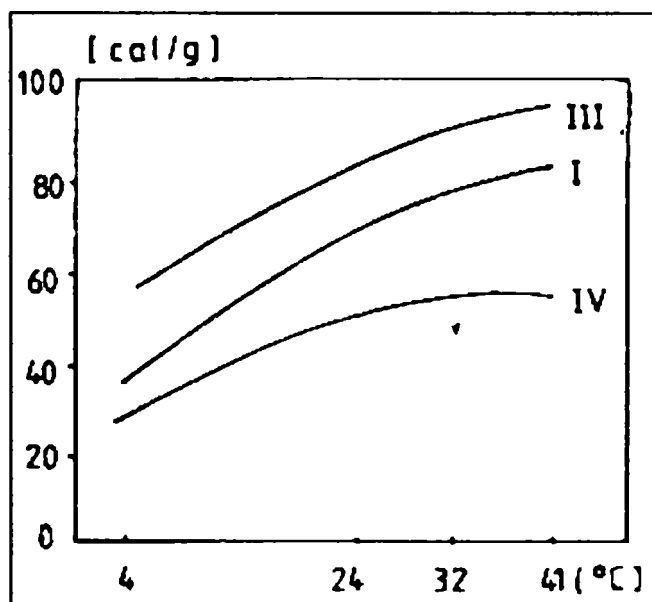


Figura 1.3.21.
Variatia caldurii de hidratare de gajate dupa 72 de ore de cimenturile tip I, III si IV ASTM, in functie de temperatura.

De asemenea, o creștere a finetii de macinare accelerează reacțiile de hidratare, deci și căldura de hidratare ce se dezvoltă în perioada inițială, cantitatea totală de căldură de hidratare eliberată de un ciment nefiind însă afectată de finete.

Pentru scopuri practice de regulă nu interesează căldura totală de hidratare ce poate fi degajată de un ciment în timp îndelungat până la 4-15 ani, care poate să fie mai bine disipată și creșterea temperaturii betonului să fie neînsemnată, ci interesează în primul rând cantitatea de căldură degajată în primele intervale de la prepararea betonului, în funcție de domeniul de folosire a cimentului. Astfel:

1) în industria prefabricatelor din beton interesează viteza de degajare și cantitatea totală de căldură de hidratare degajată de un ciment în primele 8-36 ore de la turnarea betonului, în funcție de temperatura mediului ambiant, pentru a stabili în ce măsură se pot obține cicluri de producție acceptabile și rezistențele necesare pentru decofrare, transferul forțelor de precomprimare, livrarea și transportul elementelor prefabricate, regimul de tratament termic.

2) În executia lucrărilor de construcții civile și industriale din beton monolit interesează viteza de degajare și cantitatea de căldură degajată în primele 1-7 zile de la turnarea betonului, în funcție de temperatura, pentru a se stabili ritmul de execuție, obținerea rezistențelor de decofrare.

3) În construcțiile masive (fundatii mari, baraje etc), în funcție de gradul de masivitate al lucrărilor ce se execută, interesează viteza de degajare și cantitatea totală de căldură ce se degajă atât în primele 1-28 zile de la turnare, cât și pentru perioada de până la 90-365 de zile.

La proiectarea și executia diferitelor lucrări de construcții, unde trebuie luată în considerare căldura de hidratare a cimentului, trebuie să se aibă în vedere și influența pe care o exercită aditivii utilizați la prepararea betonului, întrucât unii aditivi acceleratori intensifică degajarea căldurii de hidratare în primele ore de la turnare și contribuie la reducerea acesteia la 7 zile.

Stabilitatea termică a betoanelor și mortarelor reprezintă capacitatea acestora de a rezista la temperaturi ridicate. Prin încălzirea betonului la 200⁰ C pe o perioadă de timp îndelungată, rezistențele mecanice scad cu 50% ca urmare a descompunerii formațiunilor hidratate.

1.4. Tipuri de ciment Portland

În funcție de destinație, se fabrică cimenturi cu proprietăți capabile să corespundă cerințelor impuse. Sunt de reținut următoarele tipuri de ciment Portland:

- cimenturi cu rezistente initiale mari;
- cimenturi cu rezistente finale mari;
- cimenturi albe si colorate;
- cimenturi de sonde;
- cimenturi pentru baraje;
- cimenturi maritime;
- cimenturi pentru drumuri;
- cimenturi pentru azbociment.

1.4.1. Cimenturi cu rezistente initiale mari.

Cimenturile cu rezistente initiale mari (RIM) se caracterizeaza printr-o viteza mare de intarire si, ca urmare, printr-o crestere rapida a rezistentelor mecanice in prima perioada a procesului de intarire. In primele 24 ore de intarire, in conditii normale de umiditate si temperatura, se realizeaza 40-70% din marca; cresterea rezistentelor are loc relativ mai incet decat in cazul cimentului Portland normal (figura 1.3.22).

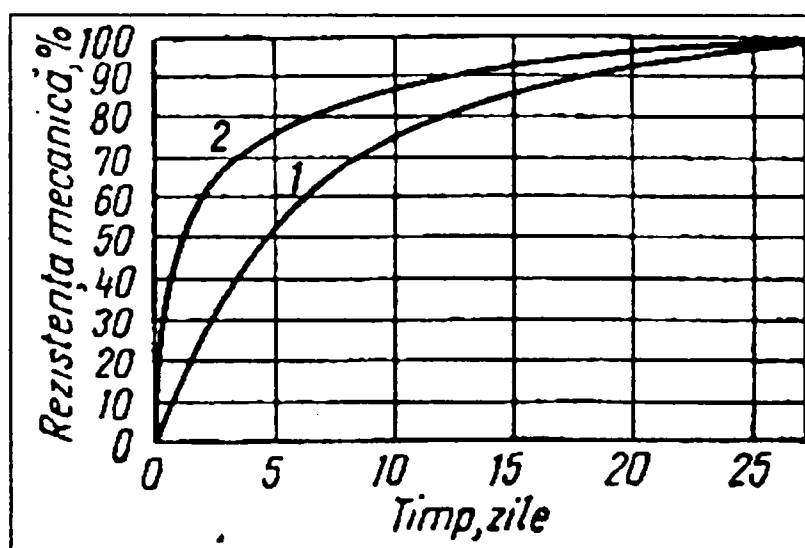


Figura 1.3.22

Variatia rezistentelor mecanice in timp, exprimata in procente din marca, pentru ciment portland normal si pentru ciment RIM:

a- ciment portland; b- ciment RIM

Nu toate cimenturile RIM sunt de marci superioare (oricum, nu pot avea marca finala mai mica de 400). In acelasi timp, cimenturile de marca foarte inalta au si rezistente initiale mari.

Hotaratoare in obtinerea unor cimenturi Portland cu viteza mare de intarire, si deci cu rezistente initiale mari, este alegerea compozitiei chimice si mineralogice corespunzatoare [33]. Din punct de vedere al dezvoltarii rezistentelor initiale mari, un rol esential il are continutul in C_3S si C_3A . De obicei, pentru a obtine astfel de cimenturi este necesar ca $(C_3S + C_3A)$ mai mare de 65%, iar C_3S mai mare de 55% si $C_3A = 6-15\%$. Multi cercetatori considera ca nu este necesar sa se limiteze superior continutul in C_3S . Dupa altii acest continut ar trebui limitat la 80-85%. Exista insa unanimitate in a se considera existenta unei proportii optime de C_3A in clincherele destinate cimenturilor cu rezistente mari (RIM); cresterea peste o anumita limita a continutului in C_3A determina, in primul rand, scaderea rezistentelor finale, dar cresterea in continuare a acestui continut conduce si la scaderea rezistentelor initiale. Proportia optima de C_3A este in stransa corelatie cu continutul in C_3S al clincherului ; unii specialisti indica chiar necesitatea respectarii unui raport C_3A / C_3S pentru obtinerea unor cimenturi cu rezistente initiale mari.

La un continut mai ridicat de C_3A trebuie sa se foloseasca si un adaos de ghips mai mare. Adaosul de ghips trebuie sa ia in considerare si continutul in C_4AF care, de asemenea, prin hidratare, da hidroaluminati de calciu. Sulfatul de calciu formeaza impreuna cu hidroaluminatii de calciu, in prima etapa a procesului de intarire, hidrosulfataluminati de calciu, care participa la formarea structurii de rezistenta a liantului intarit. Cantitate ade gips care intra in interactiune cu hidroaluminatii depinde de finetea de macinare a cimentului , de temperatura cu care iese din moara etc. Prin incalzire in timpul macinarii, ghipsul se deshidrateaza, formand semihidrat, care este mai solubil in apa, fapt care intensifica reactiile sale cu hidroaluminatii de calciu, formand intr-o masura mai mare hidrosulfat aluminati. In tabelul de mai jos se prezinta compozitia unor cimenturi cu viteza mare de intarire (vezi tabel 1.3.11) fabricate in diferite tari [34]:

Tara	Tipul de ciment	S_K	M_{Al}	M_{Si}	Compozitia mineralogica (%)			
					C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Belgia	Rapid	0,94	1,64	1,72	54	13	11	13
Dane marca	Rapid	0,97	2,06	3,03	71	8	9	7
Suedia	Superrapid	0,99	1,36	3,76	81	1	5	7
Anglia	Superrapid	1,00	1,95	1,84	65	3	12	10
SUA	Superrapid	0,98	2,41	2,01	62	8	13	8

Tabel 1.3.11

Realizarea unor clinchere corespunzatoare atat din punct de vedere al compozitiei lor mineralogice cat si din punctul de vedere al caracteristicilor cristalochimice ale constituentilor sai, indeosebi ale alitului, depinde nu numai de compozitia chimica a amestecului brut ci si de natura materiilor prime care se folosesc, de modul de preparare a amestecului brut, de folosirea microadaosurilor mineralizatoare, de tratamentul termic (ardere si racire).

Caracterizarea amestecurilor de materii prime din punctul de vedere al comportarii la clincherizare se poate face prin determinarea CaO liber pentru conditii comparabile de ardere.

Pentru materii prime date si compozitii date, finetea de macinare si aspectul granulometric al amestecului brut prezinta o influenta evidenta asupra aptitudinii de clincherizare. Se pare ca intre finetea de macinare si aptitudinea de clincherizare, luata in considerare prin CaO liber, exista o dependenta hiperbolica; peste o anumita valoare a suprafetei specifice nu se mai constata nici o crestere a aptitudinii de clincherizare, deci nu este justificata macinarea peste o anumita valoare a suprafetei specifice, valoare care depinde de natura materiilor prime si care trebuie stabilita in mod concret.

Pentru obtinerea unor cimenturi de buna calitate, regimul de ardere se dovedeste a avea o mare importanta. Din acest punct de vedere se vadesc hotaratoare valoarea temperaturii de clincherizare si a duratei palierului la aceasta temperatura; trebuie sa existe, totodata, o stransa corelatie intre aceste doua marimi pentru a se asigura, pe de o parte, o desavarsire a reactiilor de formare a mineralelor din clinchere si, pe de alta parte, o morfologie corespunzatoare a lor, a alitului indeosebi (cristale mici). Din punctul de vedere al desavarsirii reactiilor de formare a mineralelor din clincher, corelatia temperatura- durata palierului de clincherizare se evidentiaza in figurile 1.3.23. si 1.3.24 [35].

In ce priveste morfologia alitului din clinchere, influenta conjugata a temperaturii si duratei palierului de clincherizare se dovedeste a fi negativa, aceasta implica scaderea duratei palierului odata cu cresterea temperaturii, ceea ce, de altfel, se impune si economic.

Alegerea regimului de racire este determinate de compozitia clincherelor; racirea lenta este favorabila clincherelor cu un modul de alumina mai mic de 1,38, racirea rapida este avantajoasa clincherelor cu modul de alumina mai mare de 1,38. Stadiul actual al cercetarilor indica drept cea mai potrivita pentru clincherele de ciment cu rezistente initiale mari (modul de alumina mai mare de 1,38) o racire moderata (in sensul ca pana la 1250⁰C viteza de racire este de 20-30⁰C pe minut, iar sub aceasta temperatura pana la 400-500⁰C viteza de racire este de 70-80⁰C/minut);

este favorizata cristalizarea si stabilizarea alitului in proportie ridicata, cum si stabilizarea silicaturii bicalcic, in belit, sub forma β .

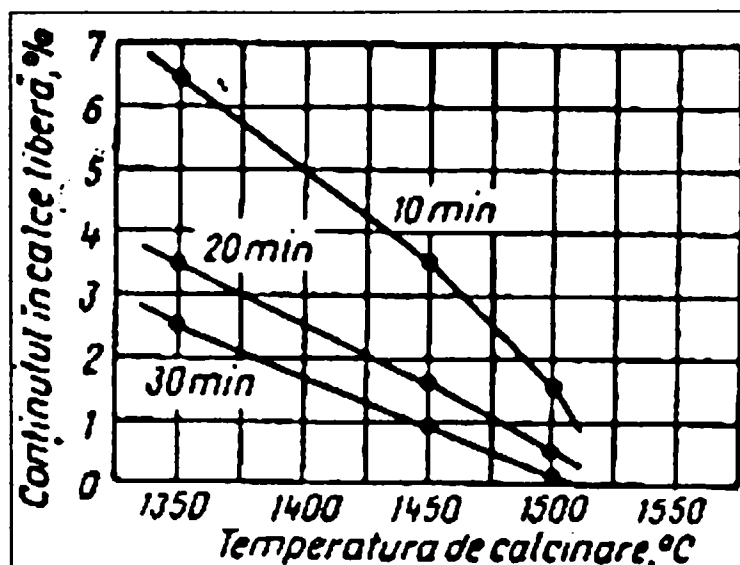


Figura 1.3.23

Variatia CaO_{lib} functie de temperatura si durata de clincherizare pentru un clincher cu $S_k=0.89$, $C_3S=53.7\%$, $C_2S=31.2\%$, $C_3A=7.7\%$, $C_4AF=5.8\%$

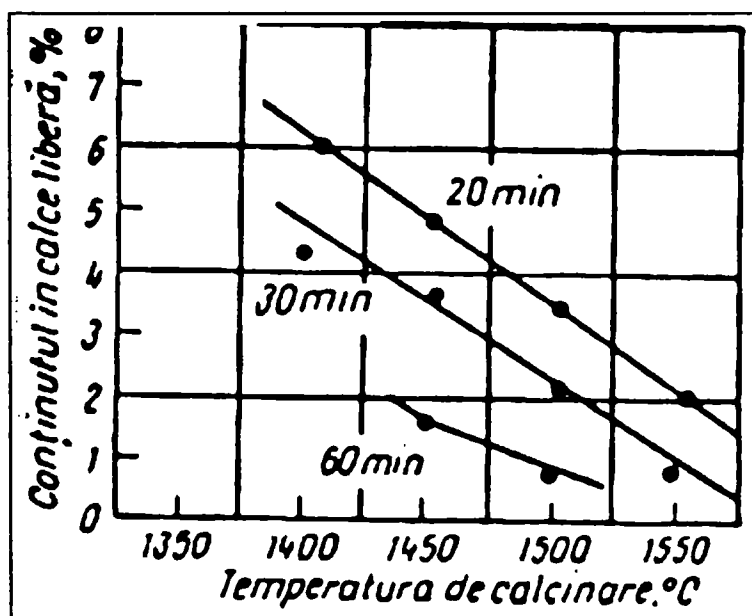


Figura 1.3.24

Variatia CaO_{lib} functie de temperatura si durata de clincherizare pentru un clincher cu $S_k=0.94$, $C_3S=68\%$, $C_2S=17.5\%$, $C_3A=7.4\%$, $C_4AF=5.2\%$

Capacitatea unui clincher de a dezvolta rezistente initiale mari poate fi pusa in valoare printr-o macinare adecvata a cimentului.

S-a putut stabili ca hotarator pentru rezistentele mecanice la primele termene de intarire este fractiunea sub 7 milimicroni.

Fractiunea 7- 30 milimicroni conditioneaza rezistentele finale; fractiunea 30-63 milimicroni are o participare redusa la dezvoltarea rezistentelor mecanice, iar fractiunea peste 63 milimicroni indeplineste, practic, numai rolul de agregat. In acelasi timp este de subliniat parerea unor cercetari, in conformitate cu care fractiunea sub 1 milimicron, din cauza reactiei sale instantanee cu apa, dezvolta in mai mica masura structuri de rezistenta. O suprafata specifica prea avansata nu conduce la o crestere liniara a rezistentelor mecanice; se observa chiar un maximum pe curba $R_c = f(\sigma)$. Pozitia acestui maxim depinde de activitatea cimentului, cum si de pozitia sa granulometrica; pentru cimenturile de activitate ridicata, valoarea maxima a marimii R_c se deplaseaza catre marimi mai mici ale suprafetei specifice; de obicei valoarea suprafetei specifice corespunzatoare maximumului de rezistenta mecanica este de peste 5500 cm^2/g . in tabelul 1.3.12 se prezinta, pentru un anumit ciment, corelatia dintre rezistenta sa mecanica si suprafata sa specifica:

Suprafata specifica	Rezistenta la compresiune dupa 24h, dN/cm^2	Rezistenta la compresiune dupa 28 zile, dN/cm^2	Raportul R_1/R_{28} , %
3195	257	572	45
4237	336	589	57
5116	396	571	68

Tabel 1.3.12

La noi in tara, cimentul din aceasta categorie cu marca cea mai ridicata este: $P_{32.5}$; $P_{32.5R}$; $P_{42.5}$; $P_{42.5R}$; $P_{52.5}$ si $P_{52.5R}$ (conform STAS 388-95) atingand valori de 10-30 N/mm^2 la 2 zile si 52,5 N/mm^2 la 28 zile.

1.4.2 Ciment cu rezistente finale mari.

Prin cimentul cu rezistente finale mari trebuie inteles acel ciment care prin marca lui este superior unui ciment P_{500} . Asemenea cimenturi se pot realiza daca se asigura o compozitie mineralogica adecvata, o structura cristalochimica inalt

reactiva și o finete de macinare ridicată, însoțită și de un spectru granulometric corespunzător.

Alitul, fiind constituentul mineralogic al clincherului de ciment Portland purtător de rezistențe mecanice mari, cimenturile cu rezistențe finale mari trebuie să se caracterizeze în primul rând printr-un conținut ridicat de alit. Este admis ca astfel de cimenturi trebuie să conțină peste 60% alit. În tabelul 1.3.13 sunt prezentate câteva din indicațiile existente în literatura de specialitate în legătură cu compoziția mineralogică a cimenturilor cu rezistențe finale mari:

Nr. Crt	Condiții de compoziție
1	C_3S 70...75%; $C_3S + C_3A$ max.; $M_{Al} \leq 0,5$ sau 2...3
2	C_3S 60...75%; $C_3S / C_2S \geq 3$; C_3A min.
3	$C_3S / C_2S \leq 5$; $C_3S \leq 70$
4	C_3S 62...65%; C_3A 5...6%
5	C_3S max. posibil; $C_3A / C_3S \leq 0,15$
6	$C_3A / C_3S \leq 0,15$; conținut maxim de C_3S și C_4AF

Tabel 1.3.13

Un conținut ridicat de silicat tricalcic presupune un grad de saturatie ridicat (S_k aprox. egal 1). Realizarea unui grad de saturatie ridicat poate avea loc pe trei cai:

- la o cantitate constantă de SiO_2 , Al_2O_3 și Fe_2O_3 prin creșterea cantității de CaO ;
- la o cantitate constantă de $(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ și o cantitate dată de CaO , prin reducerea cantității de SiO_2 ;
- la o cantitate dată de CaO și SiO_2 , prin reducerea corespunzătoare a cantității de Al_2O_3 și Fe_2O_3 .

Pentru obținerea de cimenturi înalt rezistente, cea de-a doua cale nu este indicată, întrucât este posibil ca, procedând în acest mod, conținutul în C_3A să fie relativ ridicat iar cel de C_3S relativ scăzut față de cerințele cimenturilor din această categorie.

La realizarea unui grad de saturatie ridicat se impun corelații corespunzătoare între valorile M_{Al} și M_{Si} în vederea obținerii unor cimenturi cu conținuturi mari în C_3S ; o astfel de corelație se prezintă în figura 1.3.25, pentru clinchere având $M_{Si} > 1,2$ și $M_{Al} > 1,4$.

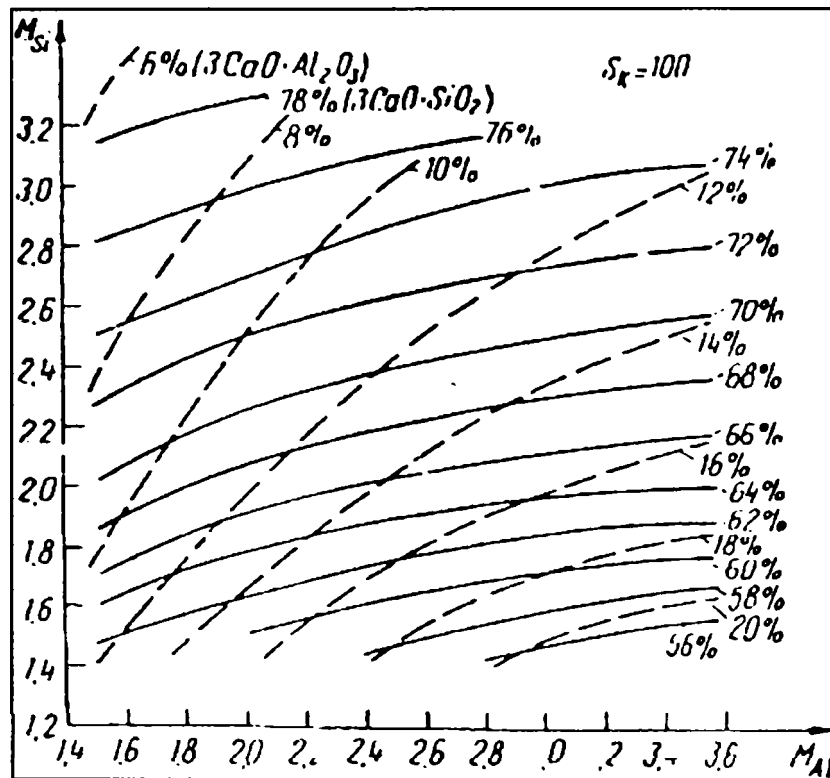


Figura 1.3.25
 Curbe de egal continut de $3CaO \cdot SiO_2$ si $3CaO \cdot Al_2O_3$
 In diagrama $M_{Si} - M_{Al}$.

CAPITOLUL II

2.1. Introducere

Betoanele de înaltă performanță au fost obținute încă de la începutul secolului nostru prin utilizarea unor procedee de compactare energetice precum centrifugarea sau presarea betonului proaspăt.

Ulterior au fost experimentate materiale capabile să asigure betonului rezistențe înalte, cum sunt rășinile epoxidice, dar care din păcate au costuri ridicate.

În anii '70 au apărut produse noi ca aditivi superplastifianți și silicea ultrafină, cu ajutorul cărora se pot obține betoane cu o bună lucrabilitate, a căror punere în opera nu diferă fundamental de cea a betoanelor plastice și a căror rezistențe mecanice sunt substanțial îmbunătățite, creșterea pretului rămânând în limite rezonabile.

Progresele relativ recente în domeniul conceperii și realizării betoanelor au condus la obținerea betoanelor de înalte și foarte înalte performanțe având o rezistență la compresiune stabilită pe cilindri ce ajunge la 100- 120 N/mm² [40].

Pe plan mondial, în paralel cu îmbunătățirea betoanelor obișnuite, au fost efectuate și cercetări ce vizează atingerea unor performanțe mecanice ridicate pornind de la materiale cu matrice de ciment.

E. Freyssinet a arătat încă din anii '30 importanța presării betonului în timpul prizei pentru a crește rezistența acestuia. În anii '60, probe mici din pasta de ciment și de mortar au fost realizate prin presare și întărite la temperaturi și umidități ridicate atingându-se rezistențe la compresiune de până la 650 N/mm² [36]. Întrucât tehnologia adoptată pentru aceste probe permitea realizarea unor elemente de doar câțiva centimetri, această performanță nu și-a găsit aplicații. S-a demonstrat însă că rezistența pastei de ciment, potențial foarte ridicată, nu este exploatată decât mediocru în betoanele tradiționale.

Mai recent s-au conturat două căi de cercetare. Prima se referă la betoanele cu matrice granulară compactă (DSP) cu dozaje ridicate de superplastifiant și silice ultrafină, precum și cu agregate de duritate ridicată provenite din bauxită calcinată și granit. Acestea sunt foarte performante la compresiune, dar păstrează neajunsurile betonului obișnuit și anume o rezistență mică la întindere și o ductilitate foarte redusă. Cea de-a doua cale de cercetare abordează mortarele cu polimeri simbolizate MDF (Macro Defect Free), care au o rezistență la întindere foarte ridicată. Producerea acestora se face în condiții foarte dificile iar punerea în opera

trebuie efectuata prin presare. In plus aceste mortare sunt foarte sensibile la apa si sunt foarte putin ductile. Cercetarea lor continua in scopul limitarii sensibilitatii lor la apa si a imbunatatirii ductilitatii prin incorporarea de fibre nemetalice [36].

Preocuparea pentru imbunatatirea ductilitatii matricelor de ciment prin utilizarea de fibre metalice a condus la betonul SIFCON (Slurry Infiltrated Fibered Concrete). El se obtine prin umplerea cofrajelor cu fibre in vrac si injectarea unei paste de mortar fluid. Tehnologia permite cresterea importanta a ductilitatii dar necesita o importanta cantitate de fibre (7 la 15 % in volum). Pe de alta parte, pentru o umplere cat mai buna, pasta trebuie sa fie cat mai fluida, cu un raport A/C foarte ridicat, in timp ce obtinerea unor performante foarte inalte pentru matricele de ciment presupune ca acest raport sa fie cat mai scazut [36].

Avand in vedere diferitele inconveniente ale materialelor cu matrice de ciment de ultra inalte performante (DSP, MDF, SIFCON) mentionate mai sus, utilizarea lor s-a limitat la aplicatii nestructurale (imbracaminti la pardoseli, containere pentru deseuri). Pentru realizarea de structuri (grinzi, dale, stalpi, grinzi cu zabrele) este necesar sa se dispuna de un material de ultra inalte performante ductil, cu deformatii plastice importante in stadiile limita ultime.

Pornind de la experienta dobandita in realizarea si punerea in opera a sute de mii de m³ de betoane de inalte performante, Directia Stiintifica a Societatii BOUYGUES- Franta a initiat, in ultimii ani, un program de cercetare in scopul definirii si dezvoltarii unor betoane ductile de ultra inalte performante. Aceste betoane denumite betoane din pudre reactive (BPR) au rezistente la compresiune ce ating 200- 800 N/mm² si energii de rupere care pot atinge 40000 J/m² [39].

La ora actuala, pe plan mondial, sunt cunoscute si alte betoane de ultra inalte performante denumite Slurry Infiltrated Mat Concrete (SIMCON) in SUA, Compact Reinforced Composite (CRC) in Danemarca si Beton Special Industriel (BSI) in Franta[37,41,38].

Pe baza datelor existente, o prima grupare a betoanelor de inalta rezistenta se poate face in modul urmator :

2.2. Betoane de inalta performanta.

Utilizate in mod special in domeniul constructiilor si al prefabricatelor din beton armat si precomprimat trebuie sa aiba conform proiectului de recomandare internationala RILEM (1), rezistenta cubica la compresiune, fixata prin normele nationale(de obicei la 28 zile) de minim 60 N/mm² (612 kgf/cm²) .

O posibila clasificare este data in tabelul 2.2.1:

Betoane de inalta performanta	Betoane de mare rezistenta	
	Betoane de inalta si foarte inalta performanta	Cu ciment portland, superplastifianti si silice ultrafina
		Cu polimeri

Tabel 2.2.1

Aceste betoane sunt destinate elementelor de constructii cu deschideri mari si puternic solicitate, cat si in constructii avand conditii mai deosebite de exploatare care presupun betoane durabile.

Betoane de mare rezistenta.

Pentru realizarea acestora se poate actiona asupra a doua grupuri de factori: de compozitie si tehnologici.

Factorii de compozitie trebuie analizati in conformitate cu relatia Bolomey-Scramtaev privitoare la stabilirea rezistentei betonului la compresiune. Se constata ca influenta cimentului, prin calitatea si cantitatea sa, este hotaratoare: la cresterea dozajului de ciment, rezistenta creste aproape proportional cu dozajul ana la un dozaj de 600kg/m^3 .

Calitatea cimentului este foarte importanta in obtinerea unor betoane de mare rezistenta. In acest sens sunt indicate cimenturile P45 si P55.

Rezistentele la compresiune cresc prin reducerea raportului a/c , ceea ce se realizeaza la dozajele sporite de ciment, cat si prin folosirea de aditivi plastifianti.

Agregatele folosite influenteaza sporirea rezistentei la compresiune a betonului prin natura, starea suprafetei lor si granulozitate.

Astfel, agregatele concasate provenite din roci granitice si bazaltice, de foarte buna calitate (rezistenta la compresiune in stare saturata cu apa sa fie cel putin 120N/mm^2), dau betoane cu rezistente mai mari decat cele confectionate cu agregate provenind din calcar si din balastiere.

Suprafetele rugoase ale agregatelor, obtinute prin concasare, conduc la o sporire esentiala a rezistentelor betonului; proportia agregatului de concasaj din amestecul de agregate trebuie sa fie de minimum 60%.

O granulozitate in domeniul bun al agregatelor cat si folosirea unor agregate curate si de o forma rotunjita sunt conditii esentiale pentru obtinerea unor betoane de mare rezistenta.

Factorii tehnologici se refera la dozare, conditiile de punere in opera, compactarea si tratarea ulterioara a betonului.

Pentru obtinerea unor betoane de mare rezistenta, dozarea si punerea in opera trebuie sa se faca prin mijloace mecanizate si automatizate, compactarea sa se faca prin mijloace energice, iar tratarea ulterioara sa respecte toate conditiile necesare.

In industria de prefabricate, intarirea betonului prin tratamente termice este o conditie necesara; ca urmare, aceste tratamente trebuie sa se adapteze pentru obtinerea unor betoane cu rezistente initiale si finale mari.

Ordinul de marime al caracteristicilor mecanice este redat in tabelul 2.2.2:

Caracteristica	Betoane de:	
	Inalta performanta	Foarte inalta performanta
Rezistenta la compresiune, N/mm ²	60-80	80-120
Rezistenta la intindere, N/mm ²	5-5,3	5,5-6,5
Modulul de elasticitate, kN/mm ²	45-48	48-53

Tabelul 2.2.2

2.3. Betoane speciale de inalta performanta

Trebuie sa satisfaca, sub aspectul caracteristicilor mecanice, exigentele de la paragraful 2.2 si, in plus, sa indeplineasca unele cerinte deosebite: rezistenta la uzura, la actiuni chimic-agresive, actiuni combinate, soc termic etc. [42].

Din cele prezentate succint rezulta ca diferite prescriptii tehnice fac o diferentiere precisa intre betoanele de inalta performanta, pentru care caracteristicile principale sunt rezistentele mecanice-compresiune si betoanele

speciale de inalta performanta pentru care se cer prin caietele de sarcini atat garantii pentru rezistentele mecanice si suplimentar garantii pentru unele caracteristici speciale, de regula cel putin 2-3 caracteristici speciale.

O alta grupare a betoanelor de inalta performanta, de asemenea aproximativa, frecvent utilizata, este aceea dupa tipul liantului folosit la preparare, sau dupa tehnologia de realizare etc., astfel :

- betoane cu lianti minerali:

-diferite tipuri de ciment Portland;

-diferite cimenturi aluminoase;

-diferite tipuri de lianti pe baza de zgura activata.

-betoane impregnate;

-betoane cu lianti organici(rasini sintetice).

Performantele atinse in domeniul betoanelor de inalta performanta pina in prezent sunt urmatoarele:

- Obtinerea, in laboratoarele de cercetare, de betoane cu lianti minerali cu rezistente de 60-140 N/mm² si utilizarea frecventa in lucrari practice de betoane cu rezistente de 60-90 N/mm² si in unele cazuri chiar de 100-110 N/mm². Astfel de betoane au fost realizate si utilizate in Anglia, Canada, SUA, Franta, Germania, Austria, Danemarca, Japonia si Romania.

- Obtinerea de betoane de ciment impregnate cu monomerii unor rasini sintetice (dupa intarirea prealabila a betonului) prin procedee adecvate cu rezistente de 80-148 N/mm² in SUA, Franta, Germania.

- Obtinerea de betoane cu rasini sintetice cu sau fara lianti minerali, cu rezistente de 70-170N/mm² in URSS, Anglia, Canada, SUA, Franta, Germania, Austria, Danemarca, Japonia si Romania .

Rezultatele prezentate condensat permit sa se estimeze ca, pina la sfirsitul sec. XX si inceputul sec.XXI, se vor realiza curent betoane cu lianti minerali, cu rezistente de 100-170N/mm² si unele tipuri de betoane speciale cu rezistente de pina la 400-450N/mm², de aceea apare cu totul justificata atentia acordata de unele organizatii internationale precum FIP, ACI, RILEM si de unele institute de cercetare nationale, progresele obtinute in studiul si cercetarea proprietatiilor betoanelor de inalta performanta si al domeniilor de utilizare a acestora in practica.

Pentru extinderea domeniilor de utilizare practica a betoanelor de inalta performanta cercetate, o importanta deosebita o reprezinta progresele obtinute in ultimii 5-15 ani in tehnologia acestor betoane si in ceea ce priveste accesibilitatea procedeeleor de preparare si punere in opera a betoanelor de inalta rezistenta, costuri, consumurile de lianti si in ultima instanta consumurile de energie necesara.

Aceasta deoarece dupa cum este cunoscut, in anii 1965-1970, obtinerea de betoane de inalta performanta cu lianti minerali se realizeaza folosind

supercimenturi cu rezistente mari [43,44,45], dozaje ridicate de ciment si procedee complicate, ceea ce nu a permis extinderea utilizarii acestor betoane pe scara larga.

2.4 Aspecte privind dezvoltarea tehnologiei betoanelor de inalta performanta

Prin betoane de inalta performanta in literatura de specialitate din ultimii ani, sunt definite in general betoanele de inalta rezistenta cu $R_{c \text{ min}} = 60 \text{ N/mm}^2$, care indeplinesc si alte conditii suplimentare, ca de exemplu rezistenta la 100-300 cicluri de inghet- dezghet repetat, grad de impermeabilitate P16-P24, rezistenta la anumite tipuri de atac chimic agresiv (de regula actiuni chimice agresive slabe) etc.

Datorita marii diversitati la utilizarea actuala a betoanelor din aceasta grupa, diversi autori clasifica betoanele de inalta performanta dupa diferite criterii, astfel:

- a) proiectul de recomandare internationala RILEM subamparte betoanele de inalta performanta in urmatoarele clase de rezistenta: clasele 60; 80; 100; 120; 140 N/mm^2 [72-76].
- b) recent, Laboratorul central de Poduri si Sosele din Paris [73] clasifica betoanele de inalta performanta in 4 clase de rezistenta dupa cum urmeaza:
 - clasa I: $75 \pm 12,5 \text{ MPa}$
 - clasa a II-a: $100 \pm 12,5 \text{ MPa}$
 - clasa a III-a: $125 \pm 12,5 \text{ MPa}$
 - clasa a IV-a: peste 150 MPa.

Aceasta clasificare se face considerandu-se ca cele patru clase de rezistenta propuse corespund mai bine barierelor tehnologice, in stadiul actual de dezvoltare a tehnologiei betonului[73].

Dintre realizările mai importante obtinute in acest domeniu pe plan international mentionam:

- realizarea a opt cladiri inalte cu 40...79 etaje din beton de clasele 62...65, in anii 1973-1978 in S.U.A. si Canada (tabelul 2.4.1);
- realizarea a cinci poduri de sosea si cale ferata din beton de clasele 65; 70 si 80 in anii 1968-1984 in Norvegia, Franta si Japonia (tabelul 2.4.2);
- realizarea a sase platforme petroliere in anii 1978-1983, din beton de clasele 60; 63; 70 si 75 in Norvegia, Anglia si Suedia (tabelul 2.4.3);
- realizarea a diferite tipuri de elemente prefabricate din beton de clasele 50; 60; 65 in Rusia, Germania, Suedia, Norvegia, Anglia si Romania in anii '70 (tabelul 2.4.4);

Denumirea cladirii	Orasul	Anul realizarii	Numarul etajelor	Clasa betonului
Petrocanada building	Calgary	1982	34	50
Lache Point Tower	Chicago	1965	70	50
Texas Commerce Tower	Houston	1981	75	50
Hemsley Palace Hotel	New York	1978	53	56
Trump Tower	New York	-	68	56
City Center Project	Mineapolis	1981	52	56
Colins Place	Melbourne	-	44	56
499 Park Av.	New York	-	27	60
Royal Bank Plaza	Toronto	1975	43	62
Richmond-Adelaide Center	Toronto	1978	33	62
Mid Continental plaza	Chicago	1973	50	63
Frontier Towers	Chicago	1973	55	63
Water Tower Place	Chicago	1975	79	63
River Plaza	Chicago	1976	56	63
Chicago Mercantile Exchange	Chicago	-	40	63

Tabel 2.4.1
Exemple de utilizare a betoanelor de inalta performanta
in domeniul cladirilor inalte

Denumirea podului	Tara	Anul realizarii	Deschiderea maxima	Clasa betonului
Coweman River Bridge	S.U.A.	1978	45	50
Pertuiset	Franta	-	-	50
Viaduc du Champ du Compte	Franta	In exec.	-	50
Huntington to Proctorville	S.U.A.	1984	275	56
Nitta Highway Bridge	Japonia	1968	30	60
Kaminoshima Highway Bridge	Japonia	1970	86	60
Grand Arche Defense	Franta	1968	-	65
Karmoy	Norvegia	1984	-	65
Fukamitsu Highway Bridge	Japonia	1974	26	70
Ootonabe Railway Bridge	Japonia	1973	26	80
Akkagawa Railway Bridge	Japonia	1976	46	80

Tabel 2.4.2
Exemple de utilizare a betoanelor de inalta performanta in domeniul
podurilor de sosea si cale ferata

Denumirea platformei	Constructorul	Orasul	Anul realizarii	Clasa betonului
Ekofisk I	Doris/ Secmer	Stavanger	1977	50
Beril A	Norw. Contr.	Stavanger	1975	55
Statfjord A	Norw. Contr.	Stavanger	1977	60
Ninian Center	Howard Doris	Loch Kishorn	1978	60
Brent C	Seatank/ Mc Alpine	Ardine Point	1978	63
Karmoy	Norw. Contr.	Stavanger	1983	65
Statfjord B	Norw. Contr.	Stavanger	1981	70
Frig Northeast	Skaska/ Spie Batgn.	Goteborg	1982	65/75

Tabel 2.4.3
Exemple de utilizare a betoanelor de mare rezistenta
la realizarea platformelor petroliere

Tipul elementelor prefabricate realizate	Anul de cand se realizeaza	Tara	Marca betonului	Clasa betonului
Grinzi din beton precomprimat puternic solicitate 12-24 m	1972	Rusia	B600- B800	50-60
Idem	1974	Germania, Suedia, Norvegia	-	50-65
Elemente prefabricate din beton armat	1973	Germania, Suedia	-	50
Elemente prefabricate din beton simplu	1968	Suedia	B800- B1000	60-80
Stalpi linii electrice aeriene- beton precomprimat	1972	Anglia	B800	60-65
Traverse cale ferata	1964	Suedia, Elvetia, Franta	B600	50
Traverse cale ferata	1968	Romania Unitati MTTc	B600	50
Grinzi de pod rulant din beton precompimat- GR 12	1978	Romania IMC Brasov	B600	50
Grinzi postasamblate prin precomprimare ptr. Poduri	1972	S.U.A., Germania, Suedia	B600- B800	50-65
Batiuri pentru diverse tipuri de masini prelucratoare (strunguri, freze, raboteze etc.)	1972	Rusia, S.U.A., Germania, Elvetia, China	B600- B800	50-65

Tabel 2.4.4.
Exemple de elemente prefabricate realizate din betoane de inalta performanta

- realizarea de batiuri pentru diferite tipuri de masini aschietoare din beton de clasele 50; 60; 65 in Rusia, S.U.A., Elvetia, Germania, China si Romania (tabelul 2.4.4);
- dupa unii autori [74], exista centrale de beton specializate in Norvegia, S.U.A. si Canada care livreaza pentru santiere beton de clasa a III-a de rezistenta, pentru care se garanteaza o rezistenta de $100 \pm 12,5$ MPa, betoanele cu rezistenta de clasa a II-a fiind livrate curent, adica rezistentele garantate sunt de $100 \pm 12,5$ MPa, in zonele Chicago, Toronto si Montreal.

In unitatile MILMC realizarea unor tipuri de elemente prefabricate din beton de inalta rezistenta a inceput in anii 1969-1970 cu asistenta tehnica a ICPMC-Laboratorul Tehnologia Betoanelor.

Din anul 1978 se realizeaza curent la IMC Brasov productia grinzilor precomprimate GR12, pentru poduri rulante din beton de marca B600, clasa Bc50, pe baza Instructiunilor tehnice CD 116-78 elaborate in colaborare de ICPMC si IMC Brasov, si a proiectului tip intocmit de IPCT [74]. Toate grinzile de pod rulant realizate de IMC Brasov din beton de inalta rezistenta au dovedit o buna comportare in exploatare timp de pana la 10 ani.

Sub aspectul actelor normative de preparare a betoanelor, normele din diferite tari prevad prepararea de betoane si proiectarea de elemente si structuri din betoane de inalta performanta dupa cum urmeaza:

- Codul norvegian prevede betonul pana la clasa Bc65 inclusiv existand propuneri de extindere pana la clasa Bc115 inclusiv, ceea ce echivaleaza aproximativ cu marcile B1300-B1400.
- Codul suedez prevede betonul pana la clasa Bc75 inclusiv, echivalent aproximativ cu marcile B900-B1000.
- Codul japonez prevede betonul pana la clasa Bc80 inclusiv, echivalent aproximativ cu marca B1000.
- Normele rusesti prevad betoane pana la marca B800 inclusiv, ceea ce corespunde aproximativ claselor Bc60-Bc65.
- Codul american prevede betoane pana la clasa Bc63 inclusiv, ceea ce corespunde aproximativ marcilor B800-B900.
- Normele germane si franceze prevad betoane pana la clasele Bc60-Bc65, echivalent aproximativ cu marcile B800-B900.
- Normele romane prevad betoane pana la clasa Bc60, echivalent marca B800 inclusiv.

Cele prezentate succint arata ca betoanele de inalta performanta au inceput sa fie utilizate curent in diferite domenii in anii 1968-1984 si este de asteptat extinderea utilizarii acestora in anii urmatiori, datorita marilor avantaje pe care le prezinta, din care se mentioneaza:

- reducerea greutatii elementelor si structurilor cu 12-28%;
- reducerea consumurilor de ciment si otel in structuri cu 15-28%;
- reducerea dimensiunilor si inaltimii elementelor de suprapstructura in domeniul podurilor de sosea si al constructiilor industriale cu 20-35%, a costurilor elementelor de suprapstructura cu 8-20%;
- cresterea suprafetei spatiului utilizabil in cladirile inalte cu 10-20%. De asemenea, se mentioneaza ca anumite lucrari, care nu ar fi putut sa fie realizate din beton de clasele Bc25-Bc40, au putut sa fie realizate in conditii tehnico-economice foarte avantajoase din beton de clasele Bc50-Bc70 etc.

Se prezinta unele din lucrarile efectuate in colaborare de ICPMC- Laboratorul Tehnologia Betoanelor si IMC Brasov, pentru dezvoltarea tehnologiei betoanelor de inalta performanta in Romania.

Premise teoretice

In principiu este posibil sa se obtina betoane de inalta performanta pe urmatoarele cai:

- folosirea de cimenturi cu performante proprii ridicate;
- folosirea de agregate de concasaj din roci dure, a caror rezistenta cubica in stare saturata cu apa depaseste clasa betoanelor ce se realizeaza de 1,25...1,50 ori;
- cresterea proportiei de agregat mare de concasaj din roci dure, utilizat in compozitia betoanelor pana la 57...65% din masa amestecului de agregate si reducerea consumului de parti levigabile din agregatul mare sub 0,5% si sub 1% in nisip;
- reducerea cantitatii de apa de preparare din beton, pana la raporturi a/c de 0,30...0,40 pentru betoanele de inalta performanta de clasa I de rezistenta $75 \pm 12,5$ MPa, ceea ce corespunde marcilor B600-B800;
- reducerea cantitatii de apa de preparare din beton, pana la raporturi a/c de 0,25...0,30 pentru betoanele de inalta performanta de clasa a II-a de rezistenta $100 \pm 12,5$ MPa, ceea ce corespunde betoanelor de marca B800-B1000;
- reducerea cantitatii de apa de preparare, pana la raporturile a/c de 0,20...0,25 pentru betonul de inalta performanta de clasa a III-a de rezistenta $125 \pm 12,5$ MPa, ceea ce corespunde aproximativ marcii B1200 etc;
- folosirea de adaosuri minerale de foarte buna calitate la prepararea betoanelor;
- folosirea vibropresarii pentru elementele de volum redus;

- folosirea unor aditivi reducători de apă de preparare sau superplastifianți performanți, pentru a obține betoane care trebuie să satisfacă exigențele tehnologice privind lucrabilitatea betonului la cantitățile de apă de preparare reduse indicate anterior etc.[75]. Unii autori susțin că betoanele de înaltă performanță au cunoscut aplicații practice deosebite în anii 1968-1974 în Japonia și S.U.A., deoarece aceste țări dispuneau încă din anii 1960-1965 de aditivi reducători de apă de preparare performanți deși primul superplastifiant Mighty 100 a fost inventat și comercializat în Japonia în 1964.

Unele rezultate ale experimentărilor efectuate în timp în domeniul betoanelor de înaltă performanță

Primele experimentări s-au efectuat în anii 1968-1969, în scopul verificării posibilităților de a produce betoane de înaltă performanță, cu folosirea lianților produși în țară la dozaje de 580-700 Kg/m³ și a unor agregate de concasaj livrate de diferite cariere care erau bine spalate și sortate în laborator. Unele din rezultatele obținute pe betoane de consistență vartoasă (tasare 0,5-2 cm) sunt sintetizate în tabelul 2.4.5.

Nr. crt	Tipul cimentului utilizat	Agregate folosite mm	Rezistența la compresiune N/mm ²	
			1 zi	28 zile
1	P40 (BSS) Medgidia	nisip 0-3 granit 3-16	23,6	70,4
2	P40 (BSS) Medgidia remacinat în laborator		40,6	82,9
3	P45 (RIM 250) Fieni		31,2	74,6
4	P50 (RIM 300) Fieni		38,6	86,5
5	P55 (RIM 400) Fieni		51,2	91,6
6	P45 (RIM 250) Bicăz		34,8	78,0
7	P50 (RIM 300) Bicăz		48,7	89,5
8	P50 (RIM 300) Bicăz remacinat în laborator		62,4	124,9
9	RFM (ciment produs experimental de ICPILA și Fabrica Temelia- Brașov)		51,2	106,5
10	P45 (RIM 250) Bicăz	nisip 0-7 bazalt de Răcos 7-16	36,9	73,6
11	P50 (RIM 300) Bicăz	nisip 0-3 bazalt de Răcos 3-16	50,1	90,7

Tabel 2.4.5

Pe baza experimentarilor mentionate s-au elaborat ulterior si s-au aprobat Instructiunile tehnice CD 116-78 [75] pe baza carora s-a trecut la productia curenta a grinzilor de pod rulant GR12 din beton de marca B600. Ulterior, au mai executat periodic elemente prefabricate din beton de marca B600 si alte unitati de prefabricate din sistemul MILMC, ca IMC Deva, IMC Roman etc. Cresterea productiei de elemente prefabricate din beton de inalta performanta B600-B800 a fost limitata in anii 1978-1986, datorita faptului ca nedispunand de aditivi reductorii de apa performanti in tara, trebuia sa se lucreze cu betoane de consistenta vartoasa si sa se utilizeze pentru compactarea betonului proaspat vibratoare puternice, de care dispuneau putine unitati de prefabricate.

In anii 1979-1981 s-au efectuat cercetarile si experimentarile privind productia si utilizarea in tara a unor plastifianti pe baza de melamina formaldehida sulfonata si naftalina formaldehida sulfonata. Din aditivii cercetati (32 formule) pe criterii de optimizare a rezultat ca prezinta bune performante la utilizare in productia betoanelor de marcile B200...B800 superplastifiantii denumiti comercial VIMC 11 pe baza de melamina formaldehida sulfonata si VIMC 22 pe baza de naftalina formaldehida sulfonata.

Reluarea cercetarilor si experimentarilor in domeniul betoanelor de inalta performanta a aratat ca proiectand compozitii de betoane plastice (tasare 6...10 cm) si folosind lianti de buna calitate, agregate, adaosuri minerale si aditivi superplastifianti produsii in tara se pot obtine betoane de marcile B600-B800 (clasele Bc50...Bc60), la dozaje de ciment si consum de agregate de concasaj sensibil reduce. Unele dintre aceste rezultate sunt prezentate in tabelul 2.4.6. Betoanele de marca B600 (clasa Bc50) pot fi obtinute si cu folosirea cimenturilor Pa35 si a agregatelor de concasaj provenite din roci mai slabe sub aspectul rezistentei mecanice, ca de exemplu andezitul bazaltic de Voslobeni, unele calcare dure si chiar cu agregate obtinute prin operatiile de concasare-granulare a bolovanilor de rau cu dimensiuni peste 31 mm. De asemenea betoanele de marca B600 (clasa Bc50), pot fi obtinute folosind la prepararea betonului cimentul P40, adaosuri minerale de zgura granulata macinata sau cenusa de termocentrala si superplastifianti (tabelul 2.4.6).

Betoanele de marca B800 (clasele Bc60...Bc65) pot fi obtinute atat cu cimenturi P45, cat si cu cimenturi P50, la dozaje de circa 500 Kg/m³ si superplastifianti, insa numai in situatiile in care in compozitia betonului se utilizeaza agregat de concasaj din roci dure, ca bazaltul de Hoghiz, Racos sau granitul de Turcoaia, Pietroasa etc., in proportie de 50% din masa agregatului (tabelul 2.4.6). Aceasta arata ca in productia betoanelor cu inalte performante rolul agregatului mineral nu trebuie neglijat si trebuie selectionat si pregatit pentru utilizare cu multa atentie, exigentele crescand cu cresterea clasei (marcii) betonului.

Nr crt	Cimentul		Adaosuri minerale		Agregat		Aditiv		Rezistenta la compresiune N/mm ² la zile:		
	Tip	Kg/m ³	Tip	Kg/m ³	Mm	Tip	Tip	%	1	28	90
1	Pa35	400	-	-	0-16	BZ 1	-	-	20,1	55,6	61,1
2	Pa35	400	-	-	0-16	BZ 1	VIMC 11	3,0	34,2	68,2	71,6
3	Pa35	400	-	-	0-16	BZ 1	VIMC 22	1,5	28,9	65,7	71,2
4	P40	500	-	-	0-16	BZ 1	-	-	27,6	64,4	68,5
5	P40	500	-	-	0-16	BZ 1	VIMC 11	3,0	42,2	80,3	82,6
6	P40	500	-	-	0-16	BZ 1	VIMC 22	1,5	37,8	78,5	85,4
7	P40	500	-	-	0-16	AB	-	-	28,9	54,6	-
8	P40	500	-	-	0-16	AB	VIMC 11	3,0	40,7	63,7	-
9	P40	500	-	-	0-16	AB	VIMC 22	1,5	37,2	64,9	-
10	P45	500	-	-	0-16	AB	-	-	32,1	58,8	-
11	P45	500	-	-	0-16	AB	VIMC 11	3,0	42,9	67,3	-
12	P45	500	-	-	0-16	AB	VIMC 22	1,5	40,1	65,8	-
13	P40	380	Z	80	0-16	VB	-	-	12,6	47,3	-
14	P40	380	Z	80	0-16	VB	VIMC 11	2,5	21,1	61,2	-
15	P40	420	CT	60	0-16	VB	-	-	14,8	50,2	-
16	P40	420	CT	60	0-16	VB	VIMC 11	2,5	23,7	65,8	-
17	P50	460	-	-	0-16	VB	-	-	31,4	60,9	-
18	P50	460	-	-	0-16	VB	VIMC 11	2,5	43,8	72,8	-
19	P50	420	-	-	0-16	VB	VIMC 11	3,0	42,2	74,6	-
20	P45	500	-	-	0-16	BZ 2	-	-	31,8	68,9	-
21	P45	500	-	-	0-16	BZ 2	VIMC 11	3,0	45,9	86,8	-
22	P50	500	-	-	0-16	BZ 1	-	-	37,9	71,2	-
23	P50	500	-	-	0-16	BZ 1	VIMC 11	3,0	48,7	91,7	-
24	Pa35	500	-	-	0-16	VB	-	-	26,3	57,2	60,9
25	Pa35	500	-	-	0-16	VB	VIMC 11	3,0	39,8	68,8	73,4

Tabel 2.4.6

Observatii:

BZ 1 = 50% agregat bazaltic concasat de Hoghiz

AB = agregat de balastiera continand 30% agregat obtinut prin concasarea bolovanilor peste 31 cm

VB = 25% criblura din andezit bazaltic de Voslobeni

CT = cenusa de electrofiltru tip B

BZ 2 = 40% agregat de concasaj din bazalt de Hoghiz

Ulterior, într-o a treia etapă, în anii 1987-1988 aparând posibilitatea utilizării silicei ultrafine (SUF), subprodus industrial de la Combinatul Metalurgic Tulcea, ca adaos la prepararea betoanelor, s-au reluat experimentările pentru realizarea unor clase de betoane de înaltă rezistență, folosind SUF ca adaos mineral, având în vedere următoarele:

- Prin utilizarea SUF ca adaos mineral, material cu o finete de 10-40 ori mai mare decât a cimentului, se obțin următoarele efecte:
 - a) o activare puzzolanică prin reacția SUF cu hidroxidul de calciu pus în libertate la hidratarea cimenturilor;
 - b) un efect de creștere a compactării betonului prin interpunerea particulelor de SUF în porii capilari ai pastei de ciment și porii și golurile din structura betonului proaspăt, și deci o creștere a rezistențelor finale ale betoanelor preparate cu adaos de SUF.
- În condițiile în care la prepararea betoanelor se utilizează concomitent adaosuri de SUF și superplastifianți de tipul VIMC 11 sau VIMC 22, se obțin avantaje suplimentare, datorită favorizării proceselor de activare fizico-chimică prin adaosul de superplastifiant deoarece, prin reducerea cantității de apă de preparare la lucrabilitate egală, este avantajată formarea unei structuri mai compacte a betonului cu toate consecințele ce decurg din aceasta, precum creșterea rezistențelor mecanice, a rezistenței la uzură și la îngheț-dezghet repetat, a rezistenței betonului la acțiuni chimic-agresive etc.

Unele din rezultatele experimentărilor efectuate pentru obținerea betoanelor de înaltă performanță în cea de-a treia etapă sunt redate în tabelul 2.4.7 și indică în principal următoarele:

- Agregatele provenite din roci calcaroase cu rezistențe mici ($40,0 - 45,0 \text{ N/cm}^2$) permit să se obțină betoane de clasă Bc50 (B600) la limită, ceea ce în condiții de producție curente, în cazul unor variații diurne ale parametrilor de compoziție, creează riscul să nu asigure realizarea clasei Bc60 chiar în condițiile utilizării concomitente a SUF și VIMC 11; de aceea astfel de agregate este indicat să fie utilizate la producerea betoanelor de clasă maximă Bc40 (B500).
- Agregatele obținute prin concasarea andezitului bazaltic de la Voslobeni pot fi utilizate în condiții de producție curentă la realizarea betoanelor de înaltă performanță de clasă Bc50 (B600). Pentru realizarea betoanelor de clasele Bc60...Bc80 (B800-B1000) este necesar în compoziția betonului un agregat obținut prin concasarea rocilor dure cum sunt bazaltele de Racos, Hoghiz, granitul de Turcoaia și Pietroasa etc., în proporție de cel puțin 50% din masa agregatului de amestec.

Nr. crt	Ciment		SUF	Agregat		Aditiv		Rezistente mecanice, N/mm ² la zile:		
	Tip	Kg/m ³		mm	Tip	Tip	%	1	28	90
1	Pa35	400	-	0-16	BZ 2	-	-	18,7	53,4	58,9
2	Pa35	400	-	0-16	BZ 2	VIMC 11	3,0	31,9	62,9	71,0
3	Pa35	400	25	0-16	BZ 2	VIMC 11	3,0	34,7	70,2	74,9
4	P40	400	-	0-16	VB	-	-	22,9	56,7	59,1
5	P40	400	-	0-16	VB	VIMC 11	3,0	27,9	63,2	68,9
6	P40	375	25	0-16	VB	VIMC 11	3,0	31,0	67,8	71,2
7	P40	500	-	0-16	VB	VIMC 11	3,0	32,7	68,8	72,9
8	P40	470	30	0-16	VB	VIMC 11	3,0	36,1	81,8	88,2
9	P40	450	50	0-16	VB	VIMC 11	3,0	35,0	83,3	90,1
10	P40	420	80	0-16	VB	VIMC 11	3,0	27,9	78,2	84,7
11	P45	500	-	0-16	VB	-	-	32,8	68,9	72,6
12	P45	470	30	0-16	VB	VIMC 11	3,0	40,3	82,4	92,8
13	P45	450	50	0-16	VB	VIMC 11	3,0	39,2	87,6	95,4
14	P45	500	-	0-16	BZ 2	-	-	34,4	74,8	78,9
15	P45	470	30	0-16	BZ 2	VIMC 11	3,0	45,4	93,7	100,2
16	P45	450	50	0-16	BZ 2	VIMC 11	3,0	43,7	96,4	100,8
17	P45	470	30	0-16	BZ 2	VIMC 11	4,5	54,6	108,8	112,7
18	P45	450	50	0-16	BZ 2	VIMC 11	4,5	52,9	115,7	120,4
19	P40	600	-	0-16	BC	-	-	34,2	52,4	-
20	P40	500	50	0-16	BC	VIMC 11	3,0	43,2	64,8	-
21	P40	500	50	0-16	BCR	VIMC 11	3,0	46,6	71,2	-

Tabel 2.4.7

Observatii:

- BZ 2 = 50% agregat bazaltic concasat de Racos
- VB = 25% criblura din andezit bazaltic de Voslobeni
- BC = 50% agregat concasat de calcare de Luminita-Tasaul
- BCR = 50% agregat concasat din calcare dure de racos

- SUF este indicat sa fie utilizat in compozitia betoanelor de inalta performanta in procent de 6...10% din masa dozajului de ciment si pe cat posibil numai cu folosirea concomitenta a aditivului superplastifiant VIMC 11.
- De asemenea, pentru betoanele transportate, in compozitia betoanelor cu adaos de SUF si VIMC 11, este necesar sa se utilizeze suplimentar un

intarziator de priza pentru a se asigura mentinerea lucrabilitatii in timp pana la 90-120 min.

- In cele trei etape de experimentari, pentru dezvoltarea tehnologiei betoanelor de inalta performanta, s-au redus complet consumurile de cimenturi de marca P50, care se obtin greu la noi in tara si s-a trecut la folosirea cimenturilor P40-P45 mai accesibile ca pret si posibilitati de procurare si s-au redus de asemenea dozajele de ciment cu circa 20-25%, ceea ce reprezinta un element foarte important. Pe baza celor mai de sus, s-au elaborat de catre ICPMC in colaborare cu IMC Brasov si alte unitati de prefabricate Instructiunile tehnice CD 137/89 [77] care prin comparatie cu Instructiunile tehnice CD 116/78 prevad realizarea betoanelor de inalta performanta de clasele Bc50...Bc60 (marcile B600-B800), in conditii tehnico-economice deosebit de avantajoase, din care mentionam:
 - folosirea de betoane cu lucrabilitate imbunatatita, ceea ce permite reducerea consumului de energie pentru compactare si imbunatatirea conditiilor de munca;
 - reducerea dozajelor de ciment, concomitent cu folosirea unor cimenturi produse curent, mai usor de procurat etc.;
 - in baza tehnologiilor elaborate este posibil sa se realizeze cu asistenta tehnica a ICPMC-LTB sau alt institut de specialitate si betoane de clasele Bc80...Bc100 (marcile B1000-B1200), folosind mijloacele actuale din dotarea unitatilor de prefabricate, cu unele completari ale centralelor de beton;
 - in ce priveste dezvoltarea viitoare a domeniului se considera indicate urmatoarele:
 - a) Prevederea in STAS 3622, la o noua revizuire, a urmatoarelor clase de betoane de inalta performanta: Bc50; Bc65; Bc80 si Bc100. Aceasta deoarece clasa actuala Bc60 este mult mai acoperitoare pentru marca B700 si inferioara marcii B800 si deci clasa Bc65, posibil de realizat in unitatile de prefabricate, acopera mai bine fosta marca de beton B800. Clasele Bc80 si Bc100 (marcile B1000...B1200) se propun pentru asigurarea dezvoltarii in ultimii ani ai mileniului doi, fiind posibil ca la inceputul mileniului trei sa trecem la productia betoanelor de clasele Bc120...Bc140 (marcile B1200...B1400) etc.
 - b) Prevederea claselor Bc65, Bc80 si Bc100 in standardele de proiectare structuri si elemente prefabricate si in normativele cu caracter tehnologic pentru prepararea betoanelor si realizarea elementelor prefabricate si structurilor constructiilor, cu indicativele C 140 si CD 137 la urmatoarea revizuire etc.

Prin colaborarea dintre ICPMC- Laboratorul Tehnologia Betoanelor, ICM Brasov si alte unitati de prefabricate, in domeniul realizarii elementelor prefabricate din betoane de inalta performanta, s-au realizat in trei etape succesive, derulate pana in prezent, dezvoltarea tehnologiei si perfectionari importante si s-au elaborat Instructiunile tehnice CD 137/1-89 [77], care permit in prezent productia elementelor prefabricate folosind dotarea existenta in majoritatea unitatilor de prefabricate pentru realizarea curenta in conditii tehnico-economice avantajoase a elementelor prefabricate din betoane de clasele Bc50...Bc140 (marcile B1400-B1600).

2.4.1. Betoane din pudre reactive (BPR)

2.4.1.1 Principiile obtinerii BPR

Incepand cu anul 1990 in franta se studiaza un beton cu performante inedite denumit beton din pudre reactive (BPR), caracterizat prin proprietati mecanice si de durabilitate remarcabile. Este denumit si beton de ultra inalte performante [46,47, 36].

Betoanele din pudre reactive poseda pe langa o rezistenta la compresiune foarte ridicata ce poate atinge valori de 200- 800 N/mm² si alte caracteristici performante printre care etanseitatea la apa si gaze, punerea in opera fara armaturi pasive, rezistenta la agenti chimici agresivi, rezistenta la inghet- dezghet s. a.

Pentru obtinerea betoanelor din pudre reactive se utilizeaza prafuri: ciment, nisip fin, quart macinat, silice ultrafina, cu granule ce nu depasesc 0,6 mm. Prepararea se face in conditii asemanatoare cu ale betonului obisnuit, folosind inasa un dozaj foarte scazut de apa de amestecare. Utilizarea unui superplastifiant si a silicei ultrafine asigura reducerea raportului apa/ liant la valoarea 0,15 sau chiar mai putin.

Se considera ca performantele BPR sunt date de microstructura lor care le confera o porozitate foarte mica, o permeabilitate abia masurabila si o duritate exceptionala.. comparata cu a betoanelor obisnuite s-a observat o modificare structurala completa a compusilor hidratati care conduce la o structura continua a fazei liante la scara microscopica [48].

La nivel macroscopic matricea BPR constituie un mediu aproape impermeabil pentru aer, agentii agresivi, cat si pentru ionii de clor. Lipsa aproape completa a porilor capilari determina o rezistenta foarte mare la gelivitate. Adaugarea de fibre de otel aduce BPR o crestere semnificativa a rezistentei la intindere si o ductilitate sensibil sporita, ceea ce permite realizarea de structuri fara armatura pasiva.

Cercetarile experimentale intreprinse [36] privind betonul din pudre reactive arata ca acest nou material are la baza obtinerii lui urmatoarele principii:

- imbunatatirea omogenitatii prin eliminarea agregatelor mari;

- creșterea compactității prin optimizarea amestecului granular și aplicarea unei presiuni înainte și în timpul prizei;
- îmbunătățirea microstructurii prin tratament termic practicat după priză;
- sporirea ductilității prin utilizarea de fibre de oțel.

Aplicarea primelor trei principii asigură obținerea unei matrice cu o rezistență foarte ridicată la compresiune a cărei ductilitate, însă, nu este ameliorată în comparație cu ductilitatea unui mortar obișnuit. Utilizarea de fibre de oțel determină atât creșterea rezistenței la întindere cât și atingerea ductilității cerute.

Principiile privind omogenitatea și compactitatea dată de optimizarea amestecului granular ocupă primul loc în obținerea BPR și sunt întotdeauna aplicate.

Celelalte principii, legate de creșterea compactității prin presare și de îmbunătățirea microstructurii prin tratament termic, sunt optionale și permit îmbunătățirea în plus a performanțelor. Pentru fiecare aplicație a BPR este necesară evaluarea oportunității aplicării acestor principii ținând seama de dificultățile tehnologice pe care acestea le prezintă (presarea) și/ sau de costul lor (tratamentul termic).

Având în vedere importanța acestor principii în atingerea performanțelor BPR, o analiză detaliată a acestora se face în continuare [36].

A) Îmbunătățirea omogenității

Betonul obișnuit este un material eterogen format din agregate și pastă de ciment (ciment, adaosuri, aditivi și apă). Rigiditatea agregatelor este superioară pastei întărite. Astfel, modulul lui Young al silicii este 70 GPa în timp ce pasta întărită are un modul de 18- 22 GPa. Alături de această eterogenitate mecanică apare o eterogenitate chimică, deoarece în timpul prizei și întăririi betonului pasta prezintă o contracție chimică puternic împiedicată de scheletul granular chimic inert. În plus, în cazul tratamentului termic, coeficientul de dilatare termică al pastei întărite este de trei ori mai mic decât al agregatelor cuarțoase. Apare o împiedicare a dilatării de către pasta întărită, ce este însoțită, ca și în cazul contracției chimice, de fisurare a pietrei de ciment. Aceste eterogenități explică, în parte, comportamentul mecanic mai puțin performant al betonului obișnuit. Ele sunt însă considerabil reduse în cazul BPR datorită:

- eliminării agregatelor mari și înlocuirii lor cu nisip fin având granule ce nu depășesc câteva sute de microni;
- îmbunătățirii proprietăților mecanice ale pietrei de ciment;
- suprimării aureolei de tranziție;
- limitării dozajului de nisip.

a) Efectul eliminarii agregatelor mari

Studiind comportarea la compresiune centrică a unei incluziuni izolate, rigidă și sferică, într-o matrice omogenă, se constată o deviere a câmpului de eforturi de compresiune ce determină la suprafața de separare eforturi tangențiale cu o valoare maximă la 45° precum și eforturi de întindere perpendiculare pe efortul principal care se dezvoltă în jurul circumferinței.

Agregatele mari reprezintă un ansamblu de incluziuni rigide. Alterarea câmpului de eforturi este mai complexă decât în cazul unei singure incluziuni, ceea ce face ca eforturile tangențiale și de întindere care apar la interfața piatră de ciment- agregat să se dezvolte într-o zonă numită "aureola de tranziție", caracterizată printr-o mai mare porozitate și o rezistență mai mică a pietrei de ciment.

La o încărcare de compresiune piatră de ciment fisurează în zonele întinse și/sau forfecate. Lungimea fisurilor depinde de extinderea zonei întinse sau forfecate. În cazul unei incluziuni sferice lungimea fisurii dezvoltate pe circumferință este direct proporțională cu diametrul incluziunii. La BPR, unde dimensiunea maximă a agregatului este de circa 50 de ori mai mică decât la betonul obișnuit, se poate aștepta o reducere considerabilă a lungimii microfisurilor de proveniență:

- mecanică (din solicitări exterioare);
- chimică (datorită auto-uscării ce conduce la contractia pietrei de ciment);
- termomecanică (din dilatarea diferențiată a pietrei de ciment și a agregatelor în cazul tratamentului termic).

Aceasta conduce la creșterea rezistenței la compresiune și la întindere a betonului. Pe de altă parte, micșorarea lungimii microfisurilor, din contractia de auto-uscăre sau din tratamentul termic, face posibilă resudarea lor în procesul de întărire de lungă durată datorită reacției puzzolanice a silicei ultrafine cu hidroxidul de calciu.

b) Efectul îmbunătățirii proprietăților mecanice ale pietrei de ciment

Betoanele din pudre reactive au modulul lui Young superior valorii de 50 GPa, putându-se atinge 75 GPa pentru cele cu densități superioare. În acest ultim caz (75 GPa) modulul ansamblului piatră de ciment- agregat este ușor superior modulului agregatului silicios. Rezultă că efectul eterogenității mecanice a dispărut complet și chiar inversat.

Cresterea modului pietrei de ciment al BPR fata de modul pietrei de ciment al betonului obisnuit diminueaza efectele datorate perturbarii campului de eforturi mecanice .

Se mentioneaza ca aceasta ameliorare nu se extinde la fisurarea din auto-uscarea sau din tratament termic.

c) Efectul suprimarii aureolei de tranzitie

Suprimarea aureolei de tranzitie este data de compactitatea ridicata a amestecului granular cat si de dozajul ridicat de silice ultrafina. Pe de alta parte, in cazul unui tratament termic este posibila producerea unei legaturi chimice intre piatra de ciment si nisipul silicios.

d) Efectul limitarii dozajului de nisip

In betonul obisnuit agregatele (nisipul si pietrisul) constituie componentii majoritari in volum si formeaza un schelet rigid de granule aflate in contact. Acesta se opune contractiei pietrei de ciment, ceea ce conduce la o crestere a porozitatii.

In BPR se urmareste ca volumul de pasta de ciment sa depaseasca cu cel putin 20% volumul de goluri al nisipului afanat. In aceasta situatie nisipul nu mai constituie un schelet rigid ci un ansamblu de incluziuni din cadrul unei matrice continue. Ca urmare, contractia pietrei de ciment este partial blocata in jurul fiecarei granule de nisip (cu consecinte reduse datorita dimensiunii mici a fiecarei granule de nisip), dar contractia ansamblului nu este impiedicata intrucat granulele de nisip pot fi cu usurinta antrenate de piatra de ciment.

B) Cresterea compactitatii

a) Optimizarea amestecului granular

Optimizarea unui amestec granular format din pudre a facut obiectul unor analize matematice. Parametrii luati in considerare in aceste analize sunt:

- granulometria fiecarui component granular;
- forma granulelor, coeficientul volumic mediu;
- modul de dispersare intr-un amestec apos;
- absorbtia de apa pe granulele submicronice s.a.

Programul RENE, utilizat la BPR in Franta, de catre SEDRAN si DE LARRARD [36], pentru studiul granulozitatii optime a fost intocmit pe baza principiilor:

- un amestec din mai multe sorturi (clase) se realizeaza, daca este posibil, dand prioritate unui sort elementar din cadrul fiecarui sort granular;
- sorturile (clasele) granulare se separa prin alegerea unui raport ridicat (superior lui 13) intre diametrele medii (d_{50}) a doua clase consecutive; superplastifiantul se alege pe baza compatibilitatii ciment- superplastifiant, folosindu-se dozajul optim corespunzator lucrabilitatii maxime;
- se aleg pudrele fine care se aglomereaza cel mai greu;
- se optimizeaza modul si conditiile de malaxare.

Parametrul principal pentru alegerea amestecului granular este cantitatea minima de apa necesara transformarii in pasta a amestecului uscat. Raportul apa/liant minim obtinut este 0,08 [36].

Practic golurile unui amestec granular sunt umplute de apa utilizata si de aerul oclus.

Dupa ce s-a ales amestecul granular pe baza necesarului minim de apa, cantitatea de apa optima se stabileste cu ajutorul unui parametru mai global. Acest parametru este densitatea relativa ρ_0/ρ_s , ρ_0 reprezentand densitatea betonului la decofrare si ρ_s densitatea fazei solide a amestecului granular compactat (adica fara apa si aer).

Variatia densitatii relative, functie de continutul de apa exprimat prin raportul apa/liant, este prezentata in figura 2.4.1.

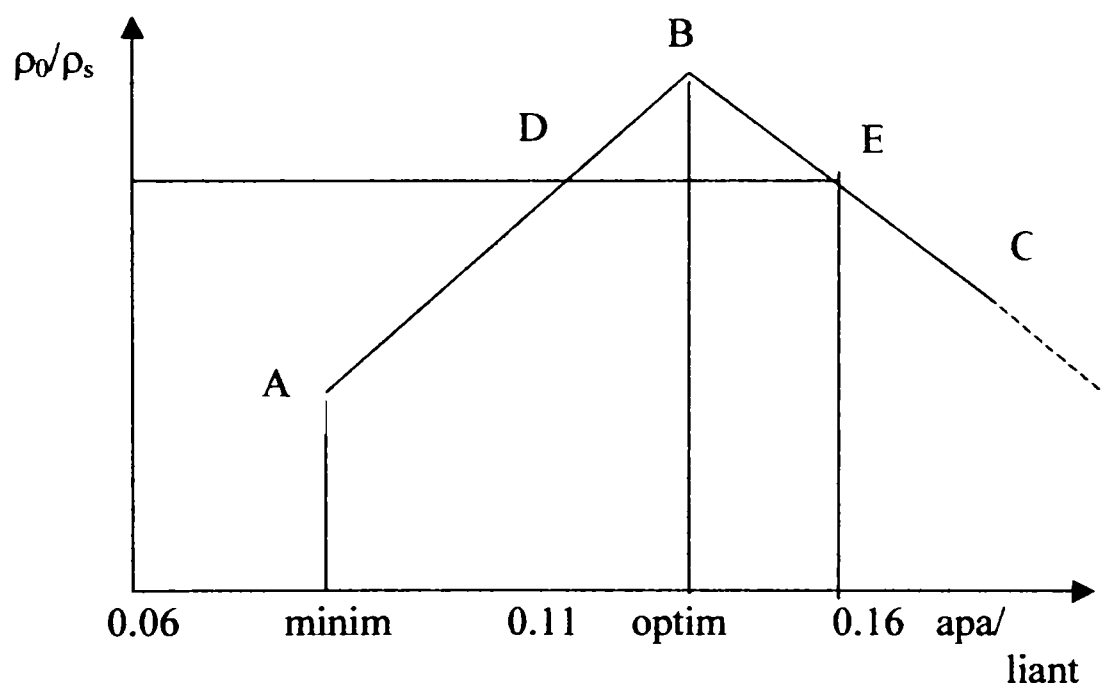


Fig. 2.4.1.

Variatia densitatii relative functie de continutul de apa
 ρ_0 -densitatea aparenta la decofrare;
 ρ_s -densitatea amestecului granular uscat compactat

Punctul A corespunde densitatii relative obtinute pentru raportul apa/liant minim (0,08). Cand raportul apa/liant creste usor, cantitatea de apa suplimentara inlocuieste aerul oclus. Creste masa amestecului in timp ce volumul sau ramane constant. Se obtine o crestere a densitatii ρ_0 cat si a densitatii relative. Cand se ajunge in punctul B cantitatea de aer oclusa este minima (circa 2%) iar daca raportul apa/liant creste in continuare, apa suplimentara maresc volumul amestecului. Densitatea relativa scade (punctul C).

Exista, deci, o densitate relativa maxima ce corespunde unui raport optim apa/liant. Se observa ca aceeasi densitate relativa se poate obtine cu rapoarte apa/liant diferite situate de o parte si de alta a raportului apa/liant optim (punctele D si E). Dintre acestea, raportul apa/liant mai mare conduce la performante mecanice mai bune intrucat amestecul corespunzator contine mai putin aer oclus si mai multa apa care, dupa hidratare, va fi integrata fazei solide. In plus si lucrabilitatea betonului va fi mai buna.

Este bine ca raportul apa/liant optim folosit in practica sa fie usor mai mare decat cel obtinut in laborator, pentru a preintampina eventualele imperfectiuni de dozare ce ar putea situa amestecul de beton pe ramura A-B a curbei.

Raportul apa/liant optim utilizat in practica este deci superior celui teoretic (stabilit in laborator) care, la randul lui, este mai mare decat raportul apa/liant minim.

b) Alegerea componentilor granulari

Componentii granulari ai BPR sunt:

- cimentul;
- "agregatul", constituit din nisip cuarzos fin;
- cuarzul macinat;
- silicea ultrafina;
- silicea de precipitatie.

Cimentul

Alegerea cimentului nu poate fi dissociata de alegerea superplastifiantului. Cimenturile cu un continut scazut in C_3A dau rezultate mai bune. S-a observat ca cimenturile cu suprafata specifica mare nu sunt satisfacatoare intrucat necesita multa apa. Cele mai bune performante se obtin cu cimenturile bogate in silicati; aceste cimenturi au o priza mai lenta, ceea ce determina interzicerea folosirii lor pentru unele aplicatii. Cimenturile cu priza si intarire rapida dau performante la fel de bune dar, din pacate, necesita mai multa apa.

Superplastifiantii cei mai eficienti s-au dovedit a fi dispersantii pe baza de poliacrilati ce au si un efect de intarziere a prizei, care insa poate deranja in unele aplicatii. Superplastifiantii traditionali, preferati pentru compatibilitatea lor cu cimentul, dau rezultate ceva mai slabe. Datorita raportului apa/ciment scazut utilizat la BPR, dozajul optim de superplastifiant este ridicat, de cca 1,6% substanta uscata fata de masa cimentului. Este important ca dozajul optim de superplastifiant sa fie stabilit cu precizie deoarece o supradozare prezinta inconveniente ca intarzierea pronuntata a prizei sau cresterea costului.

Nisipul

Parametrii de care se tine seama la alegerea nisipului sunt:

- compozitia mineralogica;
- dimensiunile granulelor (medie, minima si maxima);
- forma granulelor;
- dozajul.

In ceea ce priveste compozitia mineralogica se prefera cuarțul, care are urmatoarele avantaje:

- duritate mare;
- interfete piatra de ciment/ agregat excelente;
- resurse suficiente si cost redus.

In conformitate cu cele prezentate, referitoare la imbunatatirea omogenitatii si la optimizarea amestecului granular, dimensiunea medie a granulelor se alege in jur de 250 micrometri, dimensiunea maxima se limiteaza la 600 micrometri, iar dimensiunea minima trebuie sa fie peste 150 micrometri, pentru a evita interferarea cu granulele mari de ciment, care sunt de 80-100 micrometri.

Pentru BPR se pot folosi nisip de concasaj sau nisip natural, cel natural fiind preferat intrucat necesita mai putina apa pentru o aceeași lucrabilitate.

Dozajul de nisip se alege in conformitate cu cele prezentate in paragraful 2.4.1.1.

Silicea ultrafina

Silicea ultrafina utilizata la BPR are trei roluri:

- umplerea golurilor dintre granulele de ciment;
- imbunatatirea lucrabilitatii amestecului prin lubrefierea datorata perfecte sfericitati a granulelor;
- producerea de hidrati secundari prin reactia puzzolanica cu varul rezultat la hidratarea cimentului.

Lipsa agregatelor mari impune utilizarea SUF neaglomerate. Folosirea unei paste de SUF nu este posibilă întrucât cantitatea de apă conținută în pasta depășește cantitatea de apă necesară pentru amestecare.

S-a constatat că impuritățile cele mai nedorite pe care le poate avea SUF sunt carbonul și alcaliile. Cele mai bune rezultate s-au obținut cu SUF provenită din industria zirconului, lipsită de impurități, care are însă o suprafață specifică mai mică decât silicea tradițională ($14 \text{ m}^2/\text{g}$ în loc de $18 \text{ m}^2/\text{g}$). O silice prea fină ($22 \text{ m}^2/\text{g}$) poate conduce la rezultate mai slabe din cauza aglomerării particulelor.

Raportul masic optim SUF/ciment pentru o bună umplere a golurilor dintre granulele de ciment este în jur de 0,25. Acest raport este apropiat de valoarea stoechiometrică corespunzătoare consumării complete a varului rezultat la hidratarea totală a cimentului. În BPR hidratarea cimentului este incompletă și din acest punct de vedere silicea este în cantitate prea mare.

Cuartul macinat

Pudra de cuarț cristalin macinat este necesară în BPR tratate termic. Pentru BPR obținute fără tratament termic, cuarțul macinat este un component inert, eventual cu o reactivitate scăzută.

Reactivitatea maximă a cuarțului macinat se obține pentru o dimensiune medie a granulelor de 5-25 micrometri [36]. Cuarțul macinat utilizat la BPR are dimensiunea medie a granulelor de 10 micrometri, deci de dimensiuni apropiate de granulele de ciment.

Dozajul masic trebuie să corespundă valorii optime stoechiometrice care permite transformarea hidratilor amorfi în tobermorit.

Silicea de precipitație

Este constituită din particule elementare cu diametrul de circa 200 Ångström, deci mai mici decât granulele silicei ultrafine. Din acest motiv ea poate contribui la:

- umplerea spațiilor interstițiale dintre granulele de silice ultrafină;
- inițierea mai rapidă a transformărilor chimice, având o reactivitate mai pronunțată decât silicea ultrafină.

Din cauza suprafeței specifice mari pe care o are ($35 \text{ m}^2/\text{g}$) prezintă, din păcate, tendința pronunțată de aglomerare și solicită mai multă apă de amestecare. Cu toate acestea, utilizată în cantitate mică (în jur de 1% față de masa cimentului) ea aduce o contribuție pozitivă la performanțele BPR.

c) Presarea inaintea si in timpul prizei

Se cunoaste ca rezistenta la compresiune este o functie crescatoare dependenta de densitatea relativa. O cale eficace pentru cresterea acestei densitati este aplicarea unei presiuni asupra betonului proaspat. Functie de modul de aplicare si de durata, aceasta presare poate avea trei efecte favorabile:

Reducerea volumului de aer oclus

Presarea betonului proaspat asigura eliminarea sau reducerea accentuata a aerului oclus, in doar cateva secunde.

Eliminarea apei din beton

Daca presiunea se mentine mai multe minute si daca tiparul nu este perfect etans se elimina apa prin rosturi. Este necesar ca rosturile sa fie foarte subtiri pentru a nu permite eliminarea granulelor fine din beton.

Cercetarile au stabilit ca opresiune de 50 N/mm^2 aplicata unei epruvete cu diametrul de 7 cm, timp de o jumatate de ora, duce la eliminarea a 20-25% din apa introdusa la amestecare /32/. Tinand seama de rapoartele mici A/C ale BPR, acest rezultat este semnificativ si corespunde unei cresteri a compactitatii relative cu circa 2%.

Reducerea porozitatii provocate de contractia chimica

Mentinerea presiunii si pe perioada prizei betonului (6 pana la 12 ore dupa amestecare) asigura inchiderea unei parti a porozitatii ce apare din cauza contractiei chimice.

S-a constatat ca cele trei efecte pot aduce o crestere de cel putin 6% a densitatii relative, aceasta atingand valoarea de cca 0,94 pentru BPR fara fibre si de 0,91 pentru BPR cu fibre. Aceste densitati relative corespund unor valori foarte ridicate ale rezistentelor la compresiune.

Aplicarea unei presiuni inainte si dupa priza nu se poate realiza simplu decat pentru elementele prefabricate de dimensiuni mici.

C) Imbunatatirea microstructurii prin tratament termic

a) Principii generale

Pastrarea betonului in etuva, la temperaturi mai mici de 70°C , conduce la accelerarea prizei si intaririi care se soldeaza cu cresterea rezistentelor mecanice la o varsta tanara si cu o diminuare usoara a rezistentelor finale. Pentru betoanele care

contin SUF, incalzirea la 70-90⁰C accelereaza puternic reactia puzzolanica, modificand totodata structura compusilor hidratati formati; se obtin in aceste conditii rezistente finale superioare celor obtinute pe betoanele netratate termic. Pastrarea la temperaturi mai mari de 100⁰C intr-o atmosfera saturata de vapori de apa sub presiune (conditii hidrotermale) conduce la transformarea compusilor hidratati amorfi in produsi cristalini. Unii din acesti produsi poseda proprietati mecanice mediocre (C₂SH_α) iar altii, dimpotriva, permit obtinerea unor rezistente imbunatatite (tobermorit, xonotlit).

Tratamentul termic constituie pentru BPR un mijloc de imbunatatire a performantelor lor mecanice.

Pastrarea BPR se face initial in cofraje la temperatura mediului ambiant. Tratamentul termic se aplica dupa sfarsitul prizei. El se face la presiune atmosferica in mediu umed (vapori de apa) sau uscat (aer cald). Cercetarea conditiilor de pastrare optime ale BPR are la baza trei principii:

- obtinerea unui continut optim de compusi hidratati cristalini;
- stabilirea conditiilor stoechiometrice si termodinamice care sa favorizeze obtinerea compusilor hidratati cristalini cu cele mai bune proprietati mecanice;
- eliminarea unei cantitati maxime de apa din betonul intarit.

2.4.1.2. Microstructura betoanelor din pudre reactive

Microstructura betoanelor din pudre reactive este puternic influentata de conditiile tratamentului termic utilizat la intarirea lor.

S-a constatat ca BPR tratate termic la temperaturi mai mari de 200⁰C prezinta o uscare pronuntata care le afecteaza microstructura. Se obtine o imbunatatire a performantelor mecanice (la compresiune si intindere) prin folosirea pentru aceste betoane a unor fibre scurte (lungimea pana la 3 mm) si de forma neregulata. Energia de rupere este insa puternic diminuata. S-a atins astfel o rezistenta la compresiune, determinata pe cilindri cu diametrul de 6 cm, de 810 N/mm² pentru BPR preparat cu agregate metalice.

O analiza amanuntita a microstructurii BPR a fost intreprinsa de Cheyrezy s.a. [46], care au utilizat pentru cercetarile efectuate urmatoarea compozitie de baza:

- ciment CPA: 1;
- silice ultrafina: 0.25;
- nisip: 1.1;
- superplastifiant: 1.8% substanta uscata;
- A/(C+SUF) : 0.12.

Pentru compozitiile care au continut si quart macinat sau fibre de otel raportul A/(C+SUF) a fost majorat la 0.15.

Cod BPR	Presiunea aplicata inaintea si in timpul prizei	Temperatura de intarire	Observatii
B 20 ⁰ C/NC	nepresat	20 ⁰ C	-
B 20 ⁰ C/CP	310 atm	20 ⁰ C	-
B 90 ⁰ C/NC	nepresat	90 ⁰ C	-
B 90 ⁰ C/CP	625 atm	90 ⁰ C	-
BQ 200 ⁰ C/NC	nepresat	200 ⁰ C	Contine quart macinat
BQ 200 ⁰ C/CP	625 atm	200 ⁰ C	Contine quart macinat
BF 250 ⁰ C/NC	nepresat	250 ⁰ C	Contine fibre de otel
BQF 400 ⁰ C/NC	nepresat	400 ⁰ C	Contine quart macinat si fibre de otel
BQ 400 ⁰ C/CP	625 atm	400 ⁰ C	Contine quart macinat
BQF 400 ⁰ C/CP	625 atm	400 ⁰ C	Contine quart macinat si fibre de otel

Tabel 2.4.8.

Parametrii luati in considerare au fost presiunea aplicat a inaintea si in timpul prizei si temperatura tratamentului termic, fiind astfel studiate tipurile de betoane date in tabelul 2.4.8.

Proprietatile microstructurale ale BPR s-au studiat prin termogravimetrie, difractia razelor X (DRX) si cu porozimetrul cu mercur.

2.4.2. Betoane cu aditivi superplastifianti

Realizarea betoanelor cu inalta performanta se poate face prin :

- folosirea unor aditivi superplastifianti;
- utilizarea atit a aditivilor superplastifianti cit si a silicei ultrafine.

Betoanele cu foarte inalte performante se pot realiza numai prin folosirea atit a aditivilor superplastifianti cit si a silicei ultrafine.

Cerectarile efectuate in domeniul betoanelor cu aditivi superplastifianti au cuprins o gama larga de domenii, si anume:

- realizarea unor noi tipuri de aditivi pentru betoane, aditivi superplastifianti;
- mecanismul de actiune al aditivilor superplastifianti;
- tehnologia betoanelor cu aditivi superplastifianti;
- proprietatile betoanelor poaspete si intarite si factorii care le influenteaza;
- deformatiile betoanelor cu superplastifianti;
- durabilitatea betoanelor cu superplastifianti.

2.4.2.1. Materiale componente

A) Cimentul

Cimentul influenteaza principalele caracteristici fizico-mecanice ale betoanelor cu aditivi superplastifianti prin tipul cimentului (compozitia mineralogica si in special influenta C_3A) [49,50].

In prezent se fabrica diferite tipuri de cimenturi Portland avand compozitii chimico- mineralogice si proprietati diferite, si care pot fi foarte indicate pentru diferite utilizari practice; dintre aceste tipuri mentionam:

- cimenturi Portland obisnuite;
- cimenturi portland cu rezistente initiale mari sau cimenturi cu intarire rapida.

a) Cimentul Portland obisnuit este un ciment cu utilizare la o gama larga de lucrari de constructii din beton, beton armat si beton precomprimat, motiv pentru care detine o pondere importanta in productia de ciment a tarilor industrializate, de

exemplu Anglia circa 90%, Franta peste 60%. In Romania un astfel de ciment s-a fabricat pe baza STAS 388 pana in 1979.

In general diferite norme prevad pentru acest ciment un coeficient de saturatie in oxid de calciu de 0,60-1,02, un continut in MgO de maximum 3-5%, o finete de macinare de minimum $2500\text{cm}^2/\text{g}$ suprafata specifica Blaine, rezistenta la compresiune la 28 zile pe mortare standard corespunzatoare claselor P35-55 (sau I 32,5- 52,5 conform ENV 197/1), constanta de volum buna, priza normala etc.

In SUA acest ciment este notat conventional ciment tip I (tabelul 2.4.9.).

b) Cimentul Portland cu rezistente initiale mari sau cimentul cu intarire rapida este un ciment asemanator cu cimentul Portland obisnuit sub raportul compozitiei chimico- mineralogice, insa fabricarea acestui ciment este mult mai pretentioasa.

Atunci cand se prevad compozitii mineralogice cu un continut de C_{35} mai mare de 62-65%, arderea clincherului trebuie facuta mai ingrijit si la temperaturi ceva mai ridicate de $1450-1500^{\circ}\text{C}$.

Macinarea acestui ciment se face la o finete avansata (minimum $3500\text{ m}^2/\text{g}$ suprafata specifica Blaine), ceea ce conduce si la un consum de energie mai mare in fabricatia acestui ciment si, in consecinta, la un pret de cost mai ridicat la livrare.

Clasele de rezistenta la 28 de zile variind de regula pentru acest ciment intre 32,5 si 62,5 apar insa obligatoriu rezistentele initiale la 1,2,3 si 7 zile (in functie de metoda de determinare) care sunt superioare cimenturilor portland obisnuite.

In Romania, din grupa cimenturilor cu rezistente initiale mari, s-au fabricat in anii 1962-1980 cimenturile RIM 200-RIM 300 si, incepand cu anul 1980, s-au fabricat cimenturile P40-P45 si P55 conform STAS 388-80. Cimenturile Portland obisnuite si cu intarire rapida sunt produse in Romania incepand cu anul 1996, pe baza SR 388/1995 care este aliniat la norma internationala ENV 197-1/1992 (tabelele 2.4.10, 2.4.11., 2.4.12).

In SUA cimentul cu intarire rapida este notat conventional ciment tip III [24,13,25].

In unele tari se fabrica si cimenturi portland cu intarire extrarapida, care se obtin prin macinarea la o finete de $7000-8000\text{ cm}^2/\text{g}$ a clincherului pentru ciment portland cu rezistenta initiala mare cu un adaos de 1-2% clorura de calciu.

Acest ciment, care face priza in 5-30 minute de la amestecarea cu apa, este indicat pentru lucrarile de beton in conditii de clima rece, in zone cu infiltratii puternice de apa etc.[24]

Notația convențională	Simbolul	Tipul	Prescripția pe baza căreia se produce	Rezistența minimă la compresiune [N/mm ²] la zile:					Metoda pe baza căreia se determină rezistențele
				1	2	3	7	28	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P	PO	I	ASTM C150-78	-	-	12,4	19,3	27,6	ASTM-C109
P	PO	P	BS12	-	-	23	-	41,0	BS-4550
P	PO	CPA35 CPA45 CPA55	NFP 15/301 - -	- - -	- - 10	- - -	10 17,5 -	25-45 ^{*)} 35-55 ^{*)} 45-65 ^{*)}	ISO-CEN
P	PO	PZ35	DIN 1164	-	-	-	18	35-55 ^{*)}	ISO-CEN
P	PR	ASTMIII	ASTM C150	12,4	-	24,1	-	-	ASTM-C109
P	PR	CPA45R	NFP15/301	-	10-11 ^{*)}	-	-	35-55 ^{*)}	ISO-CEN
P	PR	CPA55R	NFP15/301	-	15-20,5 ^{*)}	-	-	45-65 ^{*)}	ISO-CEN
P	PR	PZ55	DIN 1164	-	30	-	-	55,0	ISO-CEN
P	PR	P40	STAS 388/80	-	17	-	-	40,0	ISO-CEN (STAS 227)
P	PR	P45	STAS 388/80	-	20	-	-	45,0	ISO-CEN (STAS 227)
P	PR	P50	STAS 388/80	-	25	-	-	50,0	ISO-CEN (STAS 227)
P	PR	P55	STAS 388/80	-	30	-	-	55,0	ISO-CEN (STAS 227)
P	PO	I32,5	SR388/95	-	-	-	≥ 16	32,5-52,5	SR-196-1/95
P	PO	I42,5	SR388/95	-	≥ 10	-	-	42,5-62,5	SR-196-1/95
P	PO	I52,5	SR388/95	-	≥ 20	-	-	52,5	SR-196-1/95
P	PR	I32,5R	SR388/95	-	≥ 10	-	-	32,5-52,5	SR-196-1/95
P	PR	I42,5R	SR388/95	-	≥ 20	-	-	42,5-62,5	SR-196-1/95
P	PR	I52,5R	SR388/95	-	≥ 30	-	-	>52,5	SR-196-1/95
P	PCHR	ASTMIV	ASTMC150	-	-	-	6,9	17,2	ASTM-C109
P	PCHR	LHP	BS 1370	-	-	10	-	28,0	BS-4550
P	PCHR	H35	STAS 3011	-	-	-	20	35	STAS 227
P	PCHR	HI32,5	SR3011/96	-	-	-	≥ 16	32,5-52,5	SR-196-1/95
P	PCHR	HI42,5	SR3011/96	-	≥ 10	-	-	42,5-62,5	SR-196-1/95
P	RS	ASTMV	ASTM C150	-	-	8,3	15,2	20,7	ASTM-C109
P	RS	SRP	BS 4027	-	-	21	-	41	BS-4550
P	RS	SR	STAS 3011	-	-	-	20	35	ISO-CEN STAS 227
P	RS	SRI32,5	SR3011/96	-	-	-	≥ 16	32,5-52,5	SR-196-1/95
P	RS	SRI42,5	SR3011/96	-	≥ 10	-	-	42,5-62,5	SR-196-1/95

Tabel 2.4.9.
Tipuri de ciment Portland produse in diferite tari

Nr. crt.	Liantul	Denumirea	Rezistența la zile [N/mm ²]			Conținutul și tipul adaosului	Norma pe baza căreia se fabrică	Observații
			2	7	28			
1	Pa35	Ciment cu adaosuri	≥ 10	-	≥ 35	Z=15 Z+C=15	STAS 1500-78	-
2	M30	Idem	-	≥ 15	≥ 30	Z=15-30 C=15	STAS 1500-78	-
3	F25	Idem	-	≥ 10	≥ 25	Z=31-50 C=15	STAS 1500-78	-
4	HZ35	Idem	-	20	Min.35	Z=15±5	STAS 3011-83	-
5	SRA35	Idem	-	20	Min.35	T=15±5	STAS 3011-83	-
6	CPAL325	Idem	-	21	Min.32,5	Z=15±5	P15-310	-
7	CPALC325	Idem	-	21	Min.32,5	Z+C=15±5	P15-310	-
8	CPF325	Idem	-	21	Min.32,5	Z=30±5	P15-310	-
9	CMM325	Idem	-	21	Min.32,5	Z=50±5	P15-310	-
10	CHF325	Idem	-	21	Min.32,5	Z=70±5	P15-310	-
11	CHF250	Idem	-	16	Min.25	Z=70±5	P15-310	-
12	CPAC325	Idem	-	21	Min.32,5	C=15±5	P15-310	Conținut în: SO ₂ =max.3,5% MgO<5%
13	CPAC250	Idem	-	16	Min.25	C=15±5	P15-310	Idem
14	EPZ35	PSL	-	-	35-55	Z=30±5	DIN1164	-
15	HOZ35	BLF	-	-	35-55	Z=36-80	DIN1164	-
16	PBLF	BLF	-	23	34	Z=max.65	BS146	-
17	IS	BLF	-	19,3	24,1	Z=25-65	ASTMC595	SO ₂ =max.3%

Tabel 2.4.10
Cimenturi cu adaosuri fabricate in Romania si in alte tari

z= zgura bazaltica granulata de furnal inalt
c= cenusa volanta de la electrofiltrele centralelor termoelectrice
t= tras

Nr. crt.	Cimenturi produse conform SR 388/95 și SR 3011/96	Echivalența aproximativă a cimenturilor produse conform STAS-urilor 388/80 și 3011/83
1	I32,5R	P40; P45
2	I42,5R	P45; P50
3	I52,5R	P55
4	HI32,5	H35
5	HI42,5	Nu are echivalență în STAS 3011/83
6	SRI32,5	SR35
7	SRI42,5	Nu are echivalență în STAS 3011/83

Tabel 2.4.11

Echivalari aproximative pentru cimenturile portland produse în țară pe baza STAS-urilor 388/80 și 3011/83 și a cimenturilor produse pe baza SR 388/96 și 3011/96

Clasa	Rezistența la compresiune [N/mm ²] la:				Timpul de început de priză [min]	Timpul de sfârșit de priză [ore]
	2 zile	7 zile	28 zile			
			Minim	Maxim		
32,5	-	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 60	≤ 10
32,5R	≥ 10	-	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 60	≤ 10
42,5	≥ 10	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	≤ 10
42,5R	≥ 20	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	≤ 10
52,5	≥ 20	-	≥ 52,5	-	≥ 45	≤ 10
52,5R	≥ 30	-	≥ 52,5	-	≥ 45	≤ 10

Tabel 2.4.12

Compoziția chimică a unor cenuri din România, Spania și Italia

B) Agregatele

Prin agregate pentru betoane sunt definite in mod obisnuit totalitatea materialelor obtinute din roci naturale, direct sau prin operatii de sortare-concasare, sub forma de balast, nisip, petris, piatra concasata, sau prin procedee industriale sub forma de granule, care intra in compozitia betoanelor in proportie de circa 70-80% din masa acestora [51, 14, 17, 18, 21, 26, 27, 28, 29-32].

Denumirea de agregate data granulelor din roci naturale sau celor artificiale utilizate la prepararea betoanelor, desi discutabila, este utilizata in multe tari. Astfel, in Belgia ele poarta denumirea de “agregats” sau “ballast”, in Anglia “aggregate”, in Franta de “granulats” sau “agregats” etc.

Natura si calitatea agregatelor sunt determinate de roca naturala, produsul sau subprodusul din care sunt constituite granulele si anume: granit, bazalt, porfir, quartit, calcar, gresie, piatra ponce, zgura expandata, argila expandata, cenusa aglomerata etc.

Dupa unele lucrari de specialitate mai vechi, “agregatele sunt materiale granulare inerte care aglomerate cu un lichid constituie scheletul betonului”.

In ultimii 20 de ani s-a propus reformularea definitiei mentionate pe baza unui numar considerabil de incercari, analize chimice, microscopice etc. Astfel, B. Mather [1] arata ca “toate agregatele sunt reactive, ele difera numai prin natura reactiilor la care participa, prin intensitatea, viteza si efectul acestor reactii”.

Argila si rocile alterate creeaza zone mecanice slabe in beton si pot sa influenteze negativ intarirea betonului.

Silicea amorfa sau criptocristalina, calcarele magneziene, unele roci silicioase pot sa reactioneze cu alcaliile din ciment, provocand la termene mai scurte sau mai lungi alterarea betonului si deteriorarea unor constructii.

Alte roci, precum calcarele neimpurificate, pot sa asigure o aderenta mai buna in sistemul agregat-liant mineral si sa permita in anumite situatii obtinerea de performante superioare.

Zgurile granulate de furnal inalt, puzzolanele naturale si artificiale si alte materiale utilizate ca agregate fixeaza hidroxidul de calciu pus in libertate prin hidratarea cimentului si formeaza compusi de tipul silicatilor de calciu, ce contribuie la cresterea rezistentei betonului in timp.

Agregatele usoare, prin caracteristicile fizico- mecanice proprii, influenteaza proprietatile fizico- mecanice ale betoanelor (densitate, porozitate, permeabilitate si rezistenta in general mai reduse decat pasta de ciment).

Criteriile de clasificare pentru agregate sunt numeroase, din care mentionam cateva din cele utilizate in mod curent:

a)dupa natura si provenienta se deosebesc:

- agregate minerale sau organice;
- agregate naturale sau artificiale.

b) dupa densitate (conform tabelului 2.4.13):

Clasa	Rezistența la compresiune [N/mm ²] la:				Timpul de început de priză [min]	Timpul de sfârșit de priză [ore]
	2 zile	7 zile	28 zile			
			Minim	Maxim		
32,5	-	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 60	≤ 10
32,5R	≥ 10	-	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 60	≤ 10
42,5	≥ 10	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	≤ 10
42,5R	≥ 20	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	≤ 10
52,5	≥ 20	-	≥ 52,5	-	≥ 45	≤ 10
52,5R	≥ 30	-	≥ 52,5	-	≥ 45	≤ 10

Tabel 2.4.13

Clasificarea aproximativa a agregatelor dupa densitatea in gramada in stare afanata si uscata

a) dupa marimea granulelor, agregatele naturale se clasifica (tabel 2.4.14) in:

- nisip, precum nisip 0-1, 0-2, 0-3, 0-5, 0-7;
- pietris sau piatra sparta 7-71 mm sau 5-63 mm, care cuprinde sorturile 7-16, 16-31, 31-40, 40-71 sau 5-10, 8-16, 10-20, 16-25, 25-40, 0-63 sau 0-71 mm;
- piatra mare sau piatra mare sparta 63-125 mm, 71- 125 sau 71-160 mm

Tipul agregatelor	Intervalul de granulozitate D_{\min} - D_{\max} [mm]
Provenite din sfaramarea naturala a rocilor	
-nisip natural (uzual denumit nisip)	0-1; 0-3; 3-7; 0-5; 0-7
-pietris	7-71; 5-63
-piatra mare	71-125; 63-125
-balast (amestec natural de nisip si pietris si eventual prelucrat)	0-31; 0-40 sau 0-71; 0-65
Provenite din sfaramarea artificiala a rocilor	
-nisip de concasaj	0-2; 0-3; 0-5; 0-8
-piatra sparta	8-71; 5-63
-piatra sparta mare	71-160; 63-125

Tabel 2.4.14.

Clasificarea agregatelor naturale dupa granulozitate

D_{\min} - D_{\max} = diametrul ciurului utilizat la sortare.

b) după forma granulelor deosebit agregate cu forma:

- ovoidala;
- rotunjită;
- poliedrică;
- lamelara;
- aciculară.

În SUA, pornindu-se de la gradul de rotunjire, prin care este exprimată rezistența la abraziune mecanică a rocii din care provin agregatele și gradul de uzură la care acestea au fost supuse în timp, se folosește următoarea clasificare:

- granule bine rotunjite, la care nu se mai pastrează suprafețele inițiale și colțurile;
- granule rotunjite, cu suprafețe inițiale aproape șterse;
- granule subrotunjite, cu grad de uzură mare și suprafețe reduse ca dimensiuni;
- granule subangulare, ușor uzate dar cu suprafețe intacte;
- granule angulare, la care există slabe semne de uzură.

În Anglia, clasificarea agregatelor se face conform tabelului 2.4.15:

Denumirea formei	Caracterizare	Proveniența
<i>Rotunjită</i>	Provenită din albiile râurilor	Pietriș de râu sau de litoral, nisip de litoral, de deșert sau din depuneri eoliene
<i>Neregulată</i>	Formă neregulată naturală sau modelată parțial prin uzură, având colțurile rotunjite	Alte pietrișuri, silice naturală sau prelucrată
<i>Solzoasă</i>	Grosimea este mică în raport cu celelalte dimensiuni	Roci șistoase, gresii
<i>Angulară</i>	Cu muchii clare la intersecția suprafețelor mai mult sau mai puțin plane	Roci sfărâmate de diferite tipuri, grohotiș, zgură măcinată
<i>Alungită</i>	Granule cu lungimea mult mai mare decât grosimea și lățimea	-
<i>Solzoasă și alungită</i>	Granule cu lungimea mult mai mare decât lățimea și lățimea mult mai mare decât grosimea	-

Tabel 2.4.15

Clasificarea agregatelor după forma granulelor (conform BS 812)

c) după granulozitate, agregatele se clasifică în:

- agregate cu granulozitate continuă, în care se găsesc toate sorturile intermediare;
- agregate cu granulozitate discontinuă, în care lipsesc unul sau mai multe sorturi;
- agregate monogranulare, în care granulele au aceeași mărime sau mărimi apropiate, ceea ce le face să rămână între două ciururi cu diametrul ochiurilor în raport aproximativ $\sqrt{2}$, ca de exemplu: 3-5, 5-7, 7-10, 10-15, 15-20, 30-40, 40-50 mm.

Prin granulozitatea unui agregat se înțelege compoziția procentuală (în greutate) a diferitelor sorturi ce alcătuiesc agregatul.

În mod curent, în practică se disting două mari categorii de agregate pentru betoane:

- agregate naturale
- agregate artificiale

Agregatele naturale provin din roci naturale care pot fi utilizate ca atare după spalare și sortare, sau după carcasare, sortare, spalare etc.

În funcție de masa volumetrică aparentă, agregatele pot fi:

- grele, atunci când au o densitate aparentă în gramada în stare afanată și uscată de $\rho_{ap} > 1200 \text{ kg/m}^3$;
- semigrele, când $\rho_{ap} = 901-1200 \text{ kg/m}^3$;
- ușoare, când $\rho_{ap} < 900 \text{ kg/m}^3$

Condițiile tehnice de calitate:

- pentru agregatele grele sunt stabilite în țara noastră prin STAS 1667;
- pentru agregatele naturale ușoare sunt stabilite în STAS 2386

Principalele caracteristici ale agregatelor pentru betoane sunt determinate de următorii factori:

- natura mineralogică sau chimică a rocilor din care sunt constituite;
- forma geometrică a granulelor;
- repartiția dimensională a granulelor

Există o mare varietate și diversitate de agregate naturale în funcție de natura petrografică a rocilor din care provin. Cele mai răspândite sunt:

1. Agregate naturale provenite din roci eruptive: granitul, granodioritul, sienitul, bazaltul, porfirul, dioritul, andezitul, gabroul etc.;
2. Agregate naturale provenite din roci sedimentare, în principiu necimentate, formate fie prin fisurarea, degradarea și sfărâmarea unor roci eruptive,

metamorfice sau sedimentare, sub actiunea diferentelor de temperatura si transportul natural datorita scurgerii apelor fluviale, formand depozite naturale de granule nelegate intre ele denumite grohotisuri;

3. De asemenea, unele agregate pot sa provina din roci sedimentare de cimentare, cristalizare si precipitare din solutii, precum gresiile, calcarele, travertinul, sau din roci sedimentare formate din acumulari de resturi organice, precum calcarele cochilifere, diatanitul etc.

Utilizarea agregatelor la prepararea betoanelor se poate face numai dupa efectuarea unor analize de laborator, prin care se determina principalele caracteristici mineralogice si fizico- chimice ale acestora: compozitia chimica a rocilor si influenta diferitilor compusi asupra cimentului si betonului, absorbtia de apa, gelivitatea, continutul de saruri solubile, comportarea la actiunea diversilor agenti atmosferici, continutul de materii organice, rezistentele mecanice s. a.

Compozitia chimica si mineralogica poate fi in anumite situatii determinanta in stabilirea si alegerea tipului de agregat natural sau artificial, in special prin reactiile chimice ce se pot produce cu principalii compusi ai cimentului.

Astfel, feldspatul prezent in unele roci granitice asociat cu cuarțul sau mica, sau in rocile bazaltice asociat cu saruri feroase, poate conduce la alterarea proprietatilor betoanelor prin transformarea feldspatilor in argila in prezenta apei.

Unele metale si acizii lor pot provoca prin reactii cu compusii cimentului deteriorari importante ale betonului.

De exemplu, piritele (FeS_2) intalnite in unele sisturi se altereaza prin oxidare formand sulfati daunatori pentru ciment.

Agregatele ce contin gips contribuie la deteriorarea betoanelor prin reactiile dintre sulfatii continuti in roca si aluminatii din ciment, cu formarea sulfoaluminatului de calciu expansiv.

Particulele lamelare de mica continute in special in nisip devin casante la contactul prelungit cu apa sau cu temperatura; de altfel, adeziunea între mica si ciment este practic nula.

Unele roci reactioneaza chimic cu alcaliile prezente in ciment, producand gel de silice expansiv care, in prezenta apei, produce deteriorari si fisurari ale betoanelor prin umflare. Cele mai sensibile roci in aceasta privinta sunt unele roci silicioase: andezitul, sisturile, silescul etc.

Unele impuritati de natura organica sau minerala din agregate influenteaza negativ rezistenta betoanelor. De exemplu:

- zaharul chiar si in procente mici, sub $1^0/000$, intarzie considerabil priza;
- oxidul de zinc in procente foarte mici, sub $1^0/000$, intarzie considerabil priza;
- argila fina, particulele de lemn si carbune, resturile vegetale si animale sunt daunatoare betoanelor.

Agregatele naturale grele folosite la prepararea betoanelor si mortarelor comporta operatii si analize pentru determinarea conditiilor de calitate si a caracteristicilor principale, in conformitate cu STAS-urile 1667 si 4606 si cu unele prescriptii straine. Astfel de operatii si analize sunt: prelevarea de probe medii, formarea probelor pentru analize si incercari, a contraprobelor pentru incercari ulterioare, etichetarea, ambalarea si sigilarea acestora, efectuarea analizelor si determinarilor din care mentionam:

- la nisipul natural, care trebuie sa fie aspru la pipait (nisipul de mare se foloseste numai pe baza de prescriptii speciale), calitatea materialului se stabileste pe baza de analiza si incercari, incluzand determinarea aspectului exterior, a continutului de impuritati minerale si organice (corpuri straine, argila in bucati, mica, carbune, humus, sulfati si saruri, saruri solubile), a granulozitatii, densitatii in stare afanata si indesata, a umiditatii, infoierii la diferite procente de umiditate, a compozitiei chimice, a modulului de finete. La lucrarile care se executa in mod curent, limitele maxime admise pentru continutul de impuritati din agregatele naturale grele sunt redate in tabelul 2.4.16., in conformitate cu STAS 1667.

Denumirea impurității	Condițiile de admisibilitate pentru:	
	Nisip natural sau de concasaj	Pietriș sau piatră spartă
Corpuri străine: - resturi animale sau vegetale (bucăți de lemn, frunze, etc.) - păcură, uleiuri	Nu se admit	Nu se admit
Peliclele de argilă sau alt material aderent pe granulele agregatelor care ar putea să le izoleze de liant	Nu se admit	Nu se admit
Mică [%], maximum	1	-
Cărbune [%], maximum	0,5	-
Humus (culoarea soluției de hidroxid de sodiu)	Galbenă	Galbenă
Argilă în bucăți sub 0,5 cm [%], maximum	1,5 ⁿ⁾	0,25
Părți levigabile [%], maximum	3 ⁿ⁾	1
Sulfati sau sulfuri: - granule cu volum mai mare sau egal cu 0,5 cm ³ - granule cu volum mai mic decât 0,5 cm ³ exprimați în SO ₃ [%], maximum	Nu se admit 1	Nu se admit -
Săruri solubile, maximum	1,2 ^{m)}	-

Tabel 2.4.16

Limitele maxime admise pentru continutul de impuritati din agregatele naturale grele

y) Pentru betoane supuse la înghet- dezghet se admite 2% maxim

h) Repartiția acestor impurități trebuie să fie uniformă, să nu depășească 1,5% la nici una din determinări

m) Se determină la cerere, având caracter informativ.

- la pietris calitatea materialului se stabilește pe baza următoarelor caracteristici: aspectul exterior, gradul de alterare, caracteristicile minerale și petrografice preponderente și structura rocii, caracteristicile geometrice, granulozitatea, densitățile și volumul de goluri în stare afanată și indesată, porozitatea și absorbția de apă, rezistența la înghet- dezghet repetat și la uzură, rezistența la strivire sau rezistențele mecanice ale rocii de proveniență, reacția alcalii- agregate etc. (tabelele 2.4.17 și 2.4.18)

D_{max} al agregatului [mm]	Volumul vasului [dm ³]	Dimensiunile vasului [mm]	
		Diametrul interior	Înălțimea interioară
7	1	108	109
31,5	5	185	186
> 31,5	10	234	233

Tabel 2.4.17

Dimensiunile vaselor utilizate pentru determinarea densității în gramada a agregatelor.

D_{max} al agregatului [mm]	Volumul vasului [dm ³]	Tipul vasului	Dimensiunile vasului [mm]		
			Diametrul interior	Latura bazei	Înălțimea interioară
7	10	Cilindru	234	-	234
31,5	20	Cilindru	294	-	294
40	50	Cilindru	400	-	400
>40	100	Ladă	-	465	465

Tabel 2.4.18

Dimensiunile vaselor utilizate pentru determinarea densității în gramada în stare de umiditate naturală

Caracteristicile fizico- mecanice ale agregatelor (conform STAS 1667), sunt prezentate in tabelul 2.4.19.

Caracteristici le	UM	Conditile de admisibilitate
Densitate aparentă minimă	[kg/m ³]	18
Densitate în grămadă în stare afânată și uscată minimă ^s	[kg/m ³]	1200
Porozitate totală maximă pentru piatra spartă	[%]	Maximum 5% pentru betoane armate Maximum 10% pentru mortare și betoane simple
Porozitate aparentă maximă pentru pietriș sau piatră spartă	[%]	2
Volumul de goluri maxim în stare afânată pentru:	[%]	
- nisip		40
- pietriș		45
- piatră spartă		55
Rezistența la strivire:		
- în stare saturată, minimă	[%]	60
- în stare uscată, maximă	[%]	15
Coefficientul de înmuiere minim după saturare	-	0,80
Rezistența la compresiune minimă a rocilor din care provin agregatele naturale prelucrate, determinate pe cuburi sau pe cilindri în stare saturată	[N/mm ²]	90 ^d
Rezistența maximă la îngheț-dezghet	[%]	10

Tabel 2.4.19

Caracteristicile fizico-mecanice ale agregatelor (conform STAS 1667)

^x) Pentru betoane hidrotehnice supuse la îngheț- dezghet $R_{cmin} \geq 2.5 Bc$.
Pentru betoane hidrotehnice ce nu sunt supuse la îngheț-dezghet $R_{cmin} \geq 2.0 Bc$.

Conform STAS 1667, prin sort de agregate se intelege agregatul care, la verificarea granulozitatii, ramane intre doua site sau intre doua ciururi din seriile 0,2; 1; 3; 7; 16; 31; 50; 71; 125 mm.

Sortul se noteaza prin notatiile conventionale corespunzatoare sitei sau ciurului pe care agregatul ramane integral D_{min} si respectiv trece integral D_{max} . exemplu de notare: 0-3; 0-5; 0-7; 7-16 etc.

Granulozitatea agregatelor se reprezinta grafic printr-o curba. Intr-un sistem rectangular de coordonate se noteaza pe axa absciselor diametrul ochiurilor intrebuintate, iar pe axa ordonatelor cantitatea procentuala de material care trece prin ciurul sau prin sita respectiva.

Pentru diferite compozitii de betoane sau utilizari ale agregatelor exista domenii de granulozitate recomandate, cu care curbele obtinute la analizele granulometrice efectuate se compara (fig. 2.4.2 a).

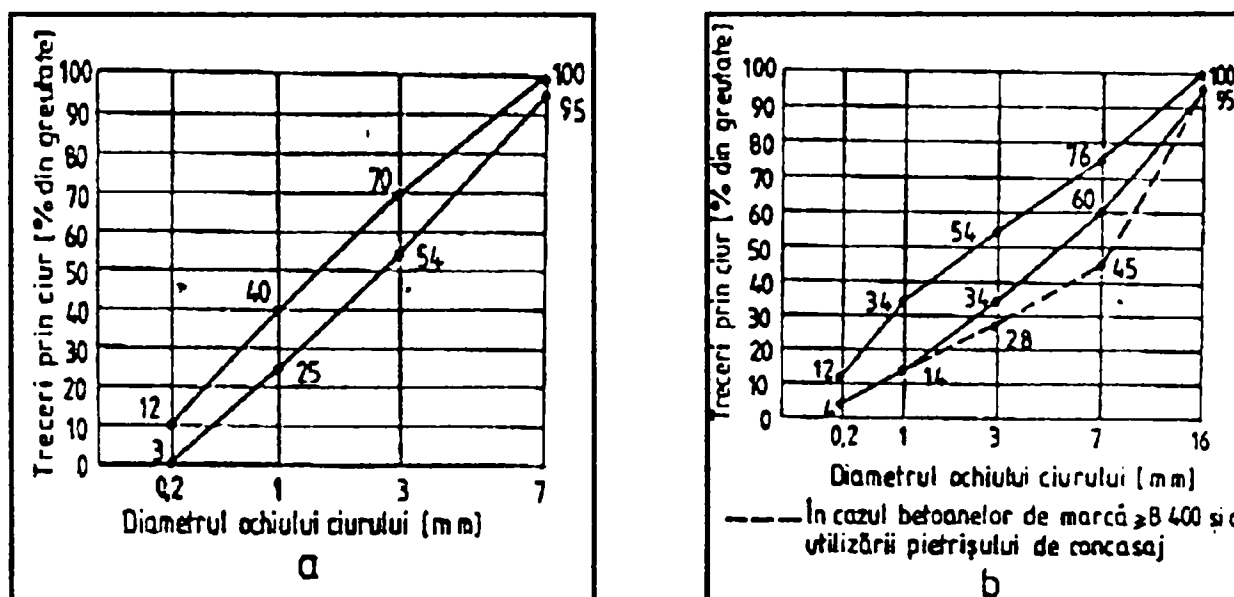


Figura 2.4.2.

Limitele de granulozitate ale agregatului total pentru betoanele de clasa:

- a- Bc10-Bc 50 (marca B156-B600) cu agregate 0-7 mm
- b- Bc10-Bc 50 (marca B150-B600) cu agregate 0-16 mm

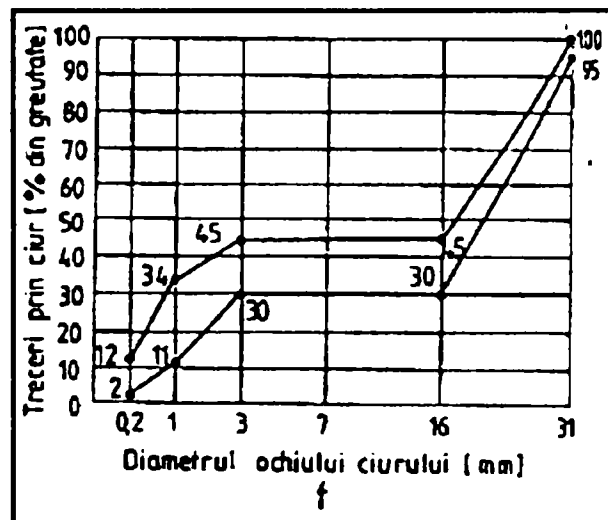
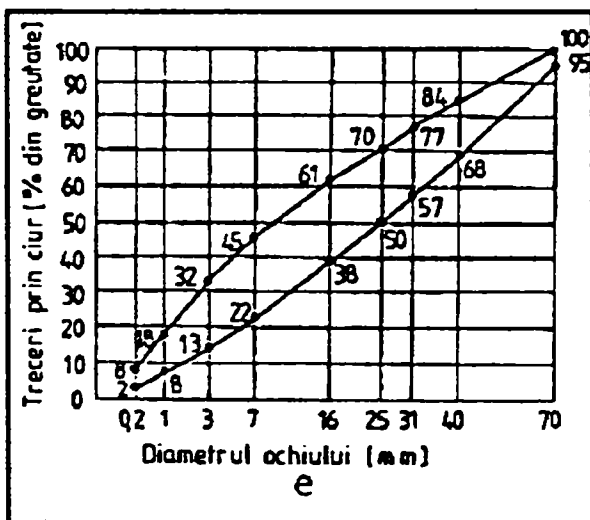
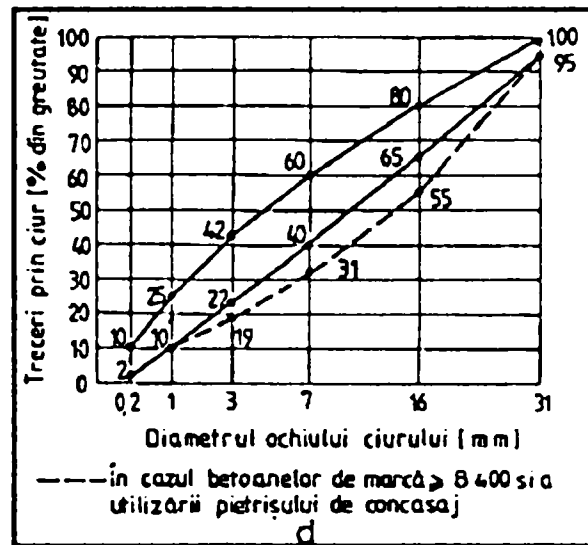
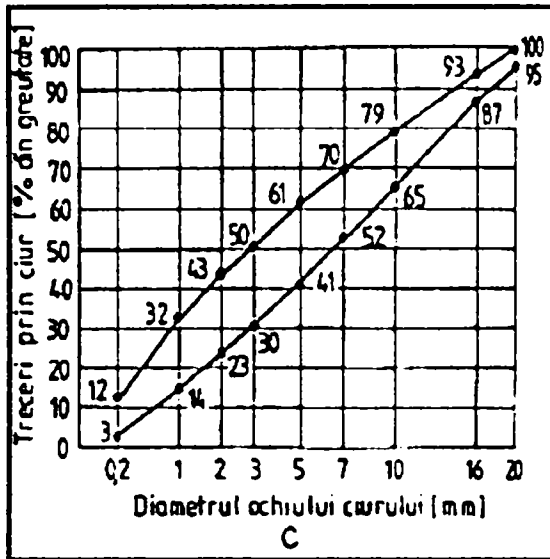


Figura 2.4.2.

- c- Bc10-Bc50 (marca B150-B600) cu agregate 0-20 mm
- d- Bc10-Bc50 (marca B150-B600) cu agregate 0-31 mm
- e- Bc10-Bc50 (marca B150-B600) cu agregate 0-70 mm
- f- Bc10-Bc50 (marca B150-B600) cu granulozitate discontinua.

Un factor important in aprecierea granulozitatii agregatelor, mai ales a partilor fine, este modulul de finete.

Modulul de finete, denumit si modulul Abrams, se determina folosind curba de granulozitate obtinuta prin cernerea agregatului uscat prin sitele 0,10; 0,20; 0,50 mm si prin ciururile 1; 3,15; 5; 7,1; 10; 16 si 31,5.

Interpretarea rezultatelor se face trasand o diagrama avand pe abscisa logaritmi zecimali ai dimensiunilor si diametrele ochiurilor sitelor si ciururilor, iar pe ordonata procente de material (in masa) ce trec prin sitele si ciururile respective (fig. 2.4.3).

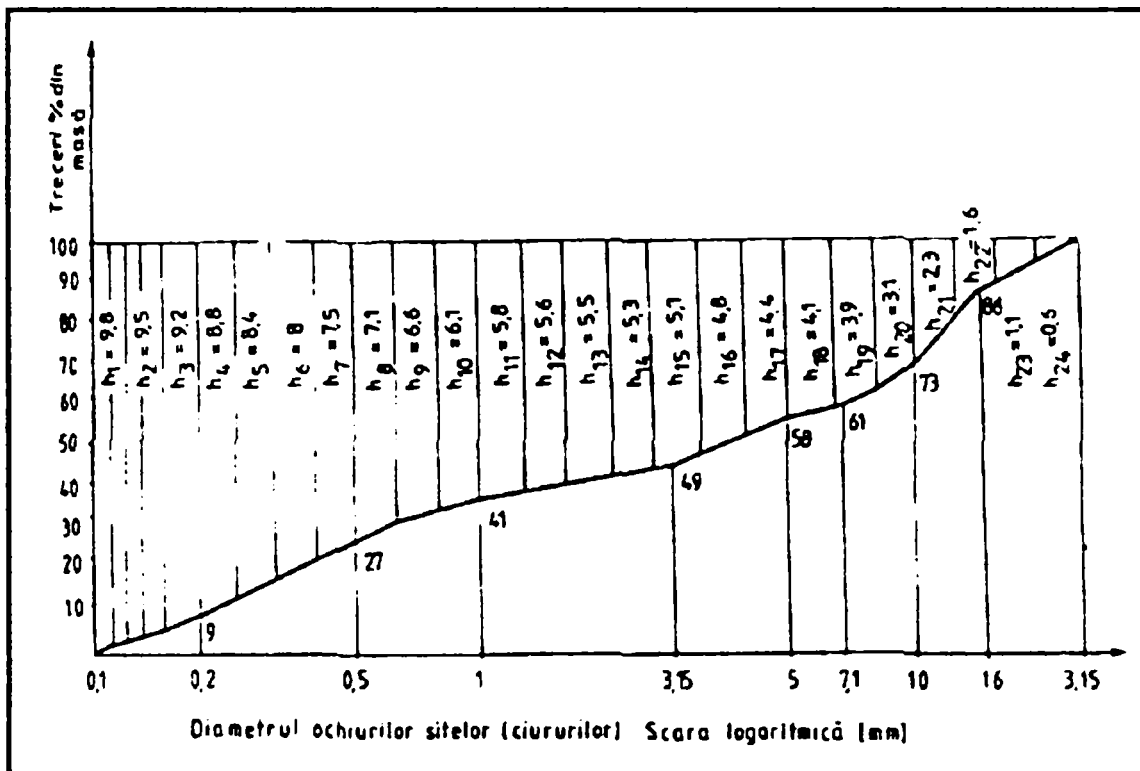


Figura 2.4.3

Exemplu de calcul pentru determinarea modulului de finete al agregatelor.

Relatia dintre modulul de finete m_f si suprafata S delimitata de curbele de granulozitate este:

$$M_f = \frac{S}{100 \log 2} = \frac{S}{30,1} \text{ [cm}^2 \text{ / g]}$$

Calculul modulului de finete se face pe baza suprafetei S delimitata in diagrama de curba de granulozitate trasata, de axa ordonatelor si de paralela la axa absciselor ce trece prin dreptul ordonatei maxime.

Cercetarile efectuate in Franta, asupra influentei pe care finetea nisipului o are asupra betoanelor, au condus la delimitarea unor curbe de granulozitate indicate pentru obtinerea unei lucrabilitati corespunzatoare, a unor rezistente ridicate si a unor riscuri de agregare limitate. In figura 2.4.4 sunt indicate dupa Georges Dreux, "Nouveau guide du beton", valori ale modulului de finete pentru diferite calitati de betoane; autorul recomanda agregatele ce se incadreaza in zona A, care permit sa se obtina o buna lucrabilitate si o rezistenta corespunzatoare cu riscuri limitate de agregare a betoanelor.

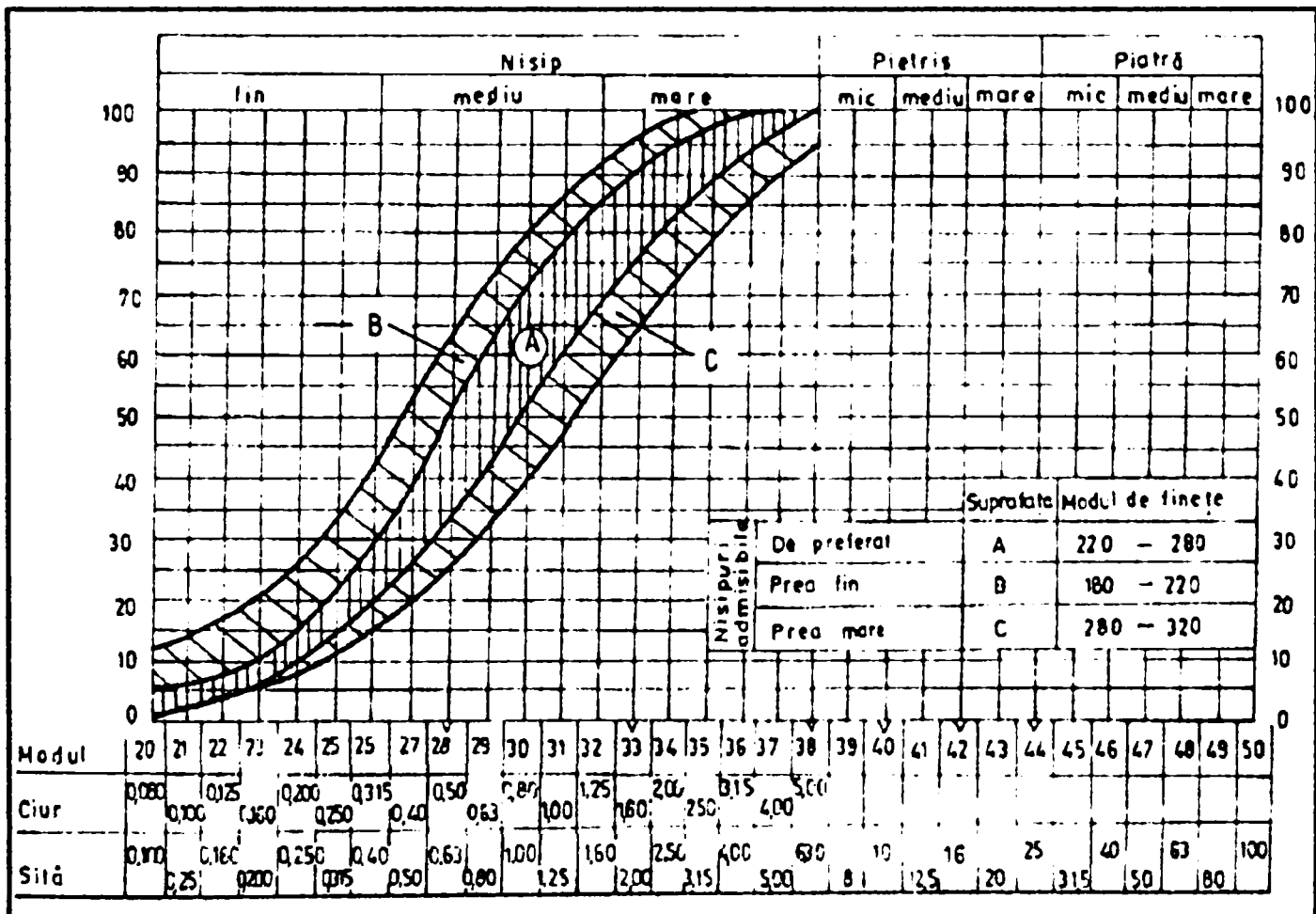


Figura 2.4.4

Modulul de finete al nisipurilor pentru betoane

In general, sorturile de agregate trebuie sa se caracterizeze printr-o granulozitate continua.

In cazul sorturilor avand $D_{max} \geq 3$ si cuprinzand doua sau mai multe sorturi elementare, trecerea prin ciurul intermediar trebuie sa reprezinte:

- 40-70% in cazul agregatelor destinate prepararii betoanelor;
- 50- 85% in cazul agregatelor destinate prepararii mortarelor.

Agregatele influenteaza proprietatile betonului prin: natura, forma granulelor, continutul de impuritatii, starea suprafetelor, rezistenta la compresiune si compozitia granulometrica.

-Din punct de vedere al naturii agregatului, experientele arata ca este mai indicata folosirea agregatelor din granit, bazalt, cuarzit.

Felul Agregatului	Consum materiale, kg/mc					A/C	Rezistenta, dN/cm ²		
	ciment	nisip	pietris 5-10	pietris 1-20	apa		compresiune	intindere	incov.
Cuart	544	435	381	1053	130	0.24	947	31.5	70.1
	550	440			133		982	32.2	71
Granodiorit	568	454	421	1013	143	0.25	933	32.4	67.5
	574	459			148		951	31.5	62.5
Calcar	534	427	439	1056	135	0.256	840	35.7	73.4
	541	433			139		829	30.6	62.5

Tabel 2.4.20

In tabelul 2.4.20 sunt date influentele naturii agregatelor asupra rezistentelor betonului la compresiune, intindere, incovoiere, folosind un dozaj de ciment cuprins intre 534-568 kg/m³ [52].

Forma granulelor mai mari de 7 mm trebuie sa fie cit mai aproape de forma ideala nsferica pentru a influenta in mod pozitiv consistenta si lucrabilitatea betonului .

Nu sunt admise impuritatii in agregat deoarece acesta influenteaza negativ aderenta pietrei de ciment la agregat.

Impuritatiile inadmisibile sunt :partea levigabila ,humusul,carbunele si mica.

Starea suprafetei rugoase contribuie la cresterea aderentei si deci a rezistentei betonului.

Granulozitatea influenteaza foarte mult proprietatile betonului de inalta rezistenta.

Cresterea proportiei de agregat de granulatatie mare duce la marirea rezistentei betonului.

Este necesara realizarea unui amestec de fractiuni de granulatatie mare cu un volum de goluri minim, care duce implicit la scaderea dozajului de nisip si al dozajului de ciment.

Una din greselile ce se comit la obtinerea betoanelor de inalta rezistenta este mentinerea ridicata a dozajului de nisip, fapt care inrautateste lucrabilitate datorita suprafetei specifice ridicate.

Influenta dozajului de nisip asupra rezistentei betonului este evidentiata in figura 2.4.5.

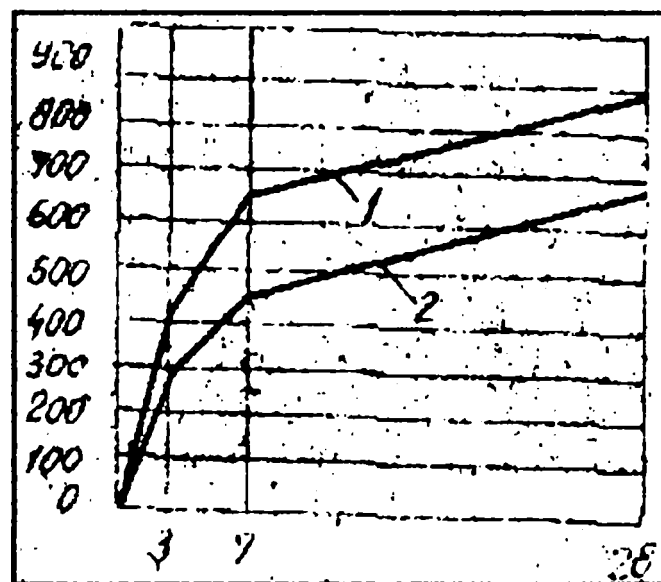


Figura 2.4.5

1- nisip : 331 Kg/m³

2- nisip : 622 Kg/m³

S-a constatat ca agregatele sunt mai solicitate la betoanele cu inalte performante decit la betoanele obisnuite, ceea ce reclama o calitate superioara a lor daca se urmareste obtinerea sau chiar depasirea unei rezistente la compresiune de 120N/mm².

Se apreciaza ca gama betoanelor cu inalte performante se poate realiza cu agregate deriu sau concasat. Rolul nisipului este considerat putin important pentru comportarea mecanica a betonului, iar finetea lui nu reprezinta un parametru primordial, avind in vederea prezenta materialelor granulare ultrafine, in schimb forma granulelor influenteaza lucrabilitatea betonului.

Pentru sorturile mai mari de 7 mm este recomandat sa se foloseasca agregate fie din balastiere fie din concasarea unor roci precum granitul, bazaltul, granudiorit, cuaritul,etc.

Rezistenta la compresiune a agregatelor de concasaj (determinata pe epruvete cubice confectionate din roca de baza dupa saturarea cu apa) trebuie sa fie de cel putin 1.25-1.50 Rb pentru betoanele de clase 60-80 si cel putin 1.50-1.75 Rb pentru betoanele de clase 100-120.

Nisipul de concasaj trebuie evita la prepararea betoanelor de inalt rezistenta, deoarece prin reducerea lucrabilitatii betonului si cresterea necesarului de apa de preparare , contribuie la reducerea rezistentelor initiale si finale ale acestor betoane.

Agregatele de concasaj din roci dure (sorturile de peste 2-3 mm) trebuie sa reprezinte minimum 25-30% din masa amestecului de agregate pentru betoanele de clasele 60-80 si minimum 60-70% pentru betoanele din clasele 100-120.

Pietrisul provenit fie din balastiere fie prin concasarea unor roci de mare duritate, se recomanda a avea dimensiunea de 16(20) mm.Characteristicile fizico-mecanice ale sorturilor de nisip si pietris trebuie sa indeplineasca conditiile prevazute in STAS 1667/76.

C) Materiale granulare ultrafine

Materiale granulare ultrafine (tabelul 2.4.21) au granula de dimensiuni mici 0.01-10 microni, astfel ca pot completa granulometria cimentului caracterizat prin granule de dimensiuni de 5-80 microni, ceea ce conduce la cresterea compactitatii betonului.

Tipul materialului	Efecte	
	Granulometric	Puzzolanic
Filer calcaros	X	-
Filer silicios	X	X
Silice ultrafina	XX	XX

Tabel 2.4.21

In plus unele dintre acestea cum e cazul silicei ultrafine si a filerelor silicioase, reactioneaza in timp cu $Ca(OH)_2$ rezultat la hidratarea cimentului (reactie puzzolanica) ceea ce conduce la o microstructura foarte densa caracterizata de o porozitate mai fina si de hidrati amorfi.

Siliciile ultrafine (SUF) sunt cele mai utilizate materiale granulare ultrafine. Ele sunt subproduse (deseuri) rezultate la obtinerea siliciului și aliajelor sale, recuperate printr-o filtrare electrostatică a gazelor eliberate din cuptoarele furnalelor înalte.

La noi în țară silice ultrafină se găsește la întreprinderea FEROM S.A.-Tulcea.

Silicea ultrafină se prezintă sub formă de pulberi, fiind constituite din granule sferice amorfe, de dimensiuni foarte mici (0.01-10 microni). Sunt caracterizate de o densitate apropiată de 220 kg/m³, o suprafață specifică foarte mare (în jur de 20 m²/g față de 0.3-0.74 cit are cimentul) și o densitate în gramada de 20kg/m³.

Conținutul în SiO₂ reprezintă 85-98% din masa totală, restul fiind reprezentat de alți oxizi metalici, eventual de câteva alcalii.

Silicea ultrafină utilizată în laboratorul de materiale de construcții al Facultății de Construcții-Timisoara, livrată de FEROM S.A.-Tulcea a avut compoziția dată în tabelul 2.4.22.

SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	MnO %
91.07	1.83	4.63	0.50	0.50	1.04

Tabel 2.4.22

Silicea ultrafină produsă de firma SEPR [54] are caracteristicile prezentate în tabelul 2.4.23.

pH	Compoziția chimică, %				Granulometria		Suprafața specifică, m ² /g	Densitatea în gramada în stare afanată Kg/m ³
	SiO ₂	Impurități			d < 1 μm	d _{med}		
		Al ₂ O ₃	Zr ₂ O	Fe ₂ O ₃				
3,5	95	3,50	2,40	0,15	75 %	0,5 μm	12	300

Tabel 2.4.23

Exista tari in care silicea ultrafina se livreaza sub forma densificata sau eventual sub forma unei barbotine (suspensie in apa).

Aceasta reduce la minimum riscul inhalarii produsului si al imbolnavirii de silicoza.

Experienta cumulata in domeniul stabilirii componentei betoanelor cu inalte si foarte inalte performante a condus la o serie de conditii pe care trebuie sa le indeplineasca materialele componente, conditii redade in tabelul 2.4.24.

Materialul	Betoane cu inalte Performante, Rc 60-80 28 zile N/mm ²	Betoane cu foarte inalte Performante, Rc 80 28 zile N/mm ²
Pietris	Majoritatea pietrisurilor de calitate	Pietrisul de mare duritate, forma sferica D _{max} =14 mm Ex. Calcare dure dolomitice, quartite
Nisip	Curat. Modul de finete mai mare sau egal cu 2.5	Foarte curat, cu putina parte fina. Modul de finete mai mare de 2.5, apropiat de 3.
Ciment	Clasa superioara. Finete de macinare de 4000 Cm ² /g. Dozaj :350-450 Kg/m ³	Clasa superioara. Finete de macinare in jur de 4000 cm ² /g Dozaj :400-500(700) kg/mm ² Continut scazut in C3A
Materiale Granulare Ultrafine	Nu sunt obligatorii	Da. Silice ultrafina. Procentul optim in jur de 10% fata de masa cimentului
Raport A/C	≈0.30-0.40	A/(C+SUF)<0.25
superplastifiant	Da. Dozajul se stabileste prin Incercari preliminare.	Da. Dozajul se stabileste prin incercari preliminare

Tabelul 2.4.24

D) Aditivi superplastifianti

Aditivii sunt substante sau produse tehnice, care introduse in portii mici (sub5%) in compozitia suspensiilor mortarelor si betoanelor de ciment, produc o modificare datorita proprietatilor amestecurilor, ca urmare a unei actiuni fizico-chimice. Aditivi se introduc in momentul prepararii amestecurilor sau uneori pot fi incorporati in ciment.

Inca din cele mai vechi timpuri oamenii au utilizat grasimile si singele de porc in betonul de var cu puzzolane pentru marirea durabilitatii acestuia. Odata cu aparitia betonului de ciment (1875-1880) s-au utilizat aditivi cu scopul de a regla priza de intarire, adaugandu-se in acest scop ghipsul ca regulator de priza si mai apoi clorura de calciu pentru accelerarea intaririi (1885). In scopul imbunatatirii impermeabilitatii si a durabilitatii betonului utilizat in mediu umed, s-au utilizat aditivi care maresc gradul de impermeabilitate al betonului, studiindu-se actiunea uleiurilor de in, a sapunurilor, a pulberilor minerale (argila, kieselgur).

Primele cercetari in domeniul obtinerii unor aditivi moderni pentru betoane-superplastifiantii-au inceput in anii 1958-1960 in Japonia, realizandu-se in 1964 primul aditiv superplastifiant pentru betoane, denumit MIGHTY. Tot din 1964 se folosesc superplastifianti in Germania, iar dupa aceasta data si in special dupa 1970 ei cunosc o extindere tot mai mare si in alte tari : Anglia, Franta, SUA, Canada, Italia, Australia, etc.

La noi in tara, primele cercetari in domeniul productiei de superplastifianti si utilizarii superplastifiantilor au inceput in anii 1972-1973 la ICPMC-Bucuresti, iar in colaborare cu CCICH-Laboratorul Victoria au fost selectati pentru omologare aditivii VIMC 11 si VIMC 22 (la sfirsitul anului 1980).

Pe baza rezultatelor programelor de cercetare coordonate de INCERC Bucuresti, s-a elaborat in 1982 caietul de sarcini cu instructiunile privind utilizarea superplastifiantului FLUBET la betoanele de ciment.

La Facultatea de Constructii Timisoara, cercetarile in domeniul betoanelor cu aditivi superplastifianti au fost initiate in anul 1979 de Prof. Em. Ing. Constantin Avram, iar in 1986 a fost brevetat aditivul superplastifiant SP4 [53].

Aditivii moderni pentru betoane, cunoscuti sub denumirea generica de superplastifianti, reprezinta noi tipuri de aditivi pentru betoane produsi de industria chimica de sinteza, care utilizati in proportie de cca. 0.1-1% substanta activa (uscata) din cantitatea de ciment, permit in principal :

-imbunatatirea sensibila a lucrabilitatii betonului proaspat la raportul A/C egal cu al betonului marfa;

-reducerea raportului A/C la lucrabilitate egala cu a betonului martor.

Superplastifiantii se utilizeaza de regula, sub forma de solutii de diferite concentratii (ex.:20;30;40;50% substanta activa superplastifiant) sau in stare solida (praf).

Se clasifica dupa substantele chimice din care sunt produsi si dupa efectele de utilizare conform tabelelor urmatoare:

-dupa substantele chimice din care sunt produsi (tabelul 2.4.25);

Grupa	CLASIFICARE
I	Produse de condensare pe baza de melamina-formaldehida sulfonata (tip NFS)
II	Produse de condensare pe baza de naftalina-formaldehida sulfonata (tip NFS)
III	Produse pe baza de lingosulfonat de calciu modificat (tip LSCM)
IV	Produse pe baza de esterii ai acidului sulfonic, alti esterii carbohidratati, pe baza de acizi aminici si zaharati etc.

Tabel 2.4.25

- dupa efectele manifestate la utilizare (tabel 2.4.26).

Clasa	CLASIFICARE
1	Reducatori sau superreducatori de apa si fluidizanti
2	Micsti, cu efect de reducatori sau superreducatori de apa si efect de antrenor de aer
3	Antrenor de aer
4	Acceleratori de priza si intarire fara cloruri
5	Intirzietori de priza si intarire
6	Impermeabilizatori in masa si la suprafata betonului

Tabel 2.4.26

Ei actioneaza in sistemul ciment- apa- agregate prin urmatoarele mecanisme :

- micșorarea tensiunilor superficiale ale apei;
- orientarea particulelor de ciment incit le sporeste gradul de dispersie;
- producerea unui film lubrifiant la suprafata particulelor, rezultand o marire a lunecarilor.

In figura 2.4.6 sunt prezentate formulele chimice pentru fiecare din cele 4 grupe de superplastifianti.

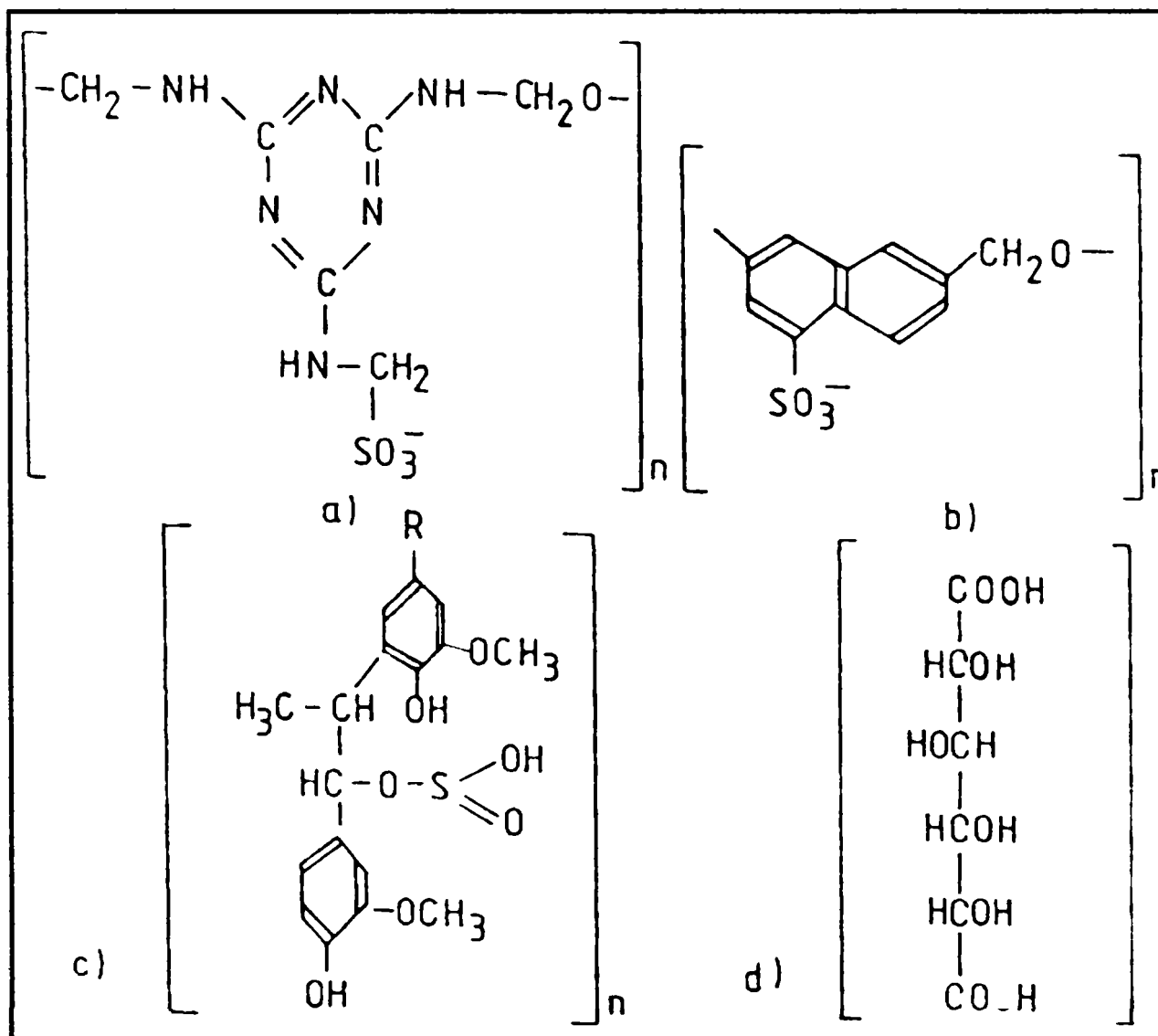


Figura 2.4.6

Formule chimice pentru diferite grupe de aditivi superplastifianti
a- tip MFS; b- tip NFS; c- tip LSCM; d- tip DIVERSI.

Cele 4 tipuri de superplastifianți au acțiuni diferite, după cum urmează : mecanismul de acțiune al aditivilor din primele 2 grupe (tip MFS și tip MPS) care dețin ponderea principală de utilizare în producție se explică prin procedee fizico-chimice de adsorbție a lor pe suprafața granulelor de ciment și parțial a produselor de hidratare, creând filme (pelicule) de lubrifiere în jurul particulelor individuale.

Superplastifianții din grupa a doua (tip MFS) acționează și prin micșorarea tensiunii superficiale (a) sporind în același timp și gradul de dispersie a particulelor de ciment (b).

Aditivii din grupa a treia (tip LSCM) acționează prin micșorarea tensiunii superficiale a apei (a) iar cei din grupa a patra (diversi) prin micșorarea tensiunii superficiale (a) și prin sporirea gradului de dispersie a particulelor de ciment (b).

Exemple de superplastifianți utilizați în tehnologia betoanelor sunt prezentate în tabelul 2.4.27.

Nr.crt	Denumirea Comercială	Tipul sup.(grupa) Dozaj utilizat (% subst.utilizată din cantitatea de ciment)	Tara
1	Acosal Fluid	LSCM /0.35-0.40	Anglia
2	Conplast M1	MFS/0.31-0.36	Anglia
3	Cormix SP1	NFS/0.55-0.63	Anglia
4	Croda 3R	NFS/0.45-0.46	Anglia
5	Flubet	NFS/1.5-2.5	Romania
6	Lomar D	NFS/1.5	SUA
7	Mighty 150	NFS/0.25-1*	Japonia;Germania, SUA, Anglia, Canada
8	Melment 110	MFS/0.75-3.60*	Germania, Canada Anglia, Australia
9	Mulcoplast CF	LSCM/1.0-3.0*	SUA, Canada
10	Puzzolit NL4000	MFS/2.0-4.0*	Japonia
11	Polfine 510 N	NFS/1.0-3.0*	Japonia
12	Porzite MR 1	MFS/1.50*	Canada
13	Rheomac 716	NFS/0.40	Italia
14	Supaflo	NFS/0.52-0.63	Anglia
15	SP 4	DIVERSI/0.1-0.5*MFS/2.0-2.50*	Romania
16	Vimc 11	MFS/2.0-2.50*	Romania
17	Vimc 22	NFS/1.3-1.50*	Romania

Tabel 2.4.27

*- % soluție din cantitatea de ciment

Principalele caracteristici tehnice ale aditivilor superplastifianti din tara noastra sunt prezentate in tabelele 2.4.28, 2.4.29 si 2.4.30.

Nr. crt.	Proprietati	VIMC 22	VIMC 11
1	Aspect	Solutie apoasa, transparenta Usor laptoasa	Solutie apoasa Brun –roscata
2	Densitatea la 20° C (g/cm ³)	1.11+0.02	1.11+0.02
3	Continut substanta Activa (%)	20±1	40 ± 2
4	Viscozitate la 20° C (CP)	2-3	5 –20
5	PH	6.5-8.85	4.5-5.5
6	Cloruri	Lipsa	Lipsa

Tabel 2.4.28

Caracteristicile tehnice ale aditivilor superplastifianti VIMC 11 si VIMC 22

Nr. crt.	Proprietati	FLUBET
1	Aspect	Solutie limpede , de culoare Brun – roscata
2	Densitatea la 20° C (g/cm ³)	1.15 –1.16
3	Continut substanta Activa (%)	30 ± 3
4	Viscozitate dinamica la 20° C (CP)	6 – 20
5	PH , SOLUTIE 1 %	7 – 8
6	Continut in sulfat de sodiu (Na ₂ SO ₄ , %)	Max. 3.5

Tabel 2.4.29

Caracteristicile tehnice ale aditivului superplastifiant FLUBET

Nr. crt.	Proprietati	SP 4
1	Aspect	Lichid viscos
2	Culoare	Galben-brun-roscat
3	Continut substanta Activa (% min)	50
4	Densitatea la 20° C (g/cm ³)	1.10 ± 0.10
5	Viscozitate la 20° C (CP)	2 – 5
6	PH , SOLUTIE 2 %	7.0- 8.5

Tabelul 2.4.30
Caracteristicile tehnice ale aditivului superplastifiant SP 4.

Dintre superplastifiantii care au patruns recent pe piata romaneasca mentionam:

- Daracem 205, produs al firmei Grace Construction Products;
- Mapefluid R 104, produs de firma Mapei- Italia;
- Superplastifiantii fabricati de Heidelberger Zement- Germania;

Daracem® 205 este un superplastifiant lichid pentru betoane, conceput pentru a conferi betonului performante inalte, atat in stare proaspata cat si in stare intarita. Functia sa principala este de a conferi betoanelor lucrabilitati foarte ridicate pentru lucrari de betonare de mari dimensiuni sau dificile. In plus, Daracem 205 poate fi utilizat ca puternic reductor de apa, pentru obtinerea unor rezistente mari initiale si ulterioare.

Daracem 205 este un puternic agent de defloculare si actioneaza prin dispersarea cimentului in particulele sale de baza, marind semnificativ fluiditatea pastei de ciment. Principalele sale domenii de aplicare sunt:

- beton de inalta calitate pentru structuri durabile;
- elemente prefabricate, armate si precomprimate;
- dale pentru tablier de pod;
- structuri prefabricate sau turnate la fata locului.

Avantaje:

- rezistente la compresiune foarte ridicate, in special in primele zile;
- raport apa/ciment redus, durabilitate excelenta;

- o buna finisare a suprafetei, confera betonului un aspect estetic de buna calitate;
- betoanele in stare proaspata, plastice, au o buna coeziune si fluiditate;
- economie de energie la utilizarea procedeelor de precomprimare.

Proprietati specifice

Aspect: lichid brun inchis

Greutate specifica: cca. 1.20 la 20⁰C

Continut de cloruri: nul

Durata depozitarii: 12 luni de la data fabricarii.

Compatibilitatea cu cimenturile

Daracem 205 este compatibil cu toate cimenturile Portland, puzzolanice si cu zgura de furnal. Este compatibil, de asemenea, cu cimenturile ce contin cenusa si praf de silice.

Compatibilitatea cu alti aditivi

Daracem 205 este compatibil cu toti aditivii produsi de Grace Construction Products si poate fi folosit mai ales cu agentii antrenori de aer. Se recomanda dozarea separata a aditivilor la amestecul cimentos.

Mod de utilizare

Daracem 205 este livrat gata de a fi utilizat si poate fi adaugat betonului atat in timpul ciclului de malaxare, in acelasi timp cu apa, sau poate fi adaugat in forma sa de livrare la un beton deja preparat cu cateva minute inainte de turnarea in opera a betonului. In acest ultim caz trebuie asigurat un ciclu de malaxare de cel putin 2 minute pentru asigurarea dispersiei complete a aditivului in masa betonului.

Dozaj

Intre 0.8%...3.0% din masa cimentului (800 g-3000 g la 100 kg ciment).

Dozajul optim este stabilit prin incercari preliminare, in functie de materialele componente utilizate si de cerintele specificate. O depasire a dozajului recomandata de Daracem 205 va produce in cele mai multe cazuri o crestere a lucrabilitatii si a timpului de mentinere a acesteia, cu o usoara crestere a continutului de aer antrenat, perceptibila. Pot aparea intarzieri de priza ale betonului, functie de tipul de ciment utilizat si de raportul apa/ciment. In cazul unor depasiri de dozaj, intentionate sau accidentale, trebuie luat in considerare efectul asupra intervalului de timp pana la decofrarea elementului betonat, in cazul utilizarii cofrajelor. Totusi, in aceste

cazuri, betonul obtinut va avea rezistente finale mai mari decat in cazul respectarii dozajului recomandat.

Norme internationale

EN 934 partea a 2-a

UNI EN 934-2

BS 5075 partea a 3-a

ASTM C 494 tip A si F

A.T.-010-04/038-2000

In elaborarea diferitelor retete de betoane cu superfluidizantul Mapefluid R104, un rol import il are granulozitatea agregatelor, redată in tabelele 2.4.31 si 2.4.32:

Sursa	Denumire sort, agregate	Treceri prin site si ciururi, %					
		0,2	1	3	7	16	31
Sangeorgiu de Mures	Nisip 0-3	11,55	57,74	100,00	100,00	100,00	100,00
Sangeorgiu de Mures	Nisip 3-7	0,52	3,60	9,93	99,72	100,00	100,00
Sangeorgiu de Mures	Pietris 7-16	0,06	0,16	0,22	7,91	97,72	100,00
Sangeorgiu de Mures	Pietris 16-31	0,00	0,00	0,00	0,03	3,46	99,31

Tabel 2.4.31
Granulozitatea agregatelor

Sursa	Denumire sort, agregate	Dozaj [%]	Treceri prin site si ciururi, %					
			0,2	1	3	7	16	31
Sangeorgiu de Mures	Nisip 0-3	36%	4,16	20,79	36,00	36,00	36,00	36,00
Sangeorgiu de Mures	Nisip 3-7	18%	0,09	0,65	1,79	17,95	18,00	18,00
Sangeorgiu de Mures	Pietris 7-16	17%	0,01	0,03	0,04	1,34	16,61	17,00
Sangeorgiu de Mures	Pietris 16-31	29%	0,00	0,00	0,00	0,01	1,00	28,80
Total		100%	4,26	21,46	37,82	55,30	71,62	99,80
Limite NE 012-99 (Zona II)			2	21	31	51	71	95
			7	30	40	60	80	100

Tabel 2.4.32
Reteta de amestec a agregatelor

In continuare sunt prezentate retete cu aditiv Mapefluid R104 pentru diferite clase de beton si rezistentele la compresiune obtinute.

Beton clasa C12/15

Clasa beton	Ciment		Omogenitate statie	Aditiv Dozaj	Φ_{max}	Zona granulozitate	Lucrabilitate (mm)	A/c	Apa (l)	Apa + aditiv	Agregate uscate (kg)	Densitate beton
	Tip	Dozaj										
C 12/15	II AM 32.5	256	I	1% 2.56	31	II	55	0.76	192.44	195	1871	2351

Cantitati la un metru cub beton:

Sort	%	Kg	Rezistenta la compresiune pentru incercari preliminare f(c) preliminara (N/mm)		Rezistenta corectata f cor.
			cub	cub	
0-3	36	684	7 zile	28 zile	28 zile
3-7	18	342	11.82	19.6	24.41
7-16	17	323			
16-31	29	551			
Total	100	1900			
	Ciment	256	$f^{cor} = (1,15 \times 32,5 / 30,0) \times 19,6 = 24,41 \text{ N/mm}^2$ $\text{Ag corectate} = (2340 + 2362) / 2 - 256 - 195 = 1900$		
	Aditiv (l)	2.56			
	Apa	192.44			
	Ad + Apa	195			
	Total	2351			

Rezistenta la compresiune

	Data incercarii	Caracteristici	U.M.	Proba			Conditii de admisibilitate conform NE 012-99
				1	2	3	
R_c 7 zile	22.05.2000	Forta de rupere	KN	23.25	24.0	23.6	
		Aria nominala	mm ²	20000	20000	20000	
		Rezistenta la compresiune	N/mm ²	11.63	12.0	11.82	
		Media	N/mm ²	11.82			15.27
		Masa probei	Kg	6.61	6.62	6.15	
		Densitate	Kg/m ³	2358	2362	2360	
		Media	Kg/m ³	2360			
R_c 28 zile	12.06.2000	Forta de rupere	KN	365.0	411.04	400.0	
		Aria nominala	mm ²	20000	20000	20000	
		Rezistenta la compresiune	N/mm ²	18.25	20.55	20.0	
		Media	N/mm ²	19.6			23.5
		Masa probei	Kg	6.34	6.34	6.34	
		Densitate	Kg/m ³	2262	2262	2262	
		Media	Kg/m ³	2262			

Observatii: rezistenta corectata: 24.41 N/mm²

Beton clasa C12/15

Clasa beton	Ciment		Omogenitate statie	Aditiv Dozaj	Φ_{max}	Zona granulozitate	Lucrabilitate (mm)	A/c	Apa (l)	Apa + aditiv	Agregate uscate (kg)	Densitate beton
	Tip	Dozaj										
C 12/15	II AM 32.5	276	1	1% 2.76	31	II	65	0.7	192.44	195	1871	2342

Cantitati la un metru cub beton:

Sort	%	Kg	Rezistenta la compresiune pentru incercari preliminare f(c) preliminara (N/mm)		Rezistenta corectata f cor.
0-3	36	674	cub	cub	cub
3-7	18	336	7 zile	28 zile	28 zile
7-16	17	318	12.5	20.78	25.88
16-31	29	543			
Total	100	1871			
	Ciment	276			
	Aditiv (l)	2.76			
	Apa	192.24			
	Ad + Apa	195			
	Total	2342			

$f^{cor} = (1,15 \times 32,5 / 30,0) \times 20,78 = 25,88 \text{ N/mm}^2$

Rezistenta la compresiune:

	Data incercarii	Caracteristici	U.M.	Proba			Conditii de admisibilitate conform NE 012-99
				1	2	3	
R_c 7 zile	23.06.2000	Fora de rupere	KN	25.0	25.0	25.0	
		Aria nominala	mm ²	20000	20000	20000	
		Rezistenta la compresiune	N/mm ²	12.5	12.5	12.5	
		Media	N/mm ²	12.5			15.27
		Masa probei	Kg	6.71	6.71	6.71	
		Densitate	Kg/m ³	2393	2393	2393	
		Media	Kg/m ³	2393			
R_c 28 zile	14.07.2000	Fora de rupere	KN	436.0	395.0	415.6	
		Aria nominala	mm ²	20000	20000	20000	
		Rezistenta la compresiune	N/mm ²	21.8	19.75	20.78	
		Media	N/mm ²	20.78			23.5
		Masa probei	Kg	6.62	6.62	6.62	
		Densitate	Kg/m ³	2361	2361	2361	
		Media	Kg/m ³	2361			

Observatii: rezistenta corectata: 25.88 N/mm²

Beton clasa C16/20

Clasa beton	Ciment		Omogenitate	Aitiv	Φ_{max}	Zona granulozitate	Lucrabilitate (mm)	A/c	Apa (l)	Apa + aditiv	Agregate uscate (kg)	Densitate beton
	Tip	Dozaj		Dozaj								
C 16/20	II AM 32.5	286	I	1% 2.86	31	II	65	0.68	192.14	195	1862	2343

Cantitati la un metru cub beton:

Sort	%	Kg	Rezistenta la compresiune pentru incercari preliminare f(c) preliminara (N/mm)		Rezistenta corectata f cor.
0-3	36	670	cub	cub	cub
3-7	18	335	7 zile	28 zile	28 zile
7-16	17	317	14.23	29.35	29.17
16-31	29	540			
Total	100	1862			
	Ciment	286			
	Aditiv (l)	2.86			
	Apa	192.14			
	Ad + Apa	195			
	Total	2343			

$f^{cor} = (1,15 \times 32,5 / 37,6) \times 29,35 = 29,17 \text{ N/mm}^2$

Rezistenta la compresiune:

	Data incercarii	Caracteristici	U.M.	Proba			Conditii de admisibilitate conform NE 012-99
				1	2	3	
R_c 7 zile	23.06.2000	Forta de rupere	KN	280.0	280.4	290.0	
		Aria nominala	mm ²	20000	20000	20000	
		Rezistenta la compresiune	N/mm ²	14.0	14.2	14.5	
		Media	N/mm ²	14.23			18.85
		Masa probei	Kg	6.74	6.74	6.74	
		Densitate	Kg/m ³	2404	2404	2404	
		Media	Kg/m ³	2404			
R_c 28 zile	14.07.2000	Forta de rupere	KN	587.0	587.0	587.0	
		Aria nominala	mm ²	20000	20000	20000	
		Rezistenta la compresiune	N/mm ²	29.35	29.35	29.35	
		Media	N/mm ²	29.35			29.0
		Masa probei	Kg	6.7	6.7	6.7	
		Densitate	Kg/m ³	2390	2390	2390	
		Media	Kg/m ³	2390			

Observatii: rezistenta corectata: 37.67 N/mm²

Beton clasa C20/25

Clasa beton	Ciment		Omogenitate statie	Aditiv	Φ_{max}	Zona granulozitate	Lucrabilitate (mm)	A/c	Apa (l)	Apa + aditiv	Agregate uscate (kg)	Densitate beton
	Tip	Dozaj		Dozaj								
C 20/25	II AM 32.5	309	1	1% 3.09	31	II	70	0.63	191.91	195	1873	2377

Cantitati la un metru cub beton:

Sort	%	Kg	Rezistenta la compresiune pentru incercari preliminare f(c) preliminara (N/mm)		Rezistenta corectata f cor.
0-3	36	674	cub	cub	cub
3-7	18	337	7 zile	28 zile	28 zile
7-16	17	319	22.7	37.90	37.67
16-31	29	543			
Total	100	1873			
	Ciment	309			
	Aditiv (l)	3.09			
	Apa	191.91			
	Ad + Apa	195			
	Total	2377			

$f^{por} = (1,15 \times 32,5 / 37,6) \times 37,90 = 37,67 \text{ N/mm}^2$

Rezistenta la compresiune:

	Data incercarii	Caracteristici	U.M.	Proba			Conditii de admisibilitate conform NE 012-99
				1	2	3	
R_c 7 zile	22.05.2000	Forta de rupere	KN	467.0	527.5	512.4	
		Aria nominala	mm ²	20000	20000	20000	
		Rezistenta la compresiune	N/mm ²	23.35	22.05	22.7	
		Media	N/mm ²	22.7			23.4
		Masa probei	Kg	6.7	6.7	6.71	
		Densitate	Kg/m ³	2391	2391	2394	
		Media	Kg/m ³	2392			
R_c 28 zile	12.06.2000	Forta de rupere	KN	760.0	756.0	758.0	
		Aria nominala	mm ²	20000	20000	20000	
		Rezistenta la compresiune	N/mm ²	38.0	37.8	37.9	
		Media	N/mm ²	37.9			36.0
		Masa probei	Kg	6.67	6.67	6.61	
		Densitate	Kg/m ³	2379	2379	2358	
		Media	Kg/m ³	2372			

Observatii: rezistenta corectata: 37.67 N/mm²

Beton clasa C25/30

Clasa beton	Ciment		Omogenitate statie	Aditiv Dozaj	Φ_{max}	Zona granulozitate	Lucrabilitate (mm)	A/c	Apa (l)	Apa + aditiv	Agregate uscate (kg)	Densitate beton
	Tip	Dozaj										
C 20/25	II AM 32.5	320	1	1% 3.2	31	II	60	0.60	191.80	195	1873	2388

Cantitati la un metru cub beton:

Sort	%	Kg	Rezistenta la compresiune pentru incercari preliminare $f(c)$ preliminara (N/mm)		Rezistenta corectata f_{cor}
0-3	36	674	cub	cub	cub
3-7	18	337	7 zile	28 zile	28 zile
7-16	17	319	25.62	42.49	42.24
16-31	29	543			
Total	100	1873			
	Ciment	320			
	Aditiv (l)	3.2			
	Apa	191.80			
	Ad + Apa	195			
	Total	2388			

$f^{cor} = (1,15 \times 32,5 / 37,6) \times 42,49 = 42,24 \text{ N/mm}^2$

Rezistenta la compresiune:

	Data incercarii	Caracteristici	U.M.	Proba			Conditii de admisibilitate conform NE 012-99
				1	2	3	
R_c 7 zile	23.05.2000	Forta de rupere	KN	497.0	527.5	512.4	
		Aria nominala	mm ²	20000	20000	20000	
		Rezistenta la compresiune	N/mm ²	24.84	26.37	25.62	
		Media	N/mm ²	25.62			27.3
		Masa probei	Kg	6.85	6.85	6.85	
		Densitate	Kg/m ³	2444	2444	2444	
		Media	Kg/m ³	2444			
R_c 28 zile	13.06.2000	Forta de rupere	KN	862.5	837.5	849.8	
		Aria nominala	mm ²	20000	20000	20000	
		Rezistenta la compresiune	N/mm ²	43.12	41.87	42.49	
		Media	N/mm ²	42.49			42.0
		Masa probei	Kg	6.605	6.59	6.59	
		Densitate	Kg/m ³	2356	2351	2351	
		Media	Kg/m ³	2352			

Observatii: rezistenta corectata: 42.24 N/mm²

Caracteristica	Metoda de verificare conform	U.M.	Valori obtinute				
			Beton martor	Beton cu aditiv			
				2%	2%	1.5%	1.5%
Reteta: - ciment IIAS 32,5R - apa - aditiv FM93 - agregat: - sort 0-3 - sort 3-7 - sort 7-20 - raport a/c	NE 012-99	Kg/m ³ l/m ³ l/m ³ kg/m ³ kg/m ³ kg/m ³ -	450 215 -	350 130 7	450 170 6.75	350 135 5.25	450 180 4.5
Consistenta betonului -metoda tasarii	STAS 1759-88	cm	15	15	15	15	15
Densitate beton proaspat	STAS 1759-88	Kg/m ³	2420	2420	2405	2410	2390
Rezistenta la compresiune: - la 24 ore - la 7 zile - la 28 zile	STAS 1275-88	N/mm ²	18.1 29.2 45.8	7.4 35.0 52.6	10.3 42.4 55.1	6.5 33.2 50.6	8.5 39.4 53.8
Impermeabilitatea la apa: - grad de impermeabilitate - adancimea de patrundere a apei	STAS 3519-76	cm	P ₈ ¹⁰ 2.0	P ₈ ¹⁰ 1.4	P ₈ ¹⁰ 1.2	P ₈ ¹⁰ 1.8	P ₈ ¹⁰ 1.5

Tabel 2.4.35

Dintre superplastifiantii produși de firma Heidelberg amintim BV3, BV 3M, BV 1, BV 8, FM 6, FM 93.

ADDIMENT Betonverflüssiger BV 3

Fluidizant pentru betoane cu lucrabilitate L_3 și beton impermeabil

Domenii de aplicare

Fluidizantul pentru betoane BV 3 poate fi folosit universal pentru obținerea de betoane cu lucrabilitate L_3 și betoane impermeabile în stații de betoane.

Fluidizantul pentru betoane BV 3 se folosește la:

- obținerea lucrabilității L_3
- beton impermeabil
- beton cu față văzută
- beton pompabil

Caracteristici/ Efect

Cu fluidizantul pentru betoane BV 3 se obțin:

- forțe de frecare mai mici între ciment și agregat
- reducere a cantității de apă
- dispersarea uniformă a cimentului

La beton și mortare se obțin:

- lucrabilitate mai bună cu același raport apă/ciment
- reducerea raportului apă/ciment cu păstrarea lucrabilității
- beton mai omogen, fără efecte de segregare
- creșterea rezistenței
- durabilitate mai bună
- densitate mai mare
- deformare mai redusă
- suprafețe mai bune la beton cu față văzută

Agrementare

Agrementarea nr. Z-3.21-1134, DIBt- Berlin

Agrementat pentru betoane rezistente la încovoiere

Corespunde cerințelor ZTV-K 96

Corespunde întru totul cerințelor "normelor de conținut alcalin", partea 1

Agrementat și în Polonia, Ungaria, Republica Cehă și Slovacia

Date tehnice

- Culoarea si forma: lichid maro
- Element de baza: sulfonat de lignina
- Densitatea (20⁰C): 1,13±0,03 g/cm³
- Continut de cloride: <0,1%
- Cant. max. admisa: 5 ml/Kg ciment (cca. 0,55 % din greutatea cimentului)

Instructiuni de utilizare

La adaugarea aditivului in statia de betoane este recomandata adaugarea aditivului BV 3 odata cu apa sau la sfarsitul malaxarii. In cazul adaugarii la amestecul uscat se obtine un efect de fluidizare mai redus. Timpul de malaxare depinde de malaxor si trebuie calculat adecvat. La adaugarea de cantitati mai mari si temperaturi joase poate aparea la unele tipuri de ciment o usoara intarziere, insa apoi betonul se intareste fara probleme. In aceste cazuri betonul trebuie tratat ulterior cu deosebita atentie. Inainte de utilizare este necesara o determinare conform DIN 1045.

Asigurarea calitatii

- Fluidizantul pentru betoane BV 3 este supus unui riguros control intern al calitatii
- Controlul calitatii are loc si prin FMPA Bauwesen, Institutul Otto-Graf, Stuttgart
- Sistem de management al calitatii conform DIN EN ISO 9001.

ADDIMENT Betonverflüssiger BV 3 M

Fluidizant pentru beton cu consistenta normala si beton impermeabil

Domenii de aplicare

Fluidizantul pentru beton BV 3 M are aplicabilitate universala si se utilizeaza la obtinerea de beton cu consistenta normala si betoane impermeabile in statiile de betoane.

Fluidizantul pentru betoane BV 3 M se preteaza mai ales la:

- consistenta normala cu solidificare redusa
- beton impermeabil
- beton cu fata vazuta
- beton pompabil

Proprietati/ Efecte

Cu fluidizantul pentru betoane BV 3 M se obtin:

- dispersarea uniforma a cimentului si peliculizarea cimentului
- forte de frecare mai mici intre ciment si agregat
- un necesar de apa mai mic

La beton si mortare se obtin:

- imbunatatirea lucrabilitatii la acelasi raport apa/ciment
- reducerea raportului apa/ciment cu pastrarea lucrabilitatii
- beton mai omogen, fara efecte de segregare
- rezistente mai mari
- schelet al betonului mai compact
- fenomene de contractii mai mici
- suprafete de beton mai bune la beton cu fata vazuta
- durabilitate mai mare

Verificari ale proprietatilor/ Agrementari

Agrementarea nr. Z-3.21-1596, DIBt- Berlin

Agrementat pentru beton precomprimat

Agrementat pentru beton cu rezistente superioare

Corespunde cerintelor ZTV-K 96

Corespunde intrutotul cerintelor " normelor de continut alcalin", partea 1

Date tehnice

- | | |
|-----------------------------------|---|
| - Culoarea si forma: | lichid maro |
| - Element de baza: | ligninsulfonat |
| - Densitatea (20 ⁰ C): | 1,14±0,03 g/cm ³ |
| - Continut de cloride: | 0,1% |
| - Cant. max. admisa: | 8,4 ml/Kg ciment (cca. 0,95 % din greutatea cimentului) |

Instructiuni de utilizare

La adaugarea aditivului in statia de betoane este recomandata adaugarea aditivului BV 3 M odata cu apa sau la sfarsitul malaxarii. In cazul adaugarii la amestecul uscat se obtine un efect de fluidizare mai redus. Timpul de malaxare depinde de malaxor si trebuie calculat adecvat. La adaugarea de cantitati mai mari si temperaturi joase poate aparea la unele tipuri de ciment o usoara intarziere, insa apoi betonul se intareste fara probleme. In aceste cazuri betonul trebuie tratat ulterior cu deosebita atentie. Inainte de utilizare este necesara o determinare conform DIN 1045.

Asigurarea calitatii

- Fluidizantul pentru betoane BV 3 M este supus unui riguros control intern al calitatii
- Supraveghere externa prin comunitatea germana a calitatii Deutsche Bauchemie, Frankfurt
- Sistem de management al calitatii conform DIN EN ISO 9001.

ADDIMENT Betonverflüssiger BV 1

Fluidizant pentru betoane cu aplicabilitate universală

Domenii de aplicare

Fluidizantul Addiment BV 1 are aplicabilitate universală și se utilizează pentru producerea de betoane cu consistență moale și pentru producerea de betoane cu calități ale betonului întărit în întreprinderile de transport beton. Se pretează mai ales la:

- consistență normală cu rigidizare redusă
- beton impermeabil
- beton pompabil
- beton aparent
- beton rutier

Proprietati/ Efecte

Fluidizantul BV 1 Addiment are următoarele efecte:

- o mai bună dispersare și peliculizare a cimentului
- forțe de frecare mai mici între ciment și agregate
- un necesar de apă mai redus

La beton și mortare se obțin:

- îmbunătățirea lucrabilității la același raport apă/ciment
- reducerea raportului apă/ciment cu păstrarea lucrabilității
- beton mai omogen, tendința mai redusă de segregare
- rezistențe mai mari
- un schelet mineral al betonului mai dens
- reducerea deformării plastice și contractii din uscarea mai redusă ale betonului
- suprafețe ale betonului aparent mai bune
- o durabilitate mai mare

Verificari ale proprietatilor/ Acorduri

Acordul nr. Z-3.21-1201, DIBt- Berlin

Acordat pentru beton precomprimat

Corespunde cerintelor ZTV-K 96

Proba de eficacitate cu antrenorul LPS A-94 Addiment

Ireproabil in sensul liniei directe Alkali, partea 1

Indeplineste cerintele recomandarilor KTV

Corespunde cerintelor fisei de munca W 270 a DVGW

Acordat si in Austria, Olanda, Franta, Cehia

Date tehnice

- Culoarea si forma: lichid maro
- Element de baza: sulfonat de lignina
- Densitatea (20⁰C): 1,17±0,03 g/cm³
- Continut de cloride: ≤ 0,1%
- Cant. max. admisa: 3,5 ml/Kg ciment (cca. 0,4 % din greutatea

cimentului)

Instructiuni de utilizare

Fluidizantul Addiment BV 1 ori se amesteca imediat cu apa si se introduce in amestecul de beton sau se amesteca la sfarsitul malaxarii.

In cazul adaugarii in amestecul uscat apare o fluidizare mai redusa. Timpul de malaxare depinde de malaxor si trebuie calculat adecvat.

La adaugarea de cantitati mai mari si la temperaturi mai joase poate aparea la unele tipuri de ciment o usoara intarziere. In aceste cazuri betonul trebuie tratat ulterior cu grija.

Inainte de utilizare este necesara o verificare a proprietatilor conform DIN 1045.

Asigurarea calitatii

- Fluidizantul Addiment BV 1 este supus unui riguros control intern al calitatii
- Supraveghere externa prin ministerul constructiilor FMFA, Institutul Otto-Graff, Stuttgart
- Sistem de management al calitatii conform DIN EN ISO 9001.

ADDIMENT Betonverflüssiger BV 8

Fluidizant pentru betoane cu aplicabilitate universală

Domenii de aplicare

Fluidizantul Addiment BV 8 se aplică la betoanele vartoase care este transformat în beton marfa cu utilajele cu grad de compactare ridicat. Se pretează mai ales la:

- Pavele de beton
- Borduri
- Dale de trotuar
- Articole de construcții de grădina
- Tevi

Proprietati/ Efecte

Fluidizantul BV 8 Addiment are următoarele efecte:

- o mai bună dispersare și peliculizare a cimentului, a substanțelor aditive și a pigmentilor de culoare
- forțe de frecare mai mici între ciment și agregate

Fluidizantul pentru betoane BV 8 Addiment are ca rezultat în betonul proaspăt:

- îmbunătățirea prelucrabilității și a compactității
- omogenitate îmbunătățită
- reducerea forțelor de aderență între beton și forma/poanson

Aceste efecte fac posibilă o economică producție de betoane performante, cu proprietățile:

- o mai mare stabilitate în mediu umed
- oscilări calitative mai mici
- suprafețe cu porii mai închiși
- un schelet mineral al betonului mai compact
- o mare rezistență la compresiune
- o rezistență sporită la îngheț și la substanțele de dezghețare
- o durabilitate mai îndelungată

Agrementari

Agrementarea nr. 3.21-1279, DIBt- Berlin

Agrementat în Cehia și în Slovacia

Date tehnice

- Culoarea si forma: lichid portocaliu
- Element de baza: tensid
- Densitatea (20⁰C): 1,01±0,01 g/cm³
- Continut de cloride: ≤ 0,1%
- Cant. max. admisa: 3,0 ml/Kg ciment (cca. 0,3 % din greutatea cimentului)

Instructiuni de utilizare

Fluidizantul Addiment BV 8 ori se amesteca imediat cu apa si se introduce in amestecul de beton sau se amesteca la sfarsitul malaxarii. Timpul de malaxare depinde de malaxor si trebuie sa fie masurat in mod suficient. Inainte de utilizare este necesara o verificare a proprietatilor.

Asigurarea calitatii

- Fluidizantul Addiment BV 8 este supus la fabricare unui strict control de productie in fabrica proprie
- Supraveghere externa prin ministerul constructiilor, Institutul Otto- Graff, Stuttgart
- Sistem de management al calitatii conform DIN EN ISO 9001.

ADDIMENT Fließmittel FM 6 Superfluidizant cu uz general

Domenii de aplicare

Addiment Fließmittel FM 6 se foloseste ca fluidizant cu uz general si fluidizant pentru betoane (Addiment Fließmittel FM 6 Superfluidizant pentru betoane FM 6), fara a avea efect de intarziator de priza, pentru realizarea unui beton de calitate superioara in statii de betoane si santiere.

Aditivul FM 6 se foloseste la:

- beton cu intarire rapida
- beton impermeabil
- beton rezistent la inghet/dezghet
- beton cu fata vazuta
- beton fluid
- beton cu parte fina marita

Caracteristici/ Efect

Cu aditivul FM 6 se obtin:

- forte de frecare mai mici intre ciment si agregat
- reducere a cantitatii de apa
- dispersarea uniforma a cimentului

La beton si mortare se obtin:

- lucrabilitate mai buna cu acelasi raport apa/ciment
- reducerea raportului apa/ciment cu pastrarea lucrabilitatii
- beton mai omogen, fara efecte de segregare
- cresterea rezistentei
- durabilitate mai buna
- deformare mai redusa
- suprafete mai bune la beton cu fata vazuta

Agreementare

Agreementarea nr. Z-3.28-1277 (FM); Z-3.21-1262 (BV), DIBt- Berlin

Agreementat pentru betoane rezistente la incovoiere

Corespunde cerintelor ZTV-K 96

Corespunde cerintelor " normelor de continut alcalin", partea 1, paragraful

4.3.2 (echivalent $\text{Na}_2\text{O} < 8,5 \text{ M, } -\%$)

Determinarea efectului cu Addiment Luftporenbildner LPS A-94, LP S-87, LP 1-87 (aditiv antrenor de aer LPS A-94, LP S-87, LP 1-87)

Corespunde cerintelor KTW

Corespunde cerintelor normelor de munca W 270 al DVGW

Agreementat si in Austria, Croatia, Polonia, Ungaria, si Slovacia

Date tehnice

- Culoarea si forma: lichid maro
- Element de baza: sulfonat de melamina/naftalina
- Densitatea (20°C): $1,15 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$
- Continut de cloride: $< 0,1\%$
- Cant. max. admisa: 20 ml/Kg ciment (cca. 2,3 % din greutatea

cimentului)

Instructiuni de utilizare

La adaugarea aditivului in statia de betoane este recomandata adaugarea aditivului FM 6 odata cu apa sau la sfarsitul malaxarii. Timpul de malaxare depinde de malaxor si trebuie calculat adecvat. La adaugarea ulterioara in autobetoniera trebuie asigurata o distribuire uniforma a fluidizantului in beton. Recomandam

adaugarea fluidizantului in beton si un timp de malaxare de 1 min/m^3 , in sa minimum 5 min. Deoarece efectul de fluidizare nu se mentine timp indelungat, este recomandata prelucrarea cat mai rapida a betonului. Inainte de utilizare este necesara o determinare conform DIN 1045, respectiv DafStb pentru beton fluid.

Asigurarea calitatii

- Fluidizantul FM 6 este supus unui riguros control intern al calitatii
- Controlul calitatii are loc si prin FMPA Bauwesen, Institutul Otto-Graf, Stuttgart
- Sistem de management al calitatii conform DIN ISO 9001.

ADDIMENT Fließmittel FM 93

Fluidizant cu efect puternic pentru intarire rapida si tratament termic

Domenii de aplicare

Addiment Fließmittel FM 93 se foloseste ca fluidizant cu efect puternic si fluidizant pentru betoane (Addiment Fließmittel FM 93 Superfluidizant pentru betoane FM 93), pentru realizarea unui beton de calitate superioara in fabrici de prefabricate si santiere.

Aditivul FM 93 se foloseste indeosebi la:

- beton cu intarire rapida
- beton impermeabil (tratata termic)
- beton rezistent la inghet/dezghet
- beton cu fata vazuta
- beton fluid
- beton de mare performanta
- beton cu parte fina marita

Caracteristici/ Efect

Cu aditivul FM 93 se obtin:

- o usoara intarziere a prizei la o intarire normala
- forte de frecare mai mici intre ciment si agregat
- reducere a cantitatii de apa
- dispersarea si peliculizarea uniforma a cimentului

La beton si mortare se obtin:

- lucrabilitate mai buna cu acelasi raport apa/ciment
- reducerea raportului apa/ciment cu pastrarea lucrabilitatii
- omogenizare mai buna

- cresterea rezistentei la tratament termic
- durabilitate mai buna
- deformare mai redusa
- suprafete mai bune la beton cu fata vazuta

Agrementare

Agrementarea nr. Z-3.28-1362 (FM); Z-3.21-1408 (BV), DIBt- Berlin

Agrementat pentru betoane rezistente la incovoiere

Cantitate suplimentara admisa pentru beton intarit incepand cu B 65

Correspunde cerintelor ZTV-K 96

Correspunde cerintelor " normelor de continut alcalin", partea 1, paragraful 4.3.2 (echivalent $\text{Na}_2\text{O} < 8,5 \text{ M, } -\%$)

Determinarea efectului cu Addiment Luftporenbildner LPS A-94, LP S-87

Agrementat si in Belgia, Austria, Olanda, Franta, Cehia, Ungaria si Slovacia

Date tehnice

- Culoarea si forma: lichid maro
- Element de baza: sulfonat de melamina/naftalina
- Densitatea (20°C): $1,14 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$
- Continut de cloride: $\leq 0,1\%$
- Cant. max. admisa: 20 ml/Kg ciment (cca. 2,3 % din greutatea cimentului pentru clase de intarire pana la B 55), 40 ml/Kg ciment (cca. 4,6 % din greutatea cimentului pentru clase de intarire incepand cu B 65)

Instructiuni de utilizare

La adaugarea aditivului in statia de betoane este recomandata adaugarea aditivului FM 93 odata cu apa sau la sfarsitul malaxarii. Timpul de malaxare depinde de malaxor si trebuie calculat adecvat. La adaugarea si dozarea ulterioara in autobetoniera trebuie asigurata o distribuire uniforma a fluidizantului in beton. Recomandam adaugarea fluidizantului in beton si un timp de malaxare de 1 min/m^3 , insa minimum 5 min. Deoarece efectul de fluidizare nu se mentine timp indelungat, este recomandata prelucrarea cat mai rapida a betonului. Inainte de utilizare este necesara o determinare conform DIN 1045, respectiv DafStb pentru beton fluid.

Asigurarea calitatii

- Fluidizantul FM 93 este supus unui riguros control intern al calitatii
- Controlul calitatii are loc si prin FMPA Bauwesen, Institutul Otto-Graf, Stuttgart
- Sistem de management al calitatii conform DIN ISO 9001.

Exemple de retete cu superplastifianti ai firmei Heidelberg sunt prezentate mai jos.

RETETA NR. 1

Tip beton	Marca Clasa	Ciment		Aditiv		\emptyset_{max}	Zona gran.	A/C	ρ_b kg/m ³	Tasare (mm)	Conditii suplimentare
		Tip	dozaj	tip	dozaj						
GREU STAS 3622/86	C12/15	II AM	333	BV3	0,55 %	16	II	0,65	2307	T ₃ /T ₄	
		32,5R									

Sortul	Umiditatea	0.2	1	3	5	7.1	10	16	20	31	40
0 - 3		14,3	66,4	97,6	-	100	-	100	-	100	
3 - 7		0,80	5,48	21,5	-	96,22	-	100	-	100	
7 - 16		-	-	-	-	3,32	-	90,72	-	100	
16 - 31											

Procentaj											
36% din sort 1	5,15	23,9	35,14	-	36	-	36	-	36	-	36
24% din sort 2	0,19	1,21	5,16	-	23,09	-	24	-	24	-	24
40% din sort 3	-	-	-	-	1,33	-	36,29	-	40	-	40
TOTAL	5,34	25,1	40,3	-	60,42	-	96,29	-	100	-	100

CANTITATI LA 1 m³ BETON

APA=A=217 kg	Sol.aditiv(plastifiant)	Agregate uscate(total in kg)
A=C*a/c=219 l	Ad=C.Pad/100=1,6 l [1,8 Kg]	Ag= $\rho_b \cdot (C+CT+A+Ad)$ = 1755 Kg

CANTITATI LA 1 m³ BETON

CANTITATI / O SARJA DE 1 m³

Sortul	Uscate		Umiditate ag.		Ag.umedede	Ag.umedede	Tolerante (±) kg
	%	(kg)	%	(kg)	(kg)	(kg)	
1: (0-3)	36	632	5,3	33	665		
2: (3-7)	24	421	3,5	15	436		
3: (7-16)	40	702	2	14	716		
Total	Σ	1755	Σ	62	1817		
Ciment							
A-(Aog+Ad)							
Ad (aditiv)							
TOTAL							

RETETA NR.2

Tip beton	Marca Clasa	Ciment		Aditiv		\emptyset_{max}	Zona gran.	A/C	ρ_b kg/m ³	Tasare (mm)	Conditii suplimentare
		Tip	dozaj	tip	dozaj						
GREU STAS 3622/86	C16/20	II AM	365	BV3	0,55 %	16	II	0,55	2342	T ₃ /T ₄ 12	
		32,5									

Sortul	Umiditatea	0.2	1	3	5	7.1	10	16	20	31	40
0 - 3		14,3	66,4	97,6	-	100	-	100	-	100	
3 - 7		0,80	5,48	21,5	-	96,22	-	100	-	100	
7 - 16		-	-	-	-	3,32	-	90,72	-	100	
16 - 31											

Procentaj											
36% din sort 1		5,15	23,9	35,14	-	36	-	36	-	36	
24% din sort 2		0,19	1,21	5,16	-	23,09	-	24	-	24	
40% din sort 3		-	-	-	-	1,33	-	36,29	-	40	
TOTAL		5,34	25,1	40,3	-	60,42	-	96,29	-	100	

CANTITATI LA 1 m³ BETON

APA=A=201 kg	Sol.aditiv(plastifiant)	Agregate uscate(total in kg)
A=C*a/c=203 l	Ad=C.Pad/100=1,8 l [2 Kg]	Ag= $\rho_b \cdot (C+CT+A+Ad)$ = 1775 Kg

CANTITATI LA 1 m³ BETON

CANTITATI / O SARJA DE 1 m³

Sortul	Uscate		Umiditate ag.		Ag.umedede	Ag.umedede	Tolerante (±) kg
	%	(kg)	%	(kg)	(kg)	(kg)	
1: (0-3)	36	639	5,3	34	673		
2: (3-7)	24	426	3,5	15	441		
3: (7-16)	40	710	2	14	724		
Total	Σ	1775	Σ	63	1838		
Ciment							
A-(Aog+Ad)							
Ad (aditiv)							
TOTAL							

RETETA NR.3

Tip beton	Marca Clasa	Ciment		Aditiv		\emptyset_{max}	Zona gran.	A/C	ρ_b kg/m ³	Tasare (mm)	Conditii suplimentare
		Tip	dozaj	tip	dozaj						
	C25/30	II AM 32,5R	470	BV3	0,55 %	16	III	0,45	2335	T ₃ /T ₄ 12,5	

Sortul	Umiditatea	0.2	1	3	5	7.1	10	16	20	31	40
0 - 3		14,3	66,4	97,6	-	100	-	100	-	100	
3 - 7		0,80	5,48	21,5	-	96,2	-	100	-	100	
7 - 16		-	-	-	-	3,32	-	90,72	-	100	
16 -31											

Procentaj											
36% din sort 1		4,29	19,92	29,3	-	30	-	30	-	30	
24% din sort 2		0,2	1,37	5,37	-	24,06	-	25	-	25	
40% din sort 3		-	-	-	-	1,49	-	40,82	-	45	
TOTAL		4,49	21,29	34,67	-	55,55	-	95,82	-	100	

CANTITATI LA 1 m³ BETON

APA=A=212 kg	Sol.aditiv(plastifiant)	Agregate uscate(total in kg)
A=C*a/c=214 l	Ad=C.Pad/100=2,3 l [2,6 Kg]	Ag= pb-(C+CT+A+Ad)= 1651 Kg

CANTITATI LA 1 m³ BETON

CANTITATI / O SARJA DE 1 m³

Sortul	Uscate		Umiditate ag.		Ag.umedede	Ag.umedede	Tolerante (±) kg
	%	(kg)	%	(kg)	(kg)	(kg)	
1: (0-3)	30	595	5,3	32	657		
2: (3-7)	25	396	3,5	14	410		
3: (7-16)	45	660	2	13	673		
Total	Σ	1651	Σ	59	1710		
Ciment							
A-(Aog+Ad)							
Ad (aditiv)							
TOTAL							

RETETA NR.4

Tip beton	Marca Clasa	Ciment		Aditiv		\varnothing_{max}	Zona gran.	A/C	ρ_b kg/m ³	Tasare (mm)	Conditii suplimentare
		Tip	dozaj	tip	dozaj						
	C25/30	II AM 32,5R	415	BV3	0,55 %	16	III	0,45	2338	T ₃ /T ₄ 125	

Sortul	Umiditatea	0.2	1	3	5	7.1	10	16	20	31	40
0 - 3		14,3	66,4	97,6	-	100	-	100	-	100	
3 - 7		0,80	5,48	21,5	-	96,22	-	100	-	100	
7 - 16		-	-	-	-	3,32	-	90,72	-	100	
16 -31											

Procentaj											
36% din sort 1		4,29	19,92	29,3	-	30	-	30	-	30	
24% din sort 2		0,2	1,37	5,37	-	24,06	-	25	-	25	
40% din sort 3		-	-	-	-	1,49	-	40,82	-	45	
TOTAL		4,49	21,29	34,67	-	55,55	-	95,82	-	100	

CANTITATI LA 1 m³ BETON

APA=A=207 kg	Sol.aditiv(plastifiant)	Agregate uscate(total in kg)
A=C*a/c=209 l	Ad=C.Pad/100=2 l [2,3 Kg]	Ag= $\rho_b \cdot (C+CT+A+Ad)$ = 1714 Kg

CANTITATI LA 1 m³ BETON

CANTITATI / O SARJA DE 1 m³

Sortul	Uscate		Umiditate ag.		Ag.umedede	Ag.umedede	Tolerante (±) kg
	%	(kg)	%	(kg)	(kg)	(kg)	
1: (0-3)	30	617	5,3	33	650		
2: (3-7)	25	411	3,5	14	425		
3: (7-16)	45	686	2	14	700		
Total	Σ	1714	Σ	61	1775		
Ciment							
A-(Aog+Ad)							
Ad (aditiv)							
TOTAL							

RETETA NR.5

Tip beton	Marca Clasa	Ciment		Aditiv		\emptyset_{max}	Zona gran.	A/C	ρ_b kg/m ³	Tasare (mm)	Conditii suplimentare
		Tip	dozaj	tip	dozaj						
	C18/22,5	II AM 32,5R	395	BV3	0,55 %	16	II	0,53	2329	T ₃ /T ₄ 13	

Sortul	Umiditatea	0.2	1	3	5	7.1	10	16	20	31	40
0-3		14,3	66,4	97,6	-	100	-	100	-	100	
3-7		0,80	5,48	21,5	-	96,22	-	100	-	100	
7-16		-	-	-	-	3,32	-	90,72	-	100	
16-31											

Procentaj											
36% din sort 1	5,15	23,9	35,14	-	36	-	36	-	36	-	36
24% din sort 2	0,19	1,21	5,16	-	23,09	-	24	-	24	-	24
40% din sort 3	-	-	-	-	1,33	-	36,29	-	40	-	40
TOTAL	5,34	25,1	40,3	-	60,42	-	96,25	-	100	-	100

CANTITATI LA 1 m³ BETON

APA=A=208 kg	Sol.aditiv(plastifiant)	Agregate uscate(total in kg)
A=C*a/c=210 l	Ad=C.Pad/100=1,95 l [2,15 Kg]	Ag= $\rho_b \cdot (C+CT+A+Ad)$ = 1724 Kg

CANTITATI LA 1 m³ BETON

CANTITATI / O SARJA DE 1 m³

Sortul	Uscate		Umiditate ag.		Ag.umed	Ag.umed	Tolerante (±) kg
	%	(kg)	%	(kg)	(kg)	(kg)	
1: (0-3)	36	620	5,3	33	653		
2: (3-7)	24	414	3,5	15	429		
3: (7-16)	45	690	2	14	704		
Total	Σ	1724	Σ	62	1786		
Ciment							
A-(Aog+Ad)							
Ad (aditiv)							
TOTAL							

RETETA NR.6

Tip beton	Marca Clasa	Ciment		Aditiv		\emptyset_{max}	Zona gran.	A/C	ρ_b kg/m ³	Tasare (mm)	Conditii suplimentare
		Tip	dozaj	tip	dozaj						
	C12/15	II AM 32,5R	290	BV3	0,55 %	31	I	0,62	2336	T ₃ /T ₄ 13	

Sortul	Umiditatea	0.2	1	3	5	7.1	10	16	20	31	40
0 - 3		14,3	66,4	97,6	-	100	-	100	-	100	
3 - 7		0,80	5,48	21,5	-	96,22	-	100	-	100	
7 - 16		-	-	-	-	3,32	-	90,72	-	100	
16 - 31		-	-	-	-	-	-	23,53	53,57	100	

Procentaj											
20% din sort 1		2,86	13,28	19,52	-	20	-	20	-	20	
20% din sort 2		0,16	1,1	4,3	-	19,24	-	20	-	20	
23% din sort 3		-	-	-	-	1	-	20,87	-	23	
37% din sort 4		-	-	-	-	-	-	8,71	-	37	
TOTAL		3,02	14,38	23,82	-	40,24	-	69,58	-	100	

CANTITATI LA 1 m³ BETON

APA=A=178 kg	Sol.aditiv(plastifiant)	Agregate uscate(total in kg)
A=C*a/c=180 l	Ad=C.Pad/100=1,4 l [1,6 Kg]	Ag= $\rho_b \cdot (C+CT+A+Ad)$ = 1866 Kg

CANTITATI LA 1 m³ BETON

CANTITATI / O SARJA DE 1 m³

Sortul	Uscate		Umiditate ag.		Ag.umed	Ag.umed	Tolerante (±) kg
	%	(kg)	%	(kg)	(kg)	(kg)	
1: (0-3)	20	373	5,3	20	393		
2: (3-7)	20	373	3,5	13	386		
3: (7-16)	23	429	2	9	438		
4:(16-31)	37	691	1,7	12	703		
Total	Σ	1866	Σ	54	1920		
Ciment							
A-(Aog+Ad)							
Ad (aditiv)							
TOTAL							

RETETA NR.7

Tip beton	Marca Clasa	Ciment		Aditiv		\varnothing_{max} mm	Zona gran.	A/C	ρ_b kg/m ³	Tasare (mm)	Conditii suplimentare
		Tip	dozaj	tip	dozaj						
	C18/22,5	II AS	401	BE 5	2 %	20	II	0,42	2397	24	
		32,5R		FM 93							

Sortul	Umiditatea	0.2	1	3	5	7.1	10	16	20	31	40
0 - 3		5,2	?	93,8	99,1						
3 - 7		0,14	0,80	9,18	45,06	90,10	100				
7 - 20		0,37	1,22	2,36	3,86	7,57	35,56	79,48	95,10	100	
20 - 31											

Procentaj											
40% din sort 1		2,08	24,20	37,52	39,64	40	40	40	40	40	
15% din sort 2		0,02	0,12	1,37	6,75	13,51	15	15	15	15	
45% din sort 3		0,16	0,54	1,06	1,73	3,58	15,91	35,76	42,79	45	
TOTAL											

CANTITATI LA 1 m³ BETON

APA=A=157 kg	Sol.aditiv(plastifiant)	Agregate uscate(total in kg)
A=C*a/c=1701	Ad=C.Pad/100= BE 5 = 81 [Kg] FM 93 = 5,31=6 Kg	Ag= $\rho_b \cdot (C+CT+A+Ad)$ = 1826 Kg

CANTITATI LA 1 m³ BETON

CANTITATI / O SARJA DE 1 m³

Sortul	Uscate		Umiditate ag.		Ag.umedede	Ag.umedede	Tolerante (±) kg
	%	(kg)	%	(kg)	(kg)	(kg)	
1: (0-3)	40	730	5,3	39	769		
2: (3-7)	15	274	3,5	10	284		
3: (7-20)	45	822	2	16	838		
Total	Σ	1826	Σ	65	1891		
Ciment							
A-(Aog+Ad)							
Ad (aditiv)							
TOTAL							

RETETA NR.8

Tip beton	Marca Clasa	Ciment		Aditiv		ϕ_{max} mm	Zona gran.	A/C	ρ_b kg/m ³	Tasare (mm)	Conditii suplimentare
		Tip	dozaj	tip	dozaj						
	C16/20	II AM	309	BE 5	1 %	20	II	0,54	2348	11	
		32,5R		FM 93	1 %						

Sortul	Umiditatea	0.2	1	3	5	7.1	10	16	20	31	40
0 - 3		5,7	63,6	94,5	100	100					
3 - 7		0,80	4,14	13,70	45,52	80,96	100				
7 - 20		0,64	1,32	2,80	5,57	11,76	40,58	81,90	94,65	100	
20 -31											

Procentaj											
40% din sort 1	2,28	25,44	37,8	40	40	40	40	40	40	40	
15% din sort 2	0,12	0,62	2,06	6,83	12,14	15	15	15	15	15	
45% din sort 3	0,29	0,59	1,26	2,50	5,29	18,26	36,86	42,59	42,59	45	
TOTAL	2,69	26,65	41,12	49,33	57,43	73,26	91,86	97,59	97,59	100	

CANTITATI LA 1 m³ BETON

APA=A=161 kg	Sol.aditiv(plastifiant)	Agregate uscate(total in kg)
A=C*a/c=166 l	Ad=C.Pad/100= BE 5 = 3,09 Kg = 2,9 l FM 93 = 3,09 Kg = 2,7 l	Ag= $\rho_b \cdot (C+CT+A+Ad)$ = 1844 Kg

CANTITATI LA 1 m³ BETON

CANTITATI / O SARJA DE 1 m³

Sortul	Uscate		Umiditate ag.		Ag.umedede	Ag.umedede	Tolerante (±) kg
	%	(kg)	%	(kg)	(kg)	(kg)	
1: (0-3)	40	738	5,3	39	777		
2: (3-7)	15	277	3,5	10	287		
3: (7-20)	45	829	2	17	846		
Total	Σ	1844	Σ	66	1910		
Ciment							
A-(Aog+Ad)							
Ad (aditiv)							
TOTAL							

In tabelul 2.4.34 sunt redade rezistentele la compresiune la betonul cu superplastifiant FM 93.

Caracteristica	Metoda de verificare conform	U.M.	Valori obtinute	
			Beton martor	Beton cu aditiv 1,25%
Reteta: -ciment II AS 32,5R -apa -aditiv superplastifiant FM 93 -agregat: -sort 0-3 (40%) -sort 3-7 (20%) -sort 7-20 (40%)	NE 012-99	Kg/m ³	400	400
		l/m ³	200	160
		Kg/m ³	-	5
		Kg/m ³	712	712
		Kg/m ³	356	356
		Kg/m ³	712	712
Raport a/c	NE 012-99	-	0,5	0,412
Reducerea de apa	NE 012-99	%	-	17,5
Consistenta betonului -metoda tasarii	STAS 1759-88	cm	10	10
Densitate beton proaspat	STAS 1759-88	Kg/m ³	2386	2412
Rezistenta la compresiune pe epruvete cubice 15x15x15 cm: -la 24 ore -la 7 zile -la 28 zile	STAS 1275-88	N/mm ²		
			5,9	8,6
			27,6	38,1
			41,9	50,8

Tabel 2.4.34.

In tabelul 2.4.35 sunt redade gradele de impermeabilitate la betonul obtinut cu diferite dozaje ale superplastifiantului FM 93.

Caracteristica	Metoda de verificare conform	U.M.	Valori obtinute									
			Beton marlor	Beton cu aditiv								
				2%	2%	1.5%	1.5%	1.5%	1%			
Reteta:												
- ciment IIAS 32,5R		Kg/m ³	450	350	450	350	450	350	450	350	450	450
- apa		l/m ³	140	130	170	130	170	135	180	135	180	180
- aditiv FM93	NE	l/m ³	9	7	6.75	7	6.75	5.25	4.5	5.25	4.5	4.5
- agregat:	012-99	kg/m ³	696	736	696	736	696	736	696	736	696	696
- sort 0-3		kg/m ³	435	460	435	460	435	460	435	460	435	435
- sort 3-7		kg/m ³	609	644	609	644	609	644	609	644	609	609
- sort 7-20		-	0.33	0.39	0.39	0.39	0.39	0.40	0.41	0.40	0.41	0.41
- raport a/c												
Consistenta betonului -metoda tasarii	STAS 1759-88	cm	10	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Densitate beton proaspata	STAS 1759-88	Kg/m ³	2375	2420	2405	2420	2405	2410	2390	2410	2390	2390
Rezistenta la compresiune:												
- la 24 ore		N/mm ²	7.1	7.4	10.3	7.4	10.3	6.5	8.5	6.5	8.5	8.5
- la 7 zile	STAS 1275-88		29.2	35.0	42.4	35.0	42.4	33.2	39.4	33.2	39.4	39.4
- la 28 zile			45.8	52.6	55.1	52.6	55.1	50.6	53.8	50.6	53.8	53.8
Impermeabilitatea la apa:												
- grad de impermeabilitate	STAS 3519-76	P ₈ ¹⁰	P ₈ ¹⁰	P ₈ ¹⁰	P ₈ ¹⁰	P ₈ ¹⁰	P ₈ ¹⁰	P ₈ ¹⁰	P ₈ ¹⁰	P ₈ ¹⁰	P ₈ ¹⁰	P ₈ ¹⁰
- adancimea de patrundere a apei		cm	2.0	1.4	1.2	1.4	1.2	1.8	1.5	1.8	1.5	1.5

Tabel 2.4.35

Tematica majoritatii cercetarilor cuprinde influenta aditivilor superplastifianti asupra proprietatilor betoanelor proaspete si intarite. Pricipalele caracteristici ale betoanelor studiate au fost:

- lucrabilitatea, apreciata prin diferite metode;
- densitatea aparenta;
- volumul de aer oclus;
- tendinta de segregare;
- timpul de priza.

Principalii factori care influenteaza aceste proprietati au fost cercetati dupa cum urmeaza:

- mecanismul de actiune al aditivilor superplastifianti;
- tipul si dozajul aditivului superplastifiant;
- tipul, compozitia mineralogica, finetea de macinare si dozajul cimentului;
- granulozitatea agregatelor, tipul, dozajul, caracteristicile fizico-mecanice;
- momentul de adaugare a aditivilor superplastifianti;
- variatia in timp a tasarii;
- efectul dozarii repetate;
- temperatura mediului in momentul prepararii si turnarii betonului.

Superplastifiantii influenteaza in special prin tipul si dozajul de aditiv utilizat.

Se pot utiliza si in combinatie cu aditivi clasici, de regula aditivi antrenori de aer si intirzietori de priza. Introducerea lor in beton se poate face initial sau la diferite intervale de timp de la preparare, in functie de conditiile tehnologice impuse la punerea in opera a betonului. De asemenea in cazul introducerii initiale ei se pot rediza. Timpul de amestecare la preparare este mai mare in cazul utilizarii superplastifiantiilor, pentru a asigura repartizarea cat mai uniforma in beton, variind intre 2 si 6 minute.

Se prefera superplastifiantii sub forma lichida (solutie), deoarece dispersarea lor in beton este mai usoara si mai eficienta.

Aditivii superplastifianti actioneaza in beton indeosebi prin procese fizico-chimice de adsorbtie la suprafata granulelor anhidre si a produsilor de hidratare cu modificari esentiale asupra proprietatilor betonului.

Substantele ce actioneaza prin adsorbtie la limita de separare a fazelor modifica sensibil limita de curgere si viscozitatea plastica, imbunatatind lucrabilitatea betonului.

Micsorarea limitei de curgere are ca rezultat o fluidizare a pastelor si deci posibilitatea reducerii necesarului de apa pentru aceeasi lucrabilitate, de unde si denumirea intalnita in literatura de specialitate de reducatori sau superreducatori de apa. Aditivii superplastifianti se adsorb din solutie fie la suprafata lichid-aer, producand o reducere a tensiunilor superficiale, fie se adsorb la suprafata

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 figura 2.4.7 (varianta a) față de adsorbția moleculelor cu structură simplă polar-nepolară, care se adsorb atât la interfața lichid-ser cit și la suprafața particulelor după mecanismul din figura de mai jos (varianta b).

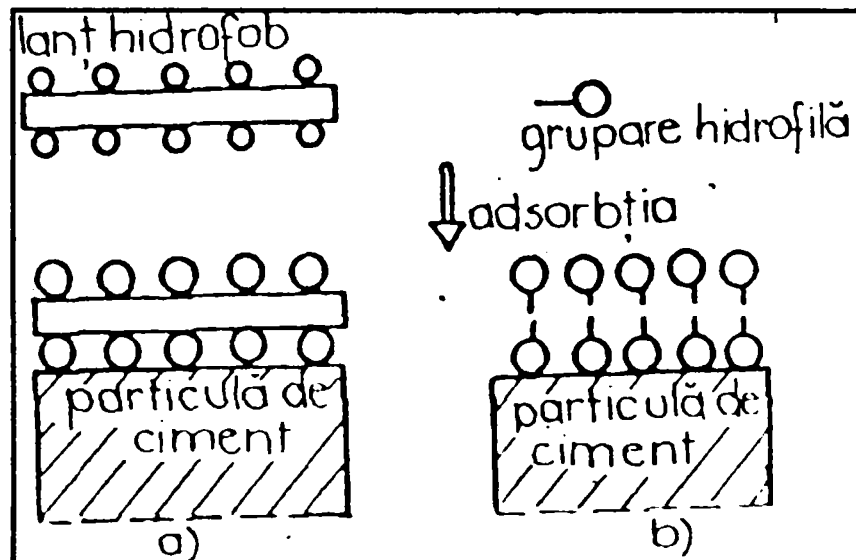


Figura 2.4.7

Mecanismul adsorbției substanțelor tensioactive la suprafața granulelor de ciment

- a- substanțe cu moleculă mare;
- b- substanțe cu moleculă simplă.

Polaritatea moleculelor da posibilitatea ca astfel de aditivi să se adsorbă puternic atât la suprafața compusilor anhidri (cu încărcare electropozitivă) cit și la suprafața produsilor de hidratare (hidrosilicații și hidroaluminatii de calciu fiind electronegativi).

Agitația termică ce se opune orientării și adsorbției are influență mult mai slabă asupra acestor substanțe cu masă moleculară mare față de moleculele cu structură simplă.

Aceste polarități structurale și de compoziții 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 compusilor 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 OH- exercită o puternică acțiune de adsorbție a apei și în raport cu fazele hidratate ale cimentului, determinând atât o fluidifiere cât și o stabilizare a fazelor hidratate. Gruparea funcțională -NH₂ (aminică) poate funcționa cu peptizator sau floculator, în funcție de concentrație.

Grupările funcționale -SO₃²⁻, -COO⁻, 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.

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

2.4.2.2. Stabilirea compoziției betoanelor cu superplastifianți.

Stabilirea compoziției betoanelor cu superplastifianți se face în conformitate cu normele interne din fiecare țară precum și cu instrucțiunile de utilizare ale fiecărui aditiv în parte.

Procedee pentru stabilirea compoziției preliminare a betoanelor cu superplastifianți, verificat experimental pentru superplastifiantul SP4 [78,79] este următorul :

Stabilirea apei de amestecare A' se face cu formula :

$$A' = (170 + B/2 + 50N/P - 300/(T + \beta))(0.84 + 0.93/\sqrt{d_{\max}})\gamma\delta \quad (l/m^3)$$

unde :

B= rezistența betonului (marca betonului) (N/mm²)

N= agregatul cu d < 7 mm pentru d_{max} > 16 mm sau agregatul cu d < 3.15 mm pentru d_{max} < 16 mm (%)

P= agregatul cu d > 7 mm pentru d_{max} > 16 mm sau agregatul cu d > 3.15 mm pentru d_{max} < 16 mm (%)

T= tasarea betonului proaspăt (cm)

β= coeficientul care introduce influența superplastifiantului asupra tasării, cu valoarea β=1 (pentru betonul greu obișnuit β=4)

d_{max} = diametrul maxim al agregatelor (mm)

γ = coeficientul prin care se introduce influenta naturii agregatului, cu valorile $\gamma=1.0$ pentru agregatele de rau si $\gamma=1.1$ pentru agregatele din piatra sparta(0-31mm)
 δ = coeficient care tine seama de tipul superplastifiantului, cu valoarea $\delta=1.0$ pentru aditivul SP4 si $\delta=0.935$ pentru VIMC 11.

In cantitatea de apa A' este inclusa si cantitatea de superplastifiant (pentru corectia de apa datorata adaugarii superplastifiantului sub forma de solutie de o anumita concentratie -se respecta prevederile date pentru fiecare aditiv prin instructiunile de utilizare).

Dupa stabilirea cantitatii de apa de amestecare A' se calculeaza raportul A/C prin relatia Bolomey-Skramtaev :

$$A/C = KRc / B + 0.5KRc$$

in care :

Rc = marca cimentului folosit (N/mm²)

K = coeficient de aderenta a agregatului cu valorile de K=0.5 pentru agregat de rau si K=0.55 pentru agregat de piatra concasata

Dozajul de ciment C' se stabileste cu relatia :

$$C' = A' / A/C \quad (\text{Kg/m}^3)$$

Cantitatea de agregate in stare uscata A'g se determina cu formula :

$$A'g = \rho_{ag} (1000 - C'/\rho_c - A' - P - S_{up}) \quad (\text{Kg/m}^3)$$

Unde:

ρ_{ag} = densitatea aparenta a agregatelor (Kg/dm³)

ρ_c = densitatea cimentului (3.0 Kg/dm³)

P = volumul de aer oclus (%)

S_{up} = cantitatea de substanta uscata de superplastifiant, care fiind redusa (5kg/m³) se poate neglija in calculele practice (SP4)

Cantitatea de superplastifiant S' se determina cu relatiile :

$$S' = \frac{P}{100} C' \quad (\text{Kg/m}^3) \quad \text{pentru aditivi pulbere}$$

$$S' = \frac{P}{100} \times \frac{C'}{\rho} \times 10^3 \quad (\text{l/m}^3) \quad \text{pentru aditivi in solutie}$$

unde avem :

p = procentul de superplastifiant utilizat si se poate considera 0.5-1% substanta activa din cantitatea de ciment pentru superplastifiantul SP4.

ρ =densitatea superplastifiantului (kg/m^3); 1100 ± 100 pentru SP4.

Cunoscand dozajele preliminare A';C';Ag' si S' se trece la stabilirea compozitiei de baza, iar apoi la definitivarea compozitiei betoanelor cu superplastifianti.

2.4.2.3. Proprietatile betoanelor cu superplastifianti

Studiile si cercetarile experimentale intreprinse au aratat ca toate caracteristicile fizico-mecanice ale betoanelor cu superplastifianti trebuie analizate in functie de cantitatea de apa utilizata la preparare.

Astfel, betoanelor cu superplastifianti realizate la acelasi raport A/C cu betoanele martor, se caracterizeaza printr-o lucrabilitate imbunatatita a betoanelor proaspete si prin caracteristici fizico-mecanice ale betoanelor intarite apropiate de cele ale betoanelor martor (in limita de cca. $\pm 5\%$).

Betoanele cu superplastifianti realizate la raport apa/ciment redus fata de martor (betoanele de inalta rezistenta, performanta) au de regula lucrabilitatea egala cu a betoanelor marca, iar betoanele intarite au caracteristici fizico-mecanice superioare betoanelor martor, corespunzatoare noii clase de betoane realizate.

Deasemenea betoanelor cu superplastifianti prezinta o buna durabilitate, apreciata prin cresterea gradului de impermeabilitate (peste P 16), a rezistentei la inghet-dezghet (peste 200-300 cicluri), cresterea rezistentei la coroziune,etc.

Analizand una din principalele caracteristici ale betonului intarit, rezistenta la compresiune, care poate da informatii si asupra altor caracteristici fizico-mecanice ale betonului, se constata :

- cresterile de rezistenta obtinute, chiar la dozaje reduse de superplastifiant, sunt mai mari decit acelea obtinute prin cresterea dozajului de ciment;
- este de asteptat ca prin reducerea cantitatii de apa de preparare cu peste 30-35% sa se obtina cresteri ale rezistentelor la 24 h in conditii normale de 50-75%, rezistenta obisnuita de la 7 zile sa fie atinsa la 3 zile, iar cea de la 28 zile in 7 zile.
- in cazul utilizarii tratamentului termic, la elemente prefabricate se pot obtine in 24 de ore rezistentele de la 28 zile.

In figura 2.4.8 este prezentata variatia in timp a rezistentei la compresiune pentru doua betoane cu foarte inalta performanta. Se poate observa ca rezistenta la compresiune atinsa la 1 zi a fost la unul din betoane chiar mai mare de 60 N/mm^2 .

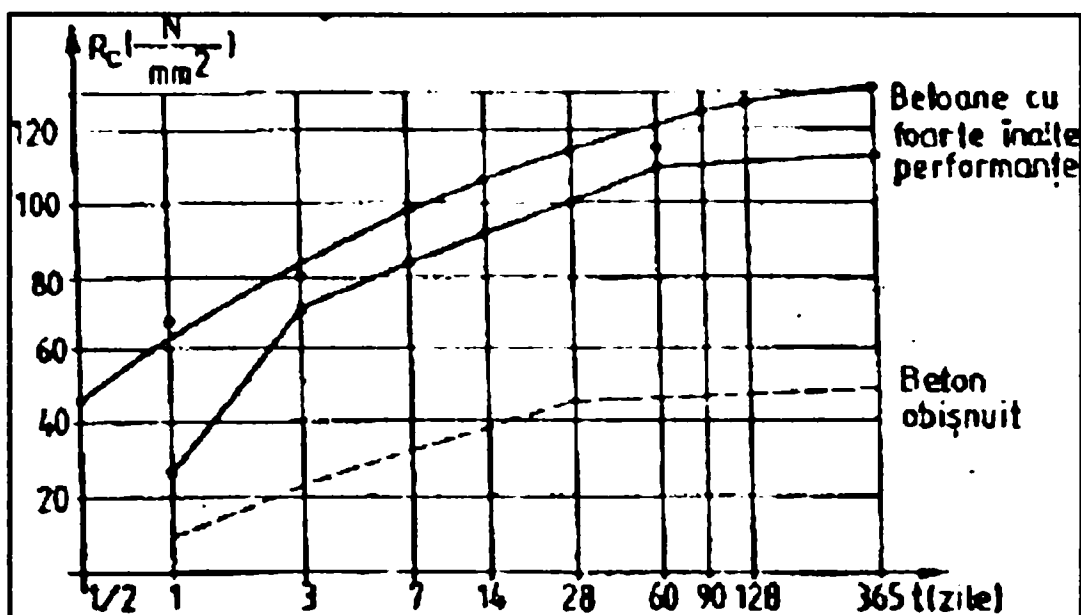


Figura 2.4.8

Variatia in timp a rezistentei la compresiune a betoanelor cu foarte inalte performante

Betoanele cu inalte si foarte inalte performante poseda pe langa rezistenta inalta la compresiune si alte proprietati imbunatatite si anume : modulul de elasticitate, contractia, curgerea lenta precum si caracteristici de duritate.

Rezistenta la intindere nu creste atat de spectaculos ca si rezistenta la compresiune. Motivele nu sunt inca elucidate. Rezistenta la intindere prin despicare la 28 zile nu a depasit 6.5 N/mm^2 .

Ordinul de marime al unor caracteristici mecanice ale betoanelor cu inalte performante sunt prezentate in tabelul 2.4.36 :

Caracteristica	Betoane cu inalte performante	Betoane cu foarte inalte performante
Rezistenta la compresiune	60-80 N/mm^2 .	80-120 N/mm^2 .
Modul de elasticitate	45-48 k N/mm^2 .	48-53 k N/mm^2 .
Rezistenta la intindere prin despicare	5-5.3 N/mm^2 .	5.5-6.5 N/mm^2 .

Tabel 2.4.36

Alte caracteristici imbunatatite sunt prezentate in tabelul 2.4.37 :

Caracteristica	Beton obisnuit (BO)	Betoane cu foarte inalte performante (BFIP)	BFIP/BO
Contractia	530×10^{-6}	120×10^{-6}	0.22
Curgerea lenta	330×10^{-6}	229×10^{-6}	0.69
Adancimea medie de carbonatare	8.7	1.6 mm	0.18

Tabel 2.4.37

Principalele caracteristici fizico-mecanice ale unor betoane cu superplastifiantii MIGHTY 150 si MELMET L10, care sunt printre cei mai utilizati pe plan mondial si fac parte din categoria superreducatori de apa, sunt prezentate in tabellele 2.4.38-2.4.40 :

Raport A/C	Apa (l/m ³)	Ciment (kg/m ³)	Nisip* agregat	MIGHTY 150 (% solutie)	Tasare (mm)	Volum de aer oclus (%)
0.25	128	512	43.0	2.95	108	0.8
0.3	142	471	43.0	2.2	106	1.5
0.35	153	434	43.0	1.8	96	1.5
0.4	162	404	43.0	1.4	97	1.5
0.45	171	378	43.0	1.0	94	1.4
0.5	178	355	43.0	0.7	96	1.2
0.55	185	334	43.0	-	93	1.2

* 789 Kg nisip si 1044 Kg pietris/m³ pentru toate compozitiile

Tabel 2.4.38

Compozitia betoanelor cu superplastifiant MIGHTY 150 si proprietati ale betoanelor proaspete

Raport A/C	R_b N/mm ²	R_i N/mm ²	R_{td} N/mm ²	τ_a (N/mm ²)		E_b KN/mm ²	ϵ_c^* x10 ⁻⁴	c_t x10 ⁻⁵ mm ² /N
				Vertical	Orizontal superior inferior			
0.25	110.7	11.1	6.8	32.5	<u>30.2</u> 32.9	41.8	5.0	2.62
0.3	96.6	9.2	6.3	31.3	<u>27.7</u> 32.4	-	6.7	-
0.35	85.6	8.4	5.8	30.6	<u>28.2</u> 31.7	-	7.8	-
0.4	70.0	6.9	5.0	27.6	<u>27.2</u> 29.1	35.0	8.1	5.7
0.45	58.6	6.1	3.8	26.6	<u>25.3</u> 28.1	-	7.3	-
0.5	52.7	5.3	3.7	24.1	<u>22.3</u> 26.2	-	7.8	-
0.55	41.6	5.1	3.5	22.8	<u>17.8</u> 23.0	30.0	7.6	11.80

* - la 52 saptamani

Tabel 2.4.39
Caracteristici fizico-mecanice ale betoanelor intarite cu superplastifiant
MIGHTY 150 la 28 zile

Raport A/C	MELMENT L10 (% solutie)	ρ_{b28} (kg/m ³)	Tasare (mm)	R_b (N/mm ²), la (ani):					
				1	2	3	4	5	6
0.34	5.0	2520	80	85.1	101.0	104.3	106.2	108.1	113.9
0.37	2.5	2500	75	83.5	92.4	104.5	108.6	109.5	110.0
0.45	-	2420	75	78.1	81.3	84.3	87.4	89.1	90.1

Tabel 2.4.40
Caracteristici fizico-mecanice ale betoanelor cu superplastifiant
MELMENT L10

Din rezultatele experimentale obtinute pe betoanele cu superplastifiantii MIGHTY se desprind urmatoarele constatari:

- s-au realizat betoane cu rapoarte $A/C = 0.25 \dots 0.55$ utilizand un dozaj de aditiv cuprins intre $0 \dots 2.95$ (solutie aditiv din cantitatea de ciment);
- pentru betoanele de inalta performanta, cu raportul $A/C=0.25$ s-au obtinut rezultatele :

$$R_b = 110.7 \text{ N/mm}^2$$

$$R_i = 11.1 \text{ N/mm}^2$$

$$E_b = 41.8 \text{ KN/mm}^2$$

$$\varepsilon_c^* = 5 \times 10^{-4} \quad (\text{contractia la uscare})$$

$$c_t = 2.65 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{N} \quad (\text{curgere lenta specifica})$$

Din figura 2.4.9 rezulta relatia dintre rezistenta la compresiune la 28 zile a betonului cu superplastifiantul MIGHTY 150 (R_{b28}) si raportul C/A:

$$R_{b28} = 25,2 \frac{C}{A} - 5,6 \quad (\text{N/mm}^2)$$

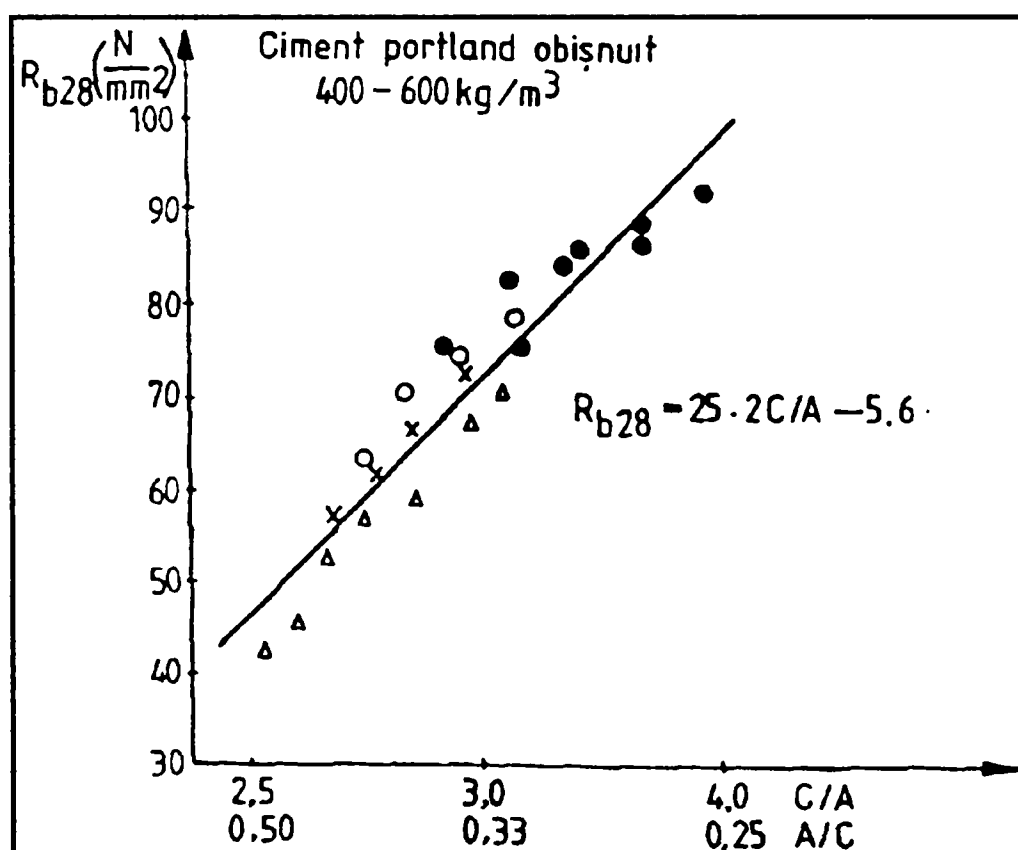


Figura 2.4.9

Relatia dintre raportul ciment-apa si rezistenta la compresiune la betoanele cu superplastifiant MIGHTY

Se constata ca un beton de inalta performanta de 100 N/mm² se poate obtine la un raport A/C = 0.25 (C'/A-4).

In figura 2.4.10 se prezinta relatia dintre cantitatea de apa de preparare si contractia la uscare a betonului cu superplastifiantul MIGHTY 150 in intervalul 1...52 saptamani de la turnare [61].

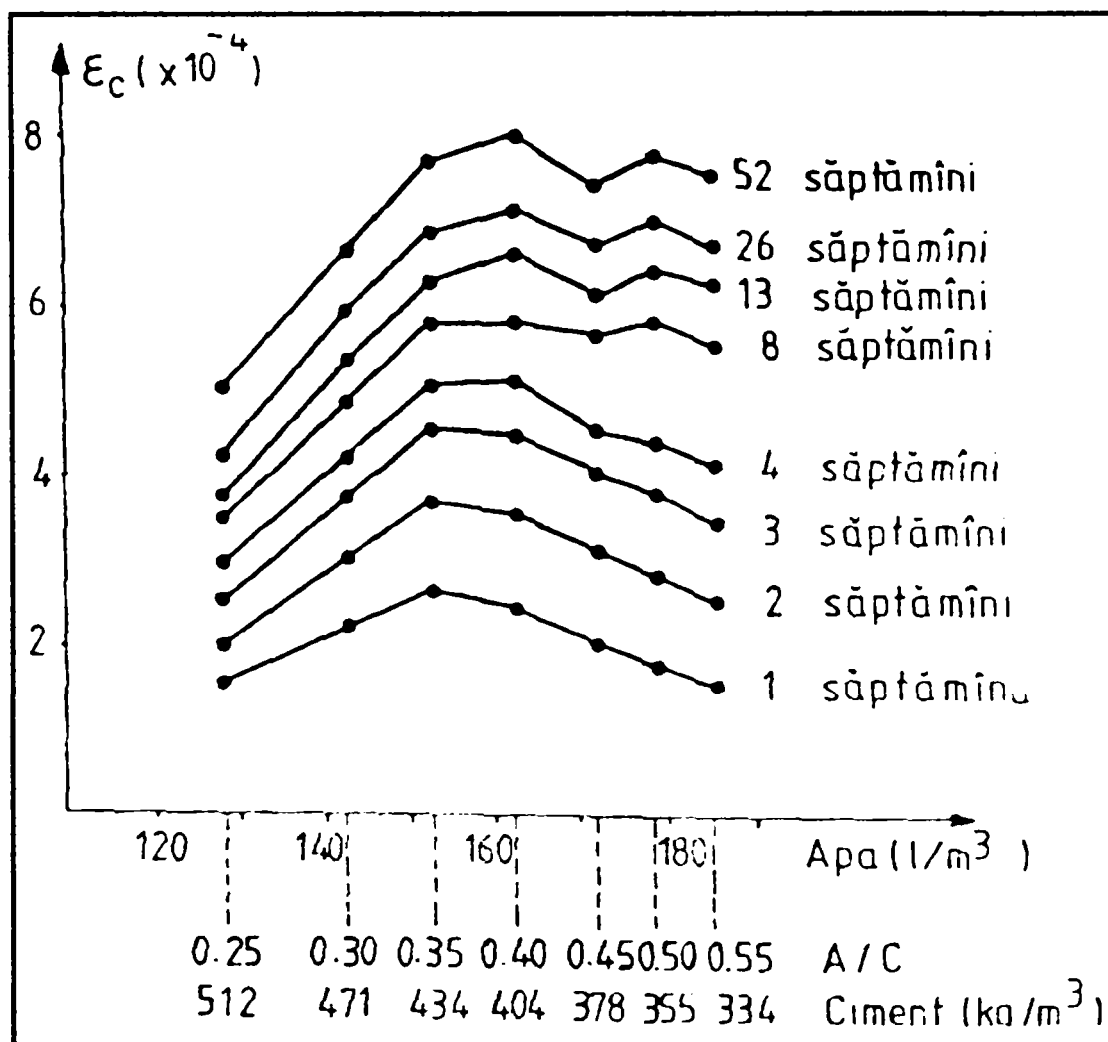


Figura 2.4.10

Variatia contractiei la uscare in functie de cantitatea de apa de preparare a betonului cu superplastifiant MIGHTY 150

2.4.2.4. Domenii de utilizare ale betoanelor cu superplastifianti.

Cresterea numarului de superplastifianti produși pe plan mondial incepind cu anul 1964, precum și avantajele tehnico-economice pe care le ofera a facut ca utilizarea lor in tehnologia betoanelor sa se extinda tot mai mult in ultimii 15-20 ani in tarile dezvoltate.

Principalele avantaje tehnico-economice precum și directii de folosire practica a superplastifiantilor in tehnologia betoanelor sunt prezentate in tabelele 2.4.41 și 2.4.42 :

Nr.crt	Efecte tehnico economice principale	Tipul betonului cu superplastifiant
1	Imbunatatirea sensibila a lucrabilitatii	Beton fluid
2	Cresterea rezistentelor mecanice	Beton de inalta rezistenta
3	Economii de ciment	Beton cu dozaj de ciment redus
4	Reducerea timpului de vibrare	Beton fluid
5	Reducerea duratei tratamentului termic	Beton de inalta rezistenta
6	Imbunatatirea durabilitatii	Beton de inalta rezistenta

Tabel 2.4.41

Clasa superplastifiantului	Directii de folosire practica
1	2
Clasa 1	Productia betonului fluid Productia betonului de inalta rezistenta Productia betonului cu dozaj de ciment redus
Clasa 2	Productia betonului fluid Productia betonului de inalta rezistenta Productia betonului cu dozaj de ciment redus
Clasa 3	Productia betonului usor si foarte usor
Clasa 4	Productia de elemente prefabricate fara tratament termic, elemente monolite cu decofrare rapida, etc.
Clasa 5	Productia betonului pentru transport la distante Mari sau pe timp calduros
Clasa 6	Productia betonului pentru lucrari speciale

Tabel 2.4.42

Exemplificari de lucrari practice realizate in diferite tari la care s-au utilizat betoane cu superplastifianti se prezinta in tabelul 2.4.43 :

Nr. crt.	Domenii de utilizare	Tari
1	Elemente prefabricate	Japonia, Germania, SUA, Canada, Italia, Australia
2	Cladiri civile	Japonia ,Germania,Romania
3	Drumuri	SUA,Germania
4	Poduri	Japonia ,Germania ,Canada,SUA,Anglia
5	Tuneluri	Japonia ,Anglia.SUA
6	Baraje	Japonia,Danemarca ,Germania
7	Stadioane	Japonia ,Canada
8	Constructii speciale Silozuri,turnuri tv,nucleare	Japonia, Romania

Tabel 2.4.43

2.4.2.5. Beton cu fibre de otel pentru platforme industriale

Un alt exemplu de beton, realizat cu superplastifiant indigen FORTERA, este betonul cu fibre de otel pentru platforme industriale utilizat la intreprinderea SOLECTRON Timisoara.

Betonul cu fibre de otel pentru platforme industriale este un beton special caracterizat prin urmatoarea compozitie: ciment portland cu un dozaj de 380- 400 Kg/m³; agregate de rau 0/31 mm; fibre de otel, import Austria, de 50 mm lungime cu un dozaj de 30 kg/m³; superplastifiant indigen FORTERA 6 l/m³.

Fibrele de otel sunt livrate de MUREXIN AG- Austria si sunt produse de Franz v. Furtenbach- Viena.

Norma de calitate a fibrelor este conform DIN 5342.

Reteta de fabricatie a betonului cu fibre de otel pentru platforme industriale a fost elaborata prin contributie personala in cadrul laboratorului de grad II al S.C. EUROCONSTRUCT S.A. Timisoara.

RETETA - BETON CU FIBRE DE OTEL

Tip beton	Marca Clasa	Ciment		Adaos (CT)		Aditiv		ϕ_{max}	Zona gran.	A/C	ρ_b kg/m ³	Tasa re	Cond supl
		tip	dozaj	tip	dozaj	tip	dozaj						
Beton pentru platforme	B350 BCR4 BC 27,5							31	II	0,43 0,44 max	2400/ 2410	80/ 100 mm	Beton cu fibre metalice
		II/A S 32, 5R	400	Fibre Metalice	30	FORT ERA	5,6 l						

Sortul	Umiditatea	0.2	1	3	5	7.1	10	16	20	31	40
0-3	5,3	5,2	68,1	94,5		100					
3-7	3,5	0,5	9,3	20,2		84,5		100			
7-16	2,4	1,13	2,3	3,9		11,4		91,5		100	
16-31	1,8	0,6	1,8	2,4		5,5		15,5		96,8	100

Procentaj											
33% din sort 1	1,71	22,5	31,2			33		33		33	33
12% din sort 2	0,06	1,1	2,4			10,1		12		12	12
24% din sort 3	0,27	0,55	0,94			2,74		22		24	24
31% din sort 4	0,19	0,56	0,74			1,7		4,8		30	31
TOTAL	2,33	24,71	35,28			47,54		71,8		99	100

CANTITATI LA UN mc BETON

APA=A=166+6 kg	Sol.aditiv(plastifiant)	Agregate uscate(total in kg)
A=C*a/c=172 166 + 6 Fortera	Ad=C.Pad/100=5,6 l (6,5 Kg)	Ag= $\rho_b \cdot (C+CT+A+Ad)$ =2405-(400+30+166+6)= 1803 Kg \approx 1800 Kg

CANTITATI LA UN m³ BETON

CANTITATI / O SARJA DE 1 m³

Sortul	Uscate		Umiditate ag.		Ag.umedede	Ag.umedede	t o -
	%	(kg)	%	(kg)	(kg)	(kg)	
1: (0-3)	33	594	5,3	32	626	500,8	501
2: (3-7)	12	216	3,5	8	224	179,2	179
3: (7-16)	24	432	2,4	10	442	353,6	353
4: (16-31)	31	558	1,8	10	568	454,4	455
Total	Σ	1800	Σ	60	1860		
			Ciment		400	320	
			Adaos CT		30	24	
			A-(Aog+Ad)		106	84,8	
			Ad (aditiv)		6	4,5	
			TOTAL		2402		

S-a emis reteta

Nr.

Intocmit,
Ing.FRATUT SUZANA

Semnatura.

Se va reface calculul retetei ori de cite ori ρ_b a betonului proaspat variaza cu mai mult de ± 40 kg .

Superplastifiantul utilizat, FORTERA, produs de S. C. ICPAO S. A.- Medias, este insotit de certificatele de calitate corespunzatoare si de agrementul tehnic 001-01/038- 1998 emis de INCERC Bucuresti.

Agrement tehnic 001-01/038- 1998 – superplastifiant FORTERA

Descriere

Produsul FORTERA este un aditiv cu actiune puternica de reducere a apei si face parte din grupa condensatelor cu formaldehida a acidului β - naftalinsulfonic.

Aditivul pentru betoane FORTERA este un superplastifiant cu eficacitate sporita in obtinerea de betoane fluide, nesegregabile si cu rezistente mecanice mult imbunatatite fata de betonul ce nu contine aditiv.

Elemente componente primare

- naftalina tehnica;
- acid sulfuric;
- formaldehida;
- hidroxid de sodiu;
- metanol tehnic.

Materialele componente sunt dozate in proportiile stabilite conform procesului tehnologic de sinteza a produsului FORTERA elaborat de S. C. ICPAO – S. A. Medias.

Naftalina tehnica este materia prima principala care se sulfoneaza.

Acidul sulfuric este agentul de sulfonare.

Aldehida formica este componenta cu care se realizeaza condensarea acidului β - naftalinsulfonic.

Hidroxidul de sodiu este componenta care realizeaza neutralizarea masei de reactie obtinuta in urma condensarii.

Fabricare

Procesul tehnologic de obtinere a aditivului pentru betoane FORTERA cuprinde urmatoarele faze:

- verificarea calitatii materialelor componente;
- sulfonarea naftalinei tehnice;
- condensarea cu aldehida formica;
- neutralizarea masei de reactie cu hidroxid de sodiu;
- tratarea cu metanol tehnic;
- filtrarea si decantarea;

- racirea si centrifugarea;
- verificarea calitatii produsului FORTERA;
- ambalarea si depozitarea.

Punerea in opera

Cantitatea optima de aditiv FORTERA ce se utilizeaza la prepararea betoanelor este de 1,5 % (solutie fata de cantitatea de ciment).

Materialele ce compun amestecul de beton : agregate, ciment si o parte din apa necesara se malaxxeaza minim 30 secunde, dupa care se introduce aditivul FORTERA impreuna cu restul de apa si se continua malaxarea minim 90 secunde.

Stabilirea compozitiei betoanelor se face conform Normativului C 140- 86.

Rezultate experimentale

Caracteristicile tehnice principale ale aditivului FORTERA:

- | | |
|---|-------------------------------|
| - aspect | solutie limpede |
| - culoare | maro- brun |
| - densitate la 20 ⁰ C | 1,21...1,23 g/cm ³ |
| - continut in substanta activa % | 40 ± 1 |
| - vascozitate dinamica la 20 ⁰ C | 88...95 CP |
| - cloruri | nu contine |
| - continut in sulfat de sodiu % | max. 2 |
| - pH- ul solutiei de 1 % | 7,5...9. |

Caracteristicile betoanelor preparate cu aditivul FORTERA.

Betoanele au fost preparate cu:

- trei tipuri de ciment si anume: I 42,5 (conform SR 388- 95), II/B- P si II/B- S (conform SR 1500- 96);
- agregate de balastiera cu granula maxima 16 mm. Granulozitatea agregatului total pe sorturi a fost (tabel 2.4.44) :

Sort	0-3 mm	3-7 mm	7-16 mm	Dozaj ciment
% treceri in masa prin ciur	45 40	25 25	30 35	300kg/m ³ 400 si 500 kg/m ³

Tabel 2.4.44

a) caracteristicile betoanelor in stare proaspata preparate cu aditivul FORTERA.

Tip ciment	Prop. Solutie FOR TERA (%)	Dozaj ciment (kg/m ³)	Dozaj apa (l/m ³)	Tasare (cm)	A/c	Reduc. A/c	Metoda de verificare
I 42,5							
SR	1,5	307	200	17,5	0,65	22	
388- 95	1,5	399	193	17	0,48	13	
	1,5	515	206	20	0,40	17	
II/B-P							
SR	1,5	302	202	19,5	0,65	15,6	STAS
1500-	1,5	398	223	20	0,56	13,5	1759/8
96	1,5	498	227	18,5	0,46	16	8
II/B- S							
SR	1,5	303	179	17	0,59	16	
	1,5	401	182	22	0,45	22	
1500-	1,5	520	202	22	0,38	19	
96							

Tabel 2.4.45

Tip ciment	Cantitatea de aditiv FORTERA %	A/c	Tasare (cm)
II/B- P SR 1500- 96	-	0,64	1,5
	0,50	0,64	3
	0,75	0,64	5
	1,00	0,64	7
	1,25	0,64	12
	1,50	0,64	16

Tabel 2.4.46

Imbunatatirea lucrabilitatii betonului, functie de cantitatea de aditiv
(solutie raportata la cantitatea de ciment),
mentinand constant raportul a/c.

Betonul a fost preparat la un dozaj de ciment de 300 kg/m^3 .
Lucrabilitatea a fost exprimata prin tasare.

Tip ciment	Cantitatea de aditiv FORTERA (%)	Tasare (cm)	Reducerea raportului a/c (%)
I 42,5 SR 388- 95	0,50	18,0	10
	0,75	17,5	19
	1,00	17,0	20,8
	1,50	17,5	22,0
II/B-P SR 1500- 96	0,50	19	8
	0,75	20	14
	1,00	20	15
	1,50	19,5	15,6

Tabel 2.4.47

Scaderea raportului a/c functie de cantitatea de aditiv
(solutie raportata la cantitatea de ciment),
mentinand constanta lucrabilitatea.

Betonul a fost preparat la un dozaj de ciment de 300 kg/m^3 .

a) caracteristicile betoanelor in stare intarita preparate cu aditivul FORTERA.

Tip ci ment	Cant FOR-TERA (%)	ci ment (kg/m ³)	A/c	Redu cere A/c	Ta sare (cm)	Cres teri ale aderen tei la arma turi (%)	Cres tere grad de imperm la apa (%)	Cresteri ale rezistentei la compresiune (%)			
								3 zile	7 zile	28 zile	90 zile
I 42,5 SR 388- 95	1,5	307	0,65	22	17,5	72,0	25	-	97,3	85,3	65,4
	1,5	399	0,98	13	17	26,9	35	60,0	43,6	20,3	24,8
	1,5	515	0,40	17	20	24,0	40	50,6	27,0	10,0	21,5
II/B- P SR 1500 -96	1,5	302	0,65	15,6	19,5	40,0	35	-	39,3	27,7	25,0
	1,5	398	0,56	13,5	20	60,4	43	83,8	95,2	84,0	52,7
	1,5	498	0,46	16	18,5	29,8	40	76	49,7	44,3	27,3
II/B- S SR 1500 -96	1,5	303	0,59	16	17	70,5	23	-	60,0	53,8	-
	1,5	401	0,45	22	22	70,8	22	-	200	100	-
	1,5	520	0,38	19	22	47,2	25	-	112	65,5	-
Metode de verificare					STAS 5517-71	STAS 3519-76	STAS 1275-88				

Tabel 2.4.48

Imbunatatirea rezistentei la compresiune la betoanele ce contin aditiv FORTERA in diferite proportii

Betoanele au fost preparate la un dozaj de ciment de 300 kg/m³ si lucrabilitate L_s (tasare 18±2 cm).

Tip ciment	Cantitate de aditiv (%)	Tasare (cm)	Cresteri ale rezistentei la compresiune (%)		
			1 zi	7 zile	28 zile
I 42,5 SR 388- 95	0,50	18,5	75	20,0	28,6
	0,75	17,5	112	58,5	57,0
	1,00	17,5	133	92,0	73,0
	1,50	17,5	133	97,0	85,7
II /B- P SR 1500- 96	0,50	19,0	-	12,3	8,2
	0,75	20,0	-	8,2	4,0
	1,00	20,0	-	26,2	16,3
	1,50	19,5	-	39,3	27,7

Tabel 2.4.49

Utilizarea aditivului FORTERA la prepararea amestecurilor de beton nu influenteaza negativ evolutia in timp a contractiilor, inregistrandu-se la compozitiile studiate pentru varstele de 14, 21, 28, 56, 90 zile chiar diminuari ale contractiilor cu circa 5...20%.

Concluzii

Aditivul FORTERA este un superplastifiant sub forma de solutie ce se utilizeaza la prepararea betoanelor in proportie optima de 1,5 % (solutie fata de cantitatea de ciment) si este produs de S. C. ICPAO – S. A. Medias.

Prin utilizarea aditivului FORTERA la prepararea betoanelor se asigura:

- imbunatatirea lucrabilitatii betonului fara a creste continutul in apa;
- obtinerea de betoane pompabile;
- reducerea tendintei de segregare;
- reducerea cantitati de apa de amestecare cu circa 13...22%;
- cresteri de rezistenta la compresiune in primele 3 zile cu circa 50...80% si 20...60% la 28 zile si 90 zile;
- imbunatatirea gradului de impermeabilitate al betonului cu circa 20...40%;
- cresteri ale aderenței betonului la armatura cu circa 25...70%;
- imbunatatirea durabilitatii betonului ca urmare a cresterii compactitatii.

Agrement tehnic 010-01/054-2000 emis de INCERC- Filiala Timisoara
Beton armat cu fibre de otel pentru platforme industriale

Descriere succinta

Betonul cu fibre de otel pentru platforme industriale care face obiectul prezentului agrement tehnic este un beton special avand in compozitie ciment portland, apa, agregate de rau, fibre de otel si superplastifiant. Prepararea se face in statii de betoane cu dozare automata iar punerea in opera se realizeaza prin turnare directa.

Rosturile de lucru si de contractie sunt dispuse astfel incat rezulta dala de circa 5x5 m; taierea rosturilor de contractie se face pe betonul intarit la cateva ore dupa turnare.

Identificarea produselor

Betonul cu fibre de otel pentru platforme industriale este livrat de catre statile de betoane insotit de certificatul de calitate atat pentru caracteristicile specifice starii proaspete cat si pentru cele ce caracterizeaza betonul intarit. Identificarea este garantata pe durata livrarii, transportului si turnarii betonului.

Domeniile de utilizare acceptate in constructii

Betonul cu fibre de otel se poate utiliza la realizarea platformelor din interiorul sau exteriorul halelor de productie, la drumuri sau pentru spatii de circulatie exterioare. Utilizarea unui anumit tip de beton armat cu fibre de otel pentru o anumita destinatie va fi justificata printr-un calcul al compozitiei in functie de actiunile directe aferente pentru elementul la care se foloseste.

Betonul armat cu fibre de otel se poate utiliza pe intreg teritoriul Romaniei la platforme industriale, drumuri sau spatii de circulatie.

Aprecierea asupra produsului

Aptitudinea de exploatare

Betonul armat cu fibre de otel pentru platforme industriale este astfel realizat incat sa indeplineasca criteriile de performanta principale corespunzatoare celor 6 cerinte esentiale din "Legea Calitatii in Constructii" (Legea 10/1995).

a) Rezistenta si stabilitate

a₁) Betonul armat cu fibre de otel pentru platforme industriale are caracteristicile fizice si mecanice ce satisfac conditiile puse de normele in vigoare referitoare la: rezistenta la compresiune, rezistenta la intindere si incovoiere,

rezistenta la inghet-dezghet, densitate astfel ca raspunde cerintelor pentru domeniile de utilizare stabilite la punctul anterior.

a₂) Condițiile privind avariile se asigură prin armarea cu fibre de oțel care conferă elementelor de beton atât o comportare mai bună la fisurare cât și o capacitate superioară de absorbție a energiei din acțiuni dinamice.

b) Siguranta in exploatare

Siguranta in exploatare este asigurata de epunerea in opera conform prevederilor din Dosarul Tehnic precum si de respectarea calitatii materialelor folosite si de parametrii utilajelor de vibrare si de taiere a rosturilor.

c) Siguranta la foc

Betonul armat cu fibre de oțel face parte din categoria materialelor necombustibile, care nu se aprind, nu ard și nu se carbonizează, clasa C₀.

d) Igiena, sanatatea oamenilor, protectia si refacerea mediului

Materialele componente ale betonului armat cu fibre de oțel nu conțin substanțe poluante sau deseuri toxice și nu afectează sănătatea oamenilor sau a mediului înconjurător.

e) Izolatia termica si economia de energie

Betonul armat cu fibre de oțel se utilizează la platforme industriale sau la drumuri și nu necesită izolație termică.

e) Protectia impotriva zgomotului

Platformele interioare la care se folosește betonul armat cu fibre de oțel asigură, prin dispunerea și alcatuirea straturilor componente, o bună izolație fonică.

Ținând seama de cele prezentate rezultă că, sub aspectul cerințelor Legii nr.10/1995 privind calitatea în construcții și a Legii nr. 137/1995 privind protecția mediului, betonul armat cu fibre de oțel prezintă rezistență și stabilitate corespunzătoare acțiunii sarcinilor statice și dinamice, siguranță în exploatare, caracteristici bune de izolare termică și fonică, precum și caracteristici de comportare la foc corespunzătoare domeniului acceptat (detaliat în Dosarul Tehnic) și nu poluează mediul înconjurător.

Durabilitatea si intretinerea

Betonul armat cu fibre de oțel este un material cu durabilitate ridicată, caracteristică conferită atât de prezența fibrelor de oțel care-i îmbunătățesc comportarea la fisurare și la acțiuni dinamice, cât și prin utilizarea

superplastifiantului care contribuie la cresterea rezistentelor mecanice si rezistentei la inghet-dezghet si la reducerea absorbtiei de apa. Betonul armat cu fibre de otel folosit la platforme industriale nu necesita o intretinere speciala.

Fabricatia si controlul

Realizarea platformelor industriale prin folosirea betonului armat cu fibre de otel se face printr-un flux de fabricatie care cuprinde etape delimitate si clar precizate de: amestecare, transport, turnare, comportare si tratare ulterioara.

Calitatea produsului finit se controleaza continuu de catre producator.

In vederea asigurarii constantei calitatii produsului se va urmari:

a) Intern unitatii:

Realizarea productiei in conformitate cu procedurile grupului de standarde SR-150 9000 sau in conformitate cu prevederile actelor normative echivalente din tara de origine.

b) Extern unitatii:

Obtinerea unei forme de certificare recunoscuta pentru sisteme si produse.

Punerea in opera

Punerea in opera se realizeaza fie prin pompare fie prin turnare directa, consistenta betonului alegandu-se in mod corespunzator. Compactarea se realizeaza atat cu vibratoare de interior cat si cu grinda vibranta pentru nivelarea suprafetei. Rosturile de lucru si de contractie sunt dispuse astfel incat sa se obtina dale de circa 5x5 m. La cateva ore dupa turnare, in betonul intarit se realizeaza rosturile de contractie.

Caietul de prescriptii tehnice

Conditii de conceptie

Materialele componente ale betonului armat cu fibre de otel trebuie sa respecte prevederile standardelor si ale normelor in vigoare. De asemenea, se va tine seama de documentatia tehnica a firmei producatoare precum si de urmatoarele norme: SR 388/1 (EN 1971) pentru tipul de ciment; NE 012-99 pentru executia lucrarilor din beton si beton armat; STAS 4606/80 si STAS 1667/76 pentru agregate; normele proprii privind fibrele de otel si superplastifiantele folosite.

Conditii de fabricare

Betonul armat cu fibre de otel se executa dupa o tehnologie moderna cu un proces de fabricatie mecanizat si cu un control continuu al calitatii.

Conditii de livrare

La livrare produsul trebuie sa fie insotit de declaratia de conformitate a furnizorului, cu agrementul tehnic elaborat pentru aceasta potrivit standardului SR EN 45014.

Dosarul tehnic

Descriere

Principii

Betonul cu fibre de otel pentru platforme industriale, care face obiectul prezentului agrement tehnic, este un beton special caracterizat printr-o comportare mai buna fata de un beton obisnuit, la fisurare si la actiuni dinamice datorita ductilitatii sporite pe care o are. In scopul realizarii platformelor industriale, betonul se toarna continuu peste stratul suport dupa care se executa rosturile de contractie si apoi stratul superior de uzura.

Elementele componente primare

Compozitia obisnuita a unui beton armat cu fibre de otel este:

- ciment portland cu un dozaj de 380-400 kg/m³;
- agregate de rau 0/31 mm;
- fibre speciale de otel, import Austria, de 50 mm lungime cu un dozaj de 30 kg/m³;
- superplastifiant indigen "Fortera" in cantitate de 6 l/m³ si un raport apa/ciment de 0,42-0,44.

Elementele

Tipul de beton cu fibre de otel si dozajul de materiale componente vor fi alese in functie de performantele care se cer pentru platforma sau drumul unde se utilizeaza.

Fabricarea

Betonul cu fibre de otel se fabrica in statii de betoane cu dozare automata a materialelor componente. Atat fibrele de otel cat si aditivul sunt introduse in cupa betonierei odata cu celelalte materiale componente; pe durata transportului pana la locul de punere in opera se va asigura o amestecare continua a betonului proaspat.

Punerea in opera

Punerea in opera se realizeaza, pentru cazurile curente, prin turnare directa peste folia de polietilena care acopera stratul suport. Compactarea si nivelarea

suprafetei platformei se fac atat cu vibratoare de interior cat si cu grinzi vibrante care ruleaza pe sine fixate la rosturile de turnare. Pentru asigurarea unei suprafete netede si plane peste betonul turnat se realizeaza un strat de finisaj. Rosturile de contractie se fac dupa cateva ore de la turnarea betonului cu masini speciale cu disc.

Intretinere si reparatii

Pentru pastrarea performantelor betonului armat cu fibre de otel pentru platforme industriale, in conformitate cu conditiile din proiect, este necesara intretinerea sau repararea lor atunci cand apare aceasta necesitate. Interventiile se realizeaza ca si in cazul platformelor industriale din beton armat in functie de degradarile survenite.

Rezultate experimentale

Caracteristicile fizice si mecanice ale betonului armat cu fibre de otel realizat de S.C. EUROCONSTRUCT S.A. la firma "Solectron" Timisoara au fost determinate prin incercarile de laborator si sunt prezentate in tabelul 2.4.50.

Nr crt	Caracteristica	Unitatea de masura	Nivel de performanta admisibil	Valoarea determinata	Metoda de determinare	Executant
1	Rezistenta la compresiune	N/mm ²	40,00	46,95	STAS 1275-88	INCERC Timisoara si Euroconstruct Timisoara
2	Rezistenta la incovoiere	N/mm ²	2,71	5,59	STAS 1275-88	
3	Densitatea aparenta	Kg/m ³	2400	2418	STAS 1275-88	
4	Tasarea	cm	5-6	7,29	STAS 1759-80	
5	Absorbtia de apa	%	max 7	2,42	STAS 451-86	

Tabel 2.4.50

Referinte

Betonul armat cu fibre de otel pentru platforme industriale este aplicat pe scara larga in majoritatea tarilor.

Punerea in opera a betonului cu fibre de otel se realizeaza fie prin pompare fie prin turnare directa, fapt pentru care se dirijeaza corespunzator consistenta betonului. Compactarea se realizeaza atat cu vibratoare de interior cat si cu grinda vibrata pentru nivelarea suprafetei.

Rosturile de lucru si de contractie sunt dispuse astfel incat rezulta dale de circa 5x5 m. Taierea rosturilor de contractie se face pe betonul intarit la circa 12 ore dupa turnare cu un utilaj specific.

Betonul cu fibre de otel se poate utiliza, printre altele, la realizarea platformelor din interiorul sau exteriorul halelor de productie sau la drumuri. Principalul avantaj tehnic il reprezinta comportarea mai buna la fisurare si la actiuni dinamice datorita ductilitatii sporite pe care o are.

Un alt tip de fibra utilizata la armarea betoanelor este microfibra din polipropilena Grace Microfiber, produs al firmei Grace Construction Products.

Grace Microfiber este o fibra sintetica din polipropilena pura 100%, sub forma de microfilament, folosita pentru a reduce puternic fisurile provocate de contractia plastica a betoanelor.

Un kg de microfibra Grace contine peste 100 milioane de microfilamente, ceea ce reprezinta de 25 de ori mai mult decat intr-un kg de fibre traditionale.

Grace Microfiber este rezistenta la alcalii, are absorbtie nula si nu este coroziva.

Grace Microfiber contribuie la cresterea rezistentei betonului in momentele de maxima sensibilitate- primele 24 h dupa punerea in opera- protejandu-l de aparitia fisurilor superficiale datorate contractiei.

Aplicatii

Grace Microfiber se utilizeaza la:

- pardoseli industriale pentru constructii civice si rezidentiale;
- fundatii;
- trotuare stradale din beton;
- mortare speciale (pentru restaurari);
- elemente prefabricate, rezervoare hidraulice, conducte si tuburi;
- instalatii de epurare;
- galerii impermeabile;
- betoane usoare, tencuieli, reacoperiri.

Grace Microfiber asigura un control asupra contractiei in perioada de intarire primara si poate asigura controlul si in perioada de intarire secundara inlocuind cu succes utilizarea resurselor metalice, ceea ce invers nu e valabil.

In paralel cu utilizarea de Grace Microfiber trebuie ca substratul sa fie bine pregatit, rosturile de dilatare sa fie corect positionate, betonul corect maturat (de exemplu cu ajutorul produselor filmogene antievaporante de tip Darakote).

Este important ca fluidizantii si superfluidizantii utilizati sa fie cei adecvati (ex.: Daracem).

Avantaje

Numarul ridicat de fibre introduse in masa betonului cu Grace Microfiber asigura un control asupra contractiei in faza de intarire secundara, reducand orice forma de contractie plastica, protejand betonul in faza in care rezistenta la tractiune a acestuia este minima.

Daca nu s-ar utiliza aceste fibre, fisurile provocate de contractia plastica impreuna cu alte tensiuni din interiorul betonului ar putea afecta betonul lasandu-l perceptibil la atacul ionilor agresivi de cloruri, sulfati etc.

Utilizand aceste fibre permeabilitatea betonului scade iar rezistenta la lovitura si indicele de tractiune cresc.

Utilizare

Produsul este extrem de simplu de utilizat deoarece se adauga direct in betoniere sau in container. Daca se introduce Grace Microfiber in amestec si se amesteca bine cu viteza mare, se obtine o perfecta distribuire a fibrelor in interiorul amestecului rezultand un beton gata pentru a fi utilizat.

Proprietati

- lungime: 19 mm;
- greutate specifica: 0,91;
- absorbtie: 0;
- modul de elasticitate: 3,5 kN/mm²;
- punct de fuziune: 160⁰C;
- punct de aprindere: 590⁰C;
- rezistenta la alcalii, acizi, saruri: crescuta.

Compatibilitatea cu alti aditivi

Grace Microfiber sunt compatibile cu toti aditivii Grace pentru betoane. Fiecare aditiv trebuie introdus separat in beton. Se recomanda utilizarea in asociatie cu fluidizantul WRDA sau cu superfluidizantul Daracem.

Actiunea lui Grace Microfiber in beton este pur mecanica si nu are nici un efect asupra procesului de hidratare .

Dozaj

Dozajul recomandat este de 0,5-1,8 kg/m³ de beton. In marea majoritate a cazurilor rezultate bune se pot obtine daca folosim 600 g Grace Microfiber (echivalentul a unui sac /m³).

Capitolul III

3.1 Introducere

Traversele prefabricate de beton precomprimat, cu armatura preantinsa si ancorare prin aderenta sunt folosite la cai ferate normale si la cai ferate industriale cu ecartament normal.

Armarea, valoarea fortei de control si pierderile de tensiune tehnologice se stabilesc prin proiectul de executie specific fiecarui tip de traversa.

3.2 Clasificari

Funcție de dimensiuni, de pozitionarea diblurilor si de armare, traversele pentru cai ferate normale se executa in urmatoarele tipuri [56]:

T₁₃- K
T₁₃- E₂
T₁₇- K
T₁₇- E₂

Funcție de abaterile dimensionale, de abaterile de la rezistente si de aspect, traversele pentru cai ferate normale se sorteaza in urmatoarele categorii:

A B

Traversele pentru cai ferate industriale se executa in urmatoarele tipuri[57]:

T_s13
T_sI
T_I
T_{cc}40
T_{cc}49

Pentru cai ferate industriale cu convoaie tehnologice se executa urmatoarele tipuri[57]:

TIM 49
TIMC 49
TIM 60
TIMC 60

3.3. Forme si dimensiuni

Formele si dimensiunile traverselor pentru cai ferate normale si industriale sunt redade in figurile 3.3.1-3.3.7, unde dimensiunile sunt date in milimetri:

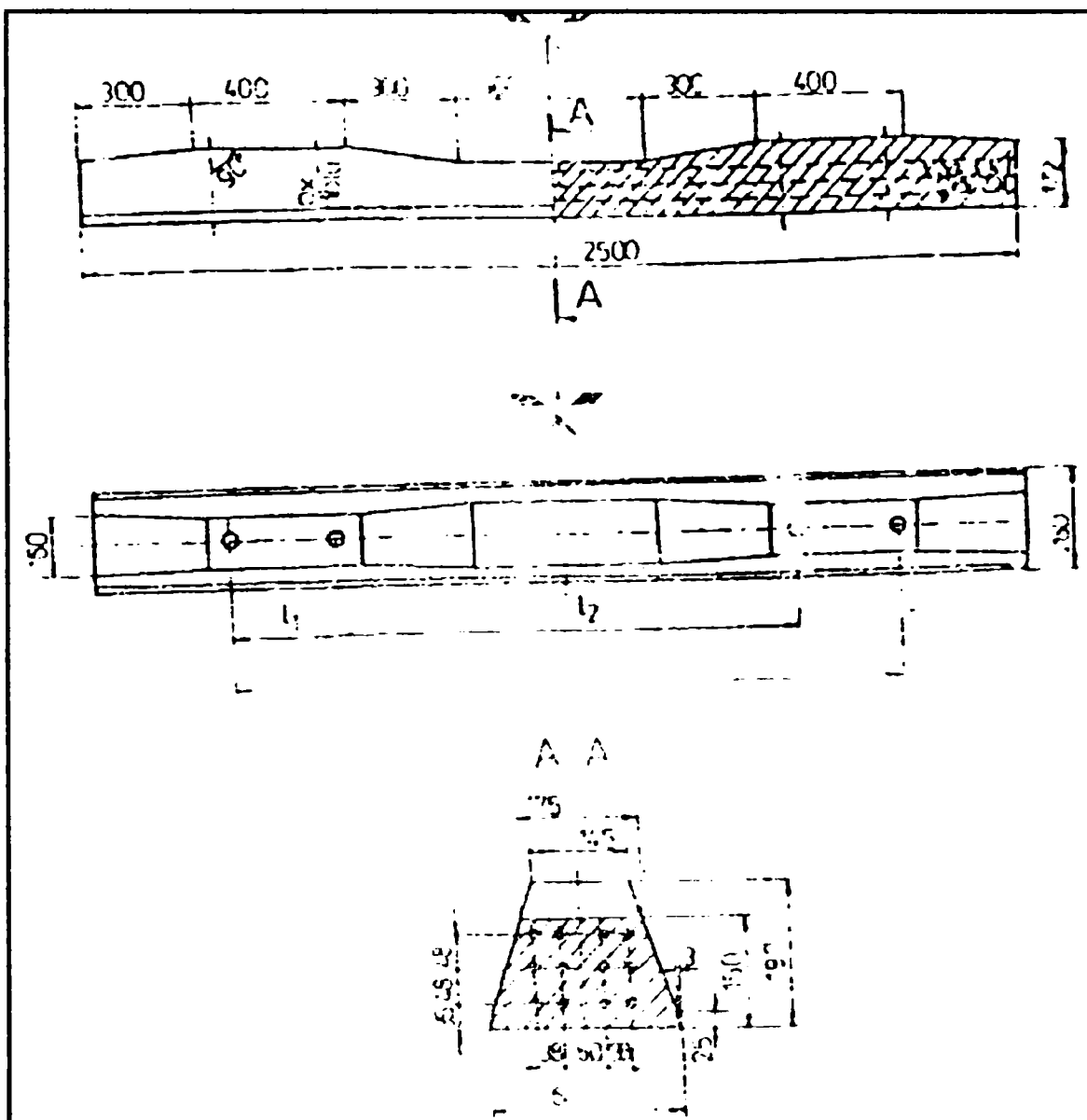


Figura 3.3.1.
Forma si dimensiunile traversei tip T₁₃-K

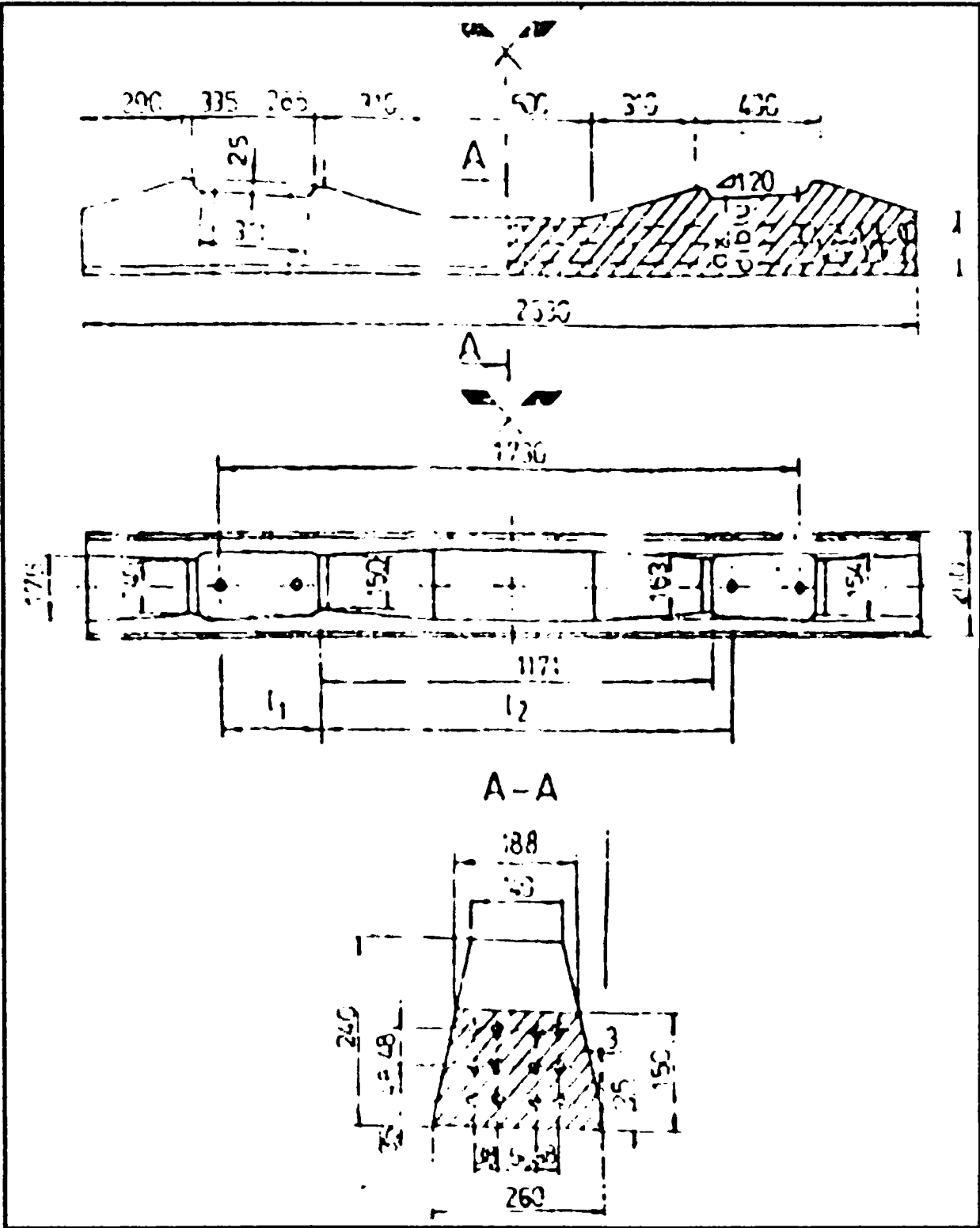


Figura 3.3.2
 Forma si dimensiunile traversei T₁₃- E₂

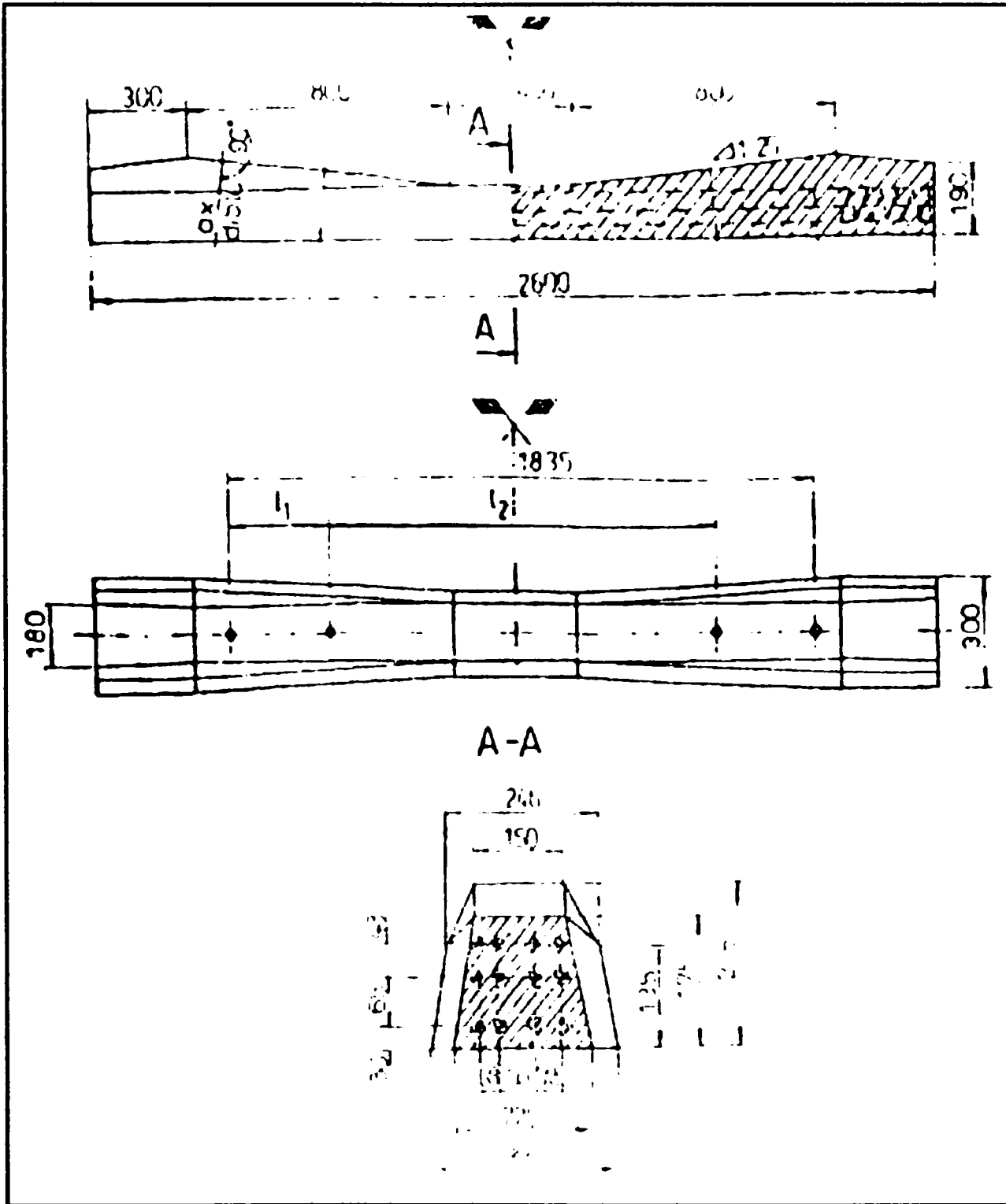


Figura 3.3.3
Forma si dimensiunile traversei tip T_{17-K}

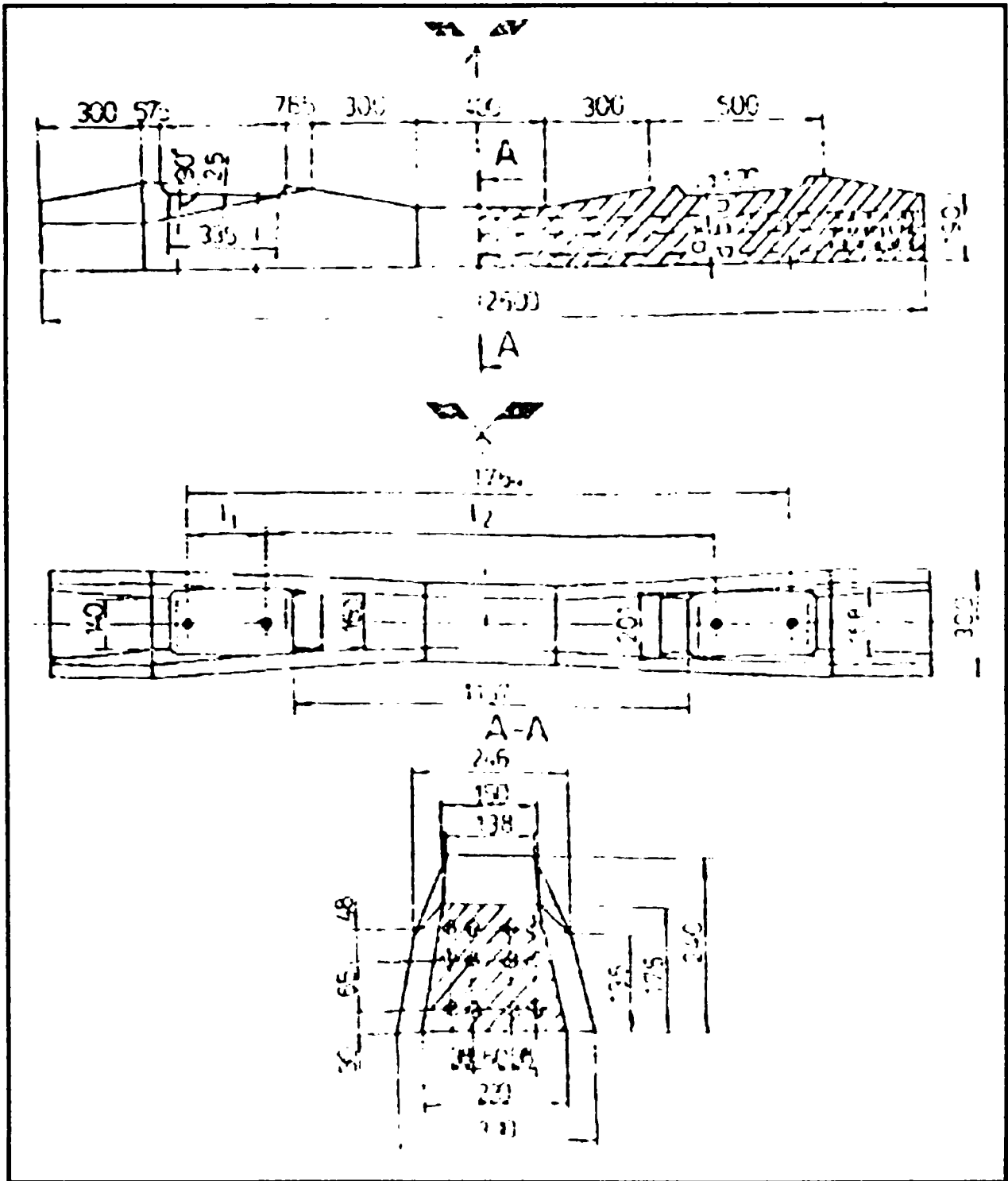


Figura 3.3.4
Forma si dimensiunile traversei tip T_{17-E_2}

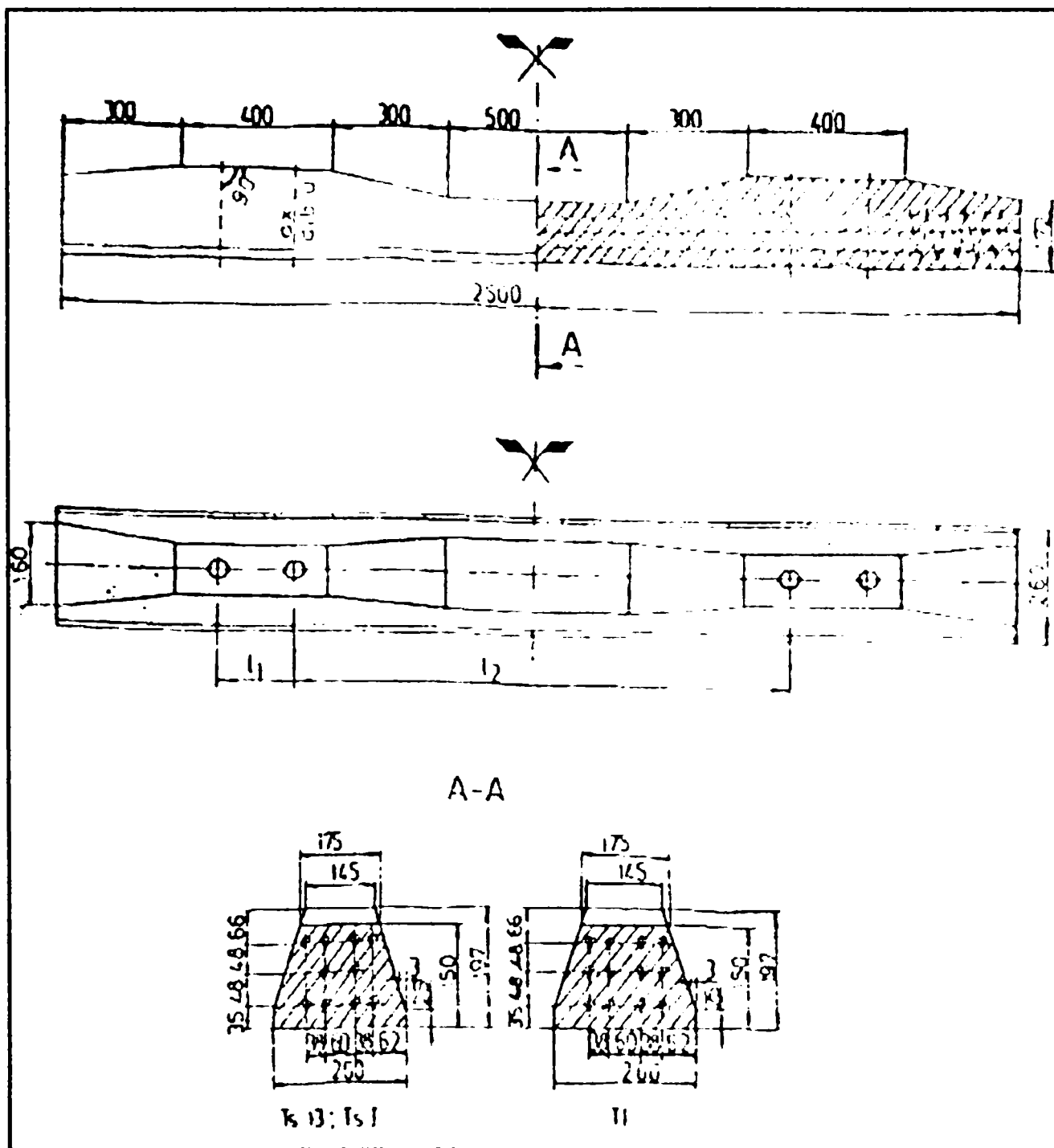


Figura 3.3.5
Forma si dimensiunile traverselor tip T_s13, T_sI si TI

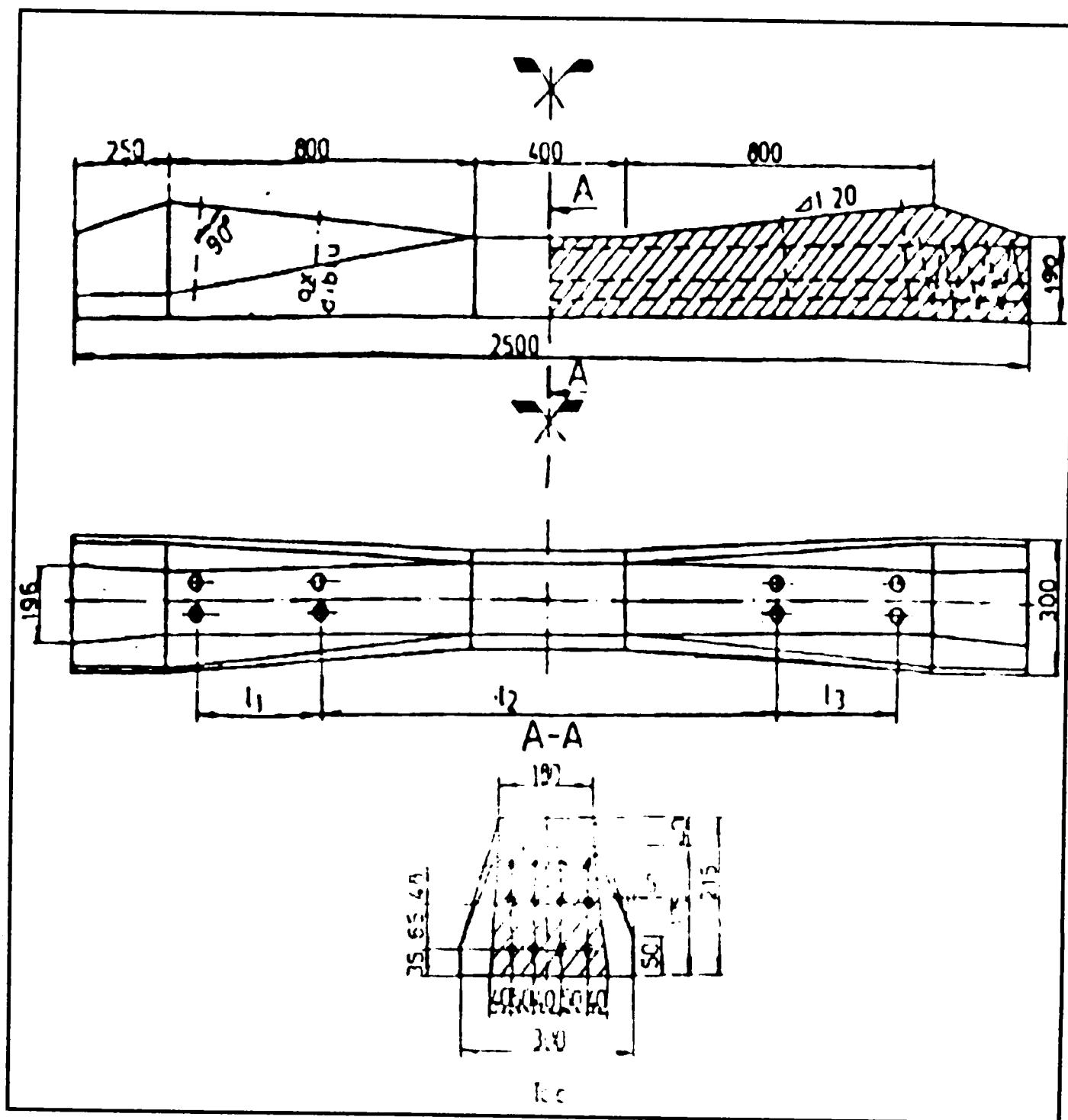


Figura 3.3.6
Forma si dimensiunile traverselor tip Tcc 40 si Tcc 49

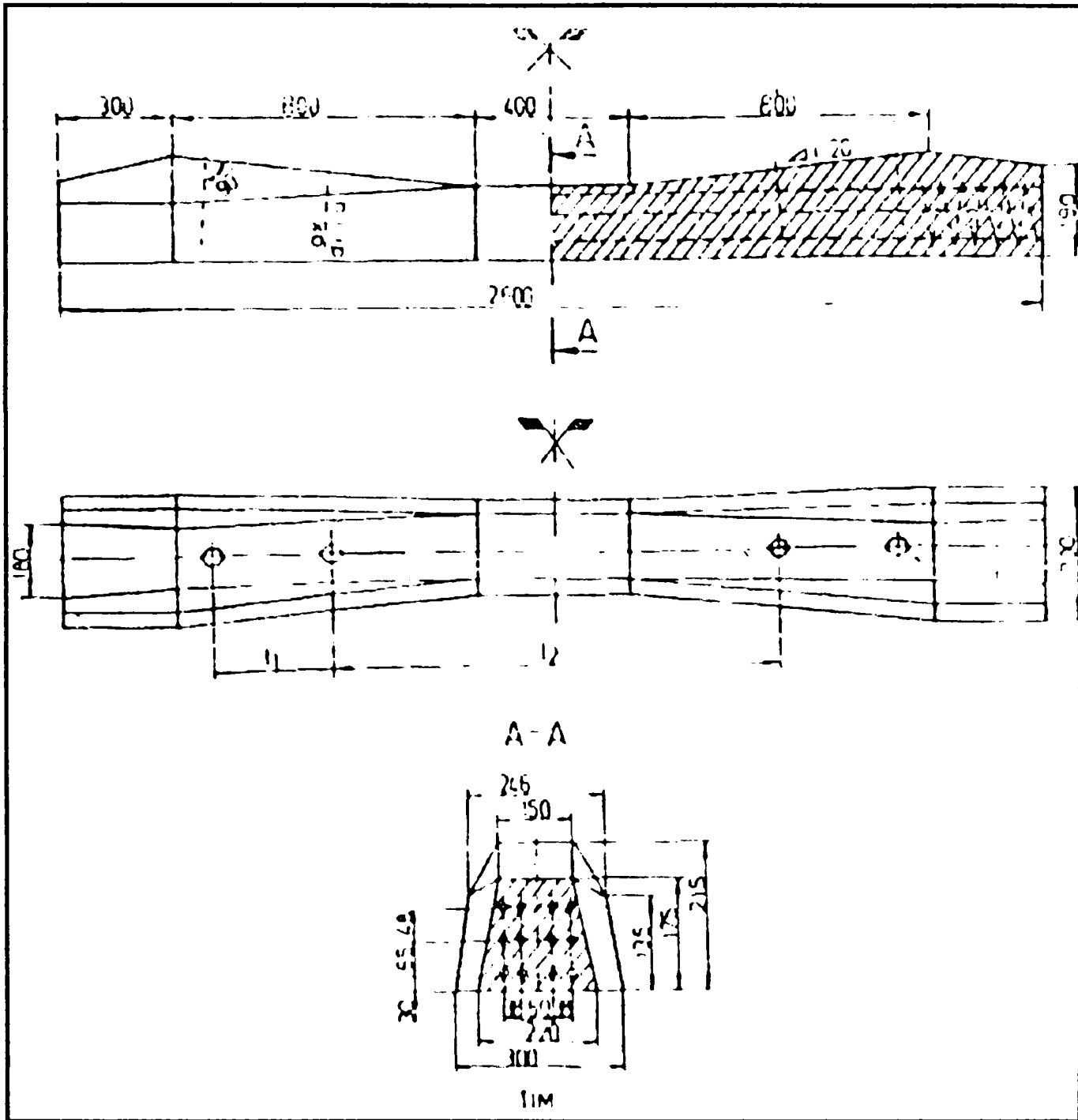


Figura 3.3.7
 Forma si dimensiunile traverselor
 TIM 49, TIMC 49, TIM 60 SI TIMC 60

3.4. Prevederi de baza pentru realizarea traverselor de cale ferata normala si industriala

3.4.1. Realizarea betonului de calitate prevazut in STAS 8116/1,2-88 si a practicii curente ale constructiilor de cai ferate.

Pentru realizarea unui beton de marca B600 sunt prevazute urmatoarele materiale:

- ciment care sa asigure realizarea marcii B600; STAS SR 388-95;
- agregate naturale grele pentru betoane, STAS 1667-80;
- criblura, STAS 667-97;
- sarma din otel pentru beton precomprimat, STAS 6482/4-80;
- sarma rotunda de uz general trefilata din otel pentru frete STAS 889-80;
- apa pentru betoane, STAS 790-84;
- dibluri din lemn creozotat, STAS 9528/2-86;
- dibluri B5 de polietilena, conform prescriptiilor legale in vigoare.

Betonul de marca B600 este echivalent cu betonul de clasa Bc50 [55].

Pentru betonul de clasa Bc50 se admite rezistenta minima admisibila [55]:

$$R_{ad}^{\min} \geq 45.5 \text{ N/mm}^2$$

iar rezistenta medie admisibila:

$$\overline{R_{ad}} \geq 56 \text{ N/mm}^2.$$

De asemeni se prevede ca rezistentele efective sa nu fie mai mici de 57N/mm^2 la 28 de zile si de 40N/mm^2 la transfer pentru traversele de categoria A precum si 54N/mm^2 la 28 de zile si 38N/mm^2 la transfer pentru traversele din categoria B [56,57].

Rezistentele minime si medii garantate pentru betoanele de clasa Bc50;Bc60 si Bc70 sunt conform tabelului 3.3.1 [55,58]:

Rezistenta	Clasa betonului (marca)		
	C40/50 (Bc50, B600)	C50/60 (Bc60, B700)	C60/70 (Bc70, B800)
$R_{ad}^{\min}(\text{N/mm}^2)$	45,5	54,5	62,0
$\overline{R_{ad}}(\text{N/mm}^2)$	56	67	78

Tabel 3.3.1.

Pentru a produce traverse de cale ferata conform prevederilor STAS 8116/1,2-88 in conditii de siguranta totala trebuie sa se utilizeze beton de clasa Bc70.

Compozitia de beton propusa conform(3,4,5) este urmatoarea:

Agregate

- de rau: 0-3 si 3-7mm;
- criblura obtinuta prin concasarea rocilor dure de granit, bazalt, andezit bazaltic, granodiorit, etc, cu rezistente de minim 100N/mm² a rocii de baza.

Se vor utiliza sorturile de criblura 8-16 si 16-25mm in proportie de 55-65% din agregatul total.

Compozitia amestecului de agregate trebuie sa se incadreze in tabelul 3.3.2:

Treceri prin site sau ciururi, %		0,2	1	3	7	10	16	20
0-25mm	min.	1	7	16	35	—	55	—
	max.	4	17	26	45	—	70	—
0-20mm	min.	1	7	16	35	50	—	95
	max.	4	17	26	45	65	—	100

Tabel 3.3.2

Se recomanda agregatul total 0-25mm.

Aditivi

Se recomanda aditivi intens reducatori de apa de tipul: superplastifianti VIMC11; FLUBERT care reduc apa de amestecare la prepararea betonului cu 20-25%.

Lianti

Se recomanda cimentul de marca minima 50 avand continutul redus de aluminat tricalcic care asigura durabilitatea foarte buna a traverselor, cu dozaj de ciment 540-580kg/m³.

Beton

Se va prepara beton cu lucrabilitatea L₂ (cu tasarea conului etalon de 1-4cm) sau cu L_{2/3} in cazul folosirii superplastifiantilor. Cantitatea de apa de amestecare va fi de 170-180 l/m³, adica un raport A/C=0,31-0,33.

La calculul apei de amestecare nu se prevede si apa continuta in porii agregatelor concasate (care poate fi de 0,5-1% din volumul agregatelor) (5).

La fabricarea traverselor de cale ferata executate in unitatile cailor ferate se foloseste beton cu rezistente efective la 28 de zile vara si 40 de zile iarna, cuprinse intre 70-75N/mm². Se utilizeaza agregate de rau si criblura de andezit bazaltic.

3.4.2 Realizarea precomprimării traverselor din beton , conform prevederilor STAS 8116/1,2-88.

a) De regula proiectele de executie pentru unele tipuri de traverse prevad numai valoarea fortei de control (sau efortul unitar de control); nu sunt prevazute pierderile de tensiune tehnologica in mod explicit.

Este necesar ca executantul sa solicite completarea proiectului de executie si cu calculul pierderilor de tensiune tehnologice, asa cum prevede STAS 8116/1,12-88 pct.1.1.2 “armarea, valoarea fortei de control si pierderile de tensiune tehnologice se stabilesc prin proiectul de executie specific fiecarui tip de traversa”.

b) Propunere privind reducerea pierderilor de tensiune in faza initiala (la 1/2-1-2 ore) de la tensionare prin retensionare si introducerea de distantieri calibrati intre culeea tiparului si blocaje. Pentru reducerea pierderilor de sarcina in faza initiala de tensionare se folosesc urmatoarele dispozitive:

- un scaun metallic cu dimensiunile de 127x70x25 mm din OL37 prevazut cu doua gauri $\varnothing 16$ si patru picioare din OL37 $\varnothing 16$ cu L=70 mm conform desenului din figura 3.3.8.;

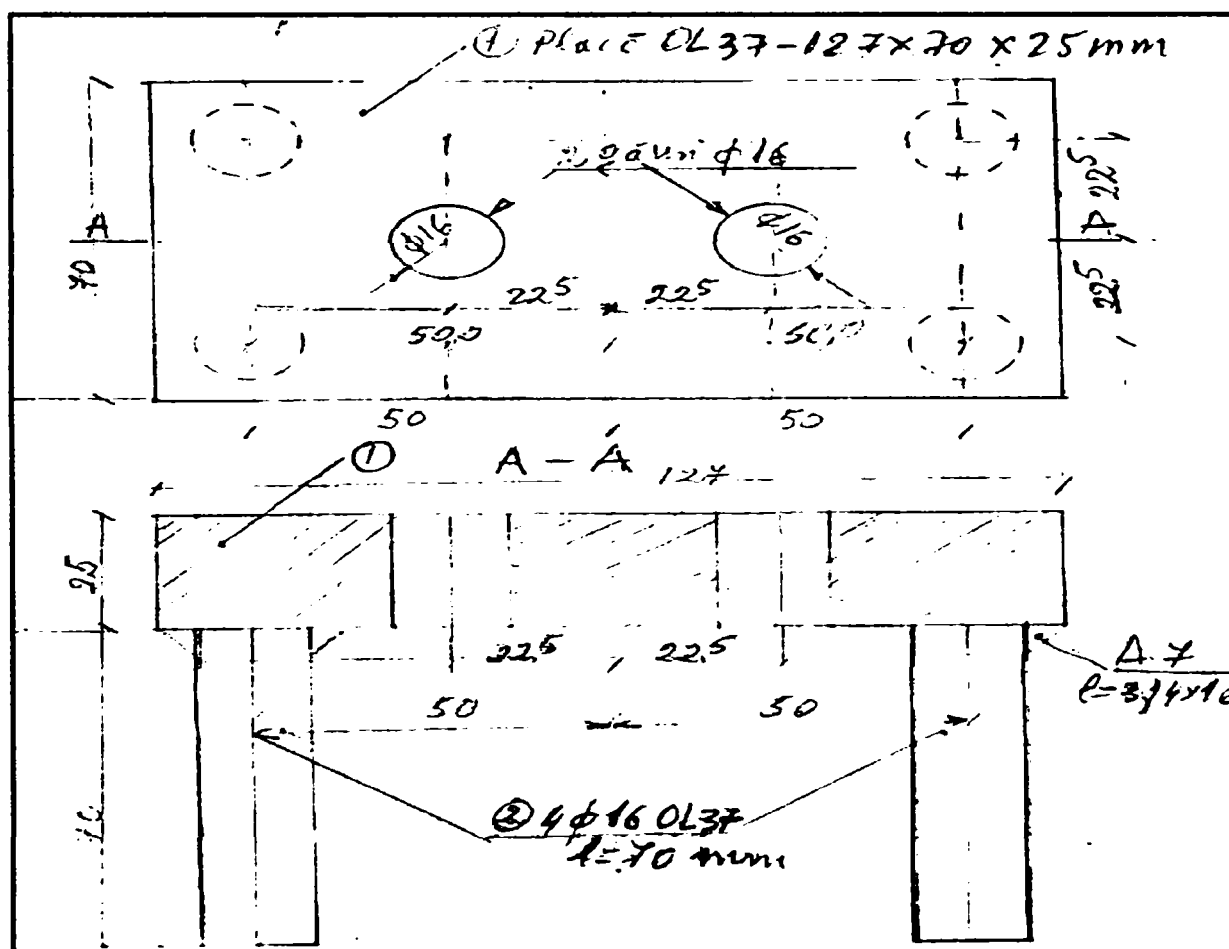


Figura 3.3.8

- un set de 10 distantieri pentru fiecare linie de traverse tensionate. Acesti distantieri se monteaza intre culeea tiparului si blocaje la toate firele dispuse pe perimetrul exterior al traversei, adica 10 distantieri la o traversa. Nu se pot monta distantieri pe cele doua fire de armatura din interiorul traversei din cauza lipsei de acces.

Dimensiunile distantierului sunt conform figurii 3.3.9:

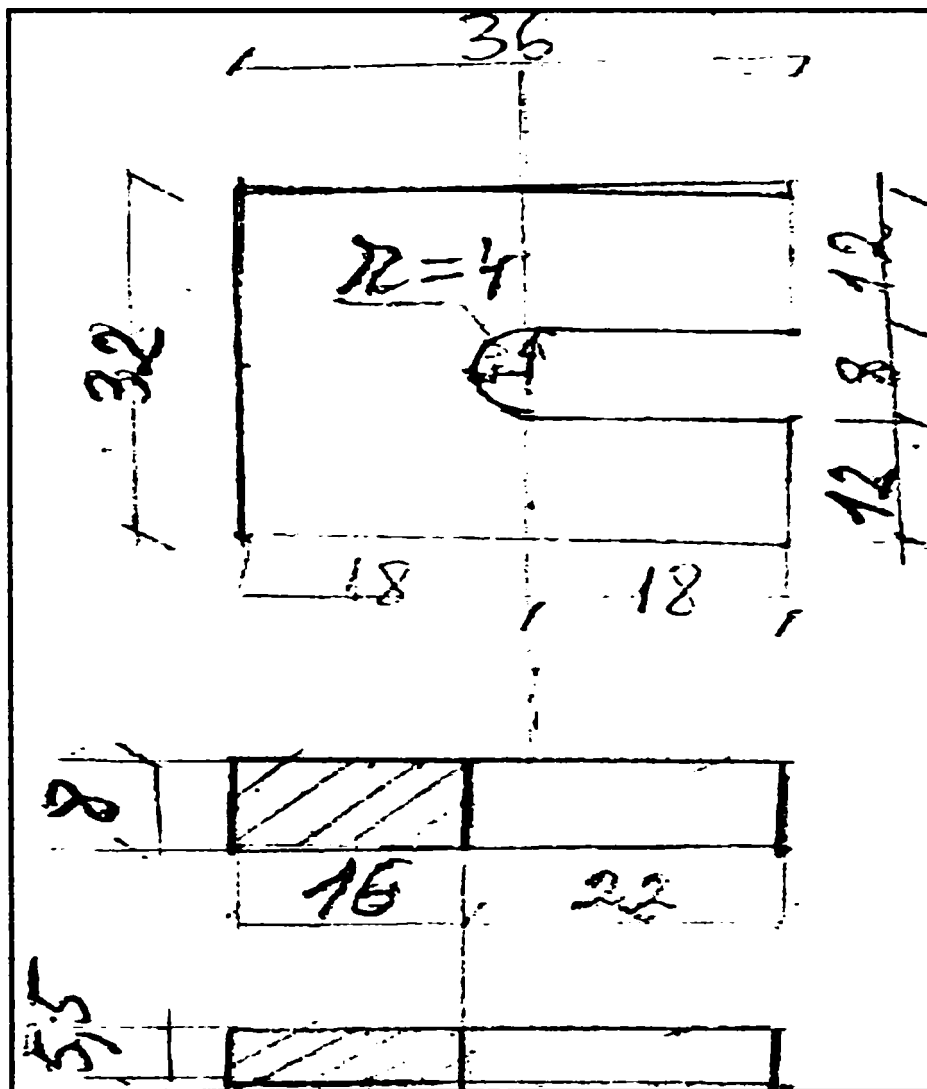


Figura 3.3.9

Grosimea de 8 mm pentru tipare de 10,5 m
(buc= 10 pentru fiecare capat linie traversa)
Grosimea de 5,5 mm pentru tipare de 5,75 m
(buc= 10 pentru fiecare capat linie traversa)

Modul de lucru este urmatorul:

- se monteaza scaunul pe firele deja tensionate (dupa ½- 1ora de la tensionare);
- se aseaza presa de tensionare la cca 20mm fata de scaun si se retensioneaza armatura la presiunea initiala;
- firul retensionat se alungeste cu 10-11mm la tiparul de 10,5m lungime si cu 6-7mm la tiparul de 5,75 m si antreneaza cu el blocajul;
- intre blocaj si culee se introduce distantierul de 8 sau 5,5 mm grosime, in functie de grosimea tiparului;
- se detensioneaza si se reia operatia pentru fiecare fir in parte.

Reducerea pierderilor de tensiune in faza initiala este:

- pentru tiparul autoportant de 10,5 m totalul pierderilor de tensiune este de 355dN/fir 3Ø3. Pentru 12 fire pierderea este de 4250 dN.

Prin introducerea distantierului de 8mm intre culeea tiparului si blocaj se introduceo forta suplimentara in fir de 300dN. Pentru 10 fire rezulta o forta de 3000 dN care se recupereaza la fiecare traversa.

Fora totala dupa blocare intr-o traversa este:

$$F_{bl} = 2750dN \times 12 = 33000dN \text{ la care se adauga } 300dN \times 10 = 3000dN$$

deci in total 36000dN; se recupereaza 70% din pierderile initiale.

- pentru tiparul autoportant de 5,73 m totalul pierderilor de tensiune in faza initiala este de 470dN/fir si cca 5640dN pentru 12 fire.

Prin utilizarea distantierului de 5,5mm grosime se recupereaza o forta de 370dN/fir, iar pentru 10 fire 3700dN, adica 66% din total pierderi.

Fora totala dintr-o traversa dupa blocare este:

$$\begin{array}{r} 2650 \times 12 = 32000dN + \\ 370 \times 10 = 3700dN \\ \hline \text{Total} \quad 35700dN \end{array}$$

3.4.3. Verificarea la incovoiere statica a traverselor

Valorile de control ale fortelor de incovoiere statica sunt conform STAS 8116/1,2-88 tab.3, pct.2.4.2. pentru traversele standardizate si conform prevederilor din proiectele de executie pentru traversele nestandardizate.

Loturile se constituie din traverse de acelasi tip si categorie , executate cu aceeasi tehnologie in aceeasi zi (cap.3, pct.3.2 din STAS 8116/1,2-88).

Verificarea de incovoiere statica, conform pct.3.3.4 STAS 8116-88 se face pe:

- doua (una) traverse pentru loturile pana la 280 buc;
- trei (doua) traverse pentru loturile de la 281 la 800 buc;
- patru (trei) traverse pentru loturile peste 800 buc;

Cifrele din paranteza reprezinta numarul de traverse cand incercarea se face la rupere.

In cazul in care o singura traversa nu a corespuns, verificarea se repeta pe un numar dublu de traverse.

In cazul in care o singura traversa din proba suplimentara nu a corespuns, lotul se verifica cu aparatura electronica bucata cu bucata.

Metodologia de incercare este data la punctul 4.5, alin.4.5.2 si 4.5.3 din STAS 8116/1,2-88.

3.4.4. Evitarea despiciii la capete a traverselor la montarea tirfoarelor

In practica se observa un numar relativ mare de traverse despicate la capete in axul longitudinal dupa montarea tirfoanelor.

Cauzele acestui fenomen ar putea fi:

- din conceptie: necorelarea la proiectare a dimensiunilor diblurilor cu a tirfoanelor, astfel incat acestea din urma, avand dimensiuni mai mari (in diametru) decat cele necesare, prinderii corecte a caili, exercita la montaj o presiune foarte mare asupra betonului (efectul de pana), care cedeaza la eforturile de intindere de la capetele traverselor in axul longitudinal;

- la executie: montarea diblurilor in tipare cu abateri mai mari decat cele prevazute in proiect (in special abateri fata de pozitia verticala).

Datorita acestor abateri, la montarea sinei si strangerii tirfoarelor, apar presiuni mai mari decat cele admise in beton, ceea ce duce la fisurarea acestuia.

3.5. Incercari experimentale asupra unor elemente prefabricate din beton precomprimat – traverse din beton precomprimat

In laboratorul catedrei CCIA al facultatii de constructii Timisoara, s-a efectuat incercarea a doua traverse T17-K, proiect nr.86330 ICPTT INCERTRANS, in scopul verificarii, in raport cu parametrii de control prevazuti de STAS 8116/1-88.

Incarcarile s-au condus pe baza prevederilor STAS 8116/1-88 verificandu-se capacitatea portanta la incovoiere statica, momentul aparitiei fisurilor si incercare la blochet.

Valorile minime ale incarcaturilor, la care trebuie sa reziste traversele, la incercarea la incovoiere statica pana la fisurare si rupere, date in STAS 8116/1-88 sunt reprezentate in tabelul 3.5.1:

Tipul traversei	Locul de aplicare a incercarii			
	PE BLOCHET		PE MIJLOC	
	Valorile minime ale incercarii (KN) la			
	fisurare	rupere	fisurare	rupere
T 17-K	150	248	90	155

Tabel 3.5.1

In conformitate cu STAS 811/1-88, incercarea traverselor s-a facut conform figurii 3.5.1:

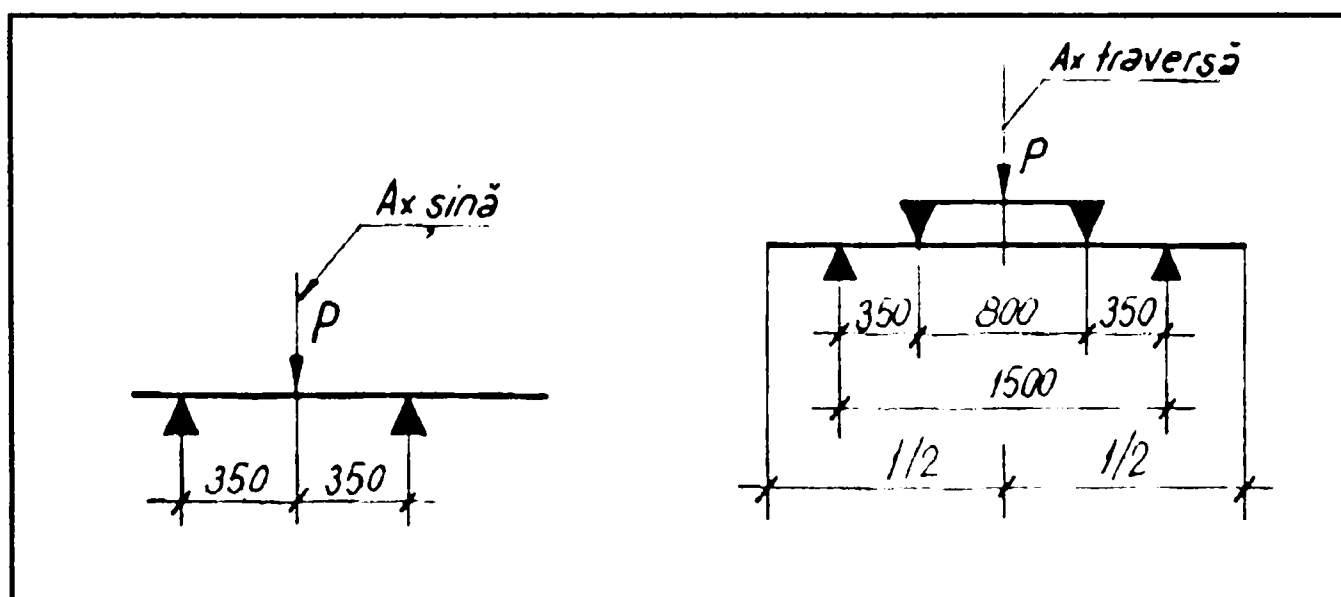


Figura 3.5.1

Pentru incercarea pe blochet, forta P se aplica pe fata superioara a traversei.

Pentru incercarea partii centrale forta P se aplica pe talpa traversei.

Se aseaza pe reazeme, in pozitie normala, pentru incercarea pe blochet si in pozitie rasturnata, pentru incercarea partii centrale, dupa care se pun placile de cauciuc pe traverse, pentru incercarea partii centrale, dupa care se pun placile de cauciuc pe traverse, peste care se plaseaza placile de repartitie a fortei la distantele specificate in figura 3.5.1.

Incercarea se face cu viteza de 2KN/sec. pana la fisurare si/sau rupere.

In urma incercarii au rezultat urmatoarele valori, prezentate comparativ cu valorile de control, in tabelul 3.5.2:

Nr. Trav.	Valori obtinute experimental (KN)				Valori de control (KN)			
	Pe blochet		Pe mijloc		Pe blochet		Pe mijloc	
	fisurare	rupere	fisurare	rupere	fisurare	rupere	fisurare	rupere
1	145	290	80	192	150	248	90	155
2	120	267	80	160	150	248	90	155

Tabel 3.5.2

Din analiza datelor din tabel rezulta o comportare necorespunzatoare a traverselor incercate, la fisurare, iar la rupere se considera comportare corespunzatoare.

Avand in vedere comportarea necorespunzatoare la fisurare a traverselor, s-a considerat necesar a se determina prin calcul valoarea fortei de fisurare pe baza caracteristicilor geometrice si de armare ale traverselor incercate.

Calculul fortei de fisurare.

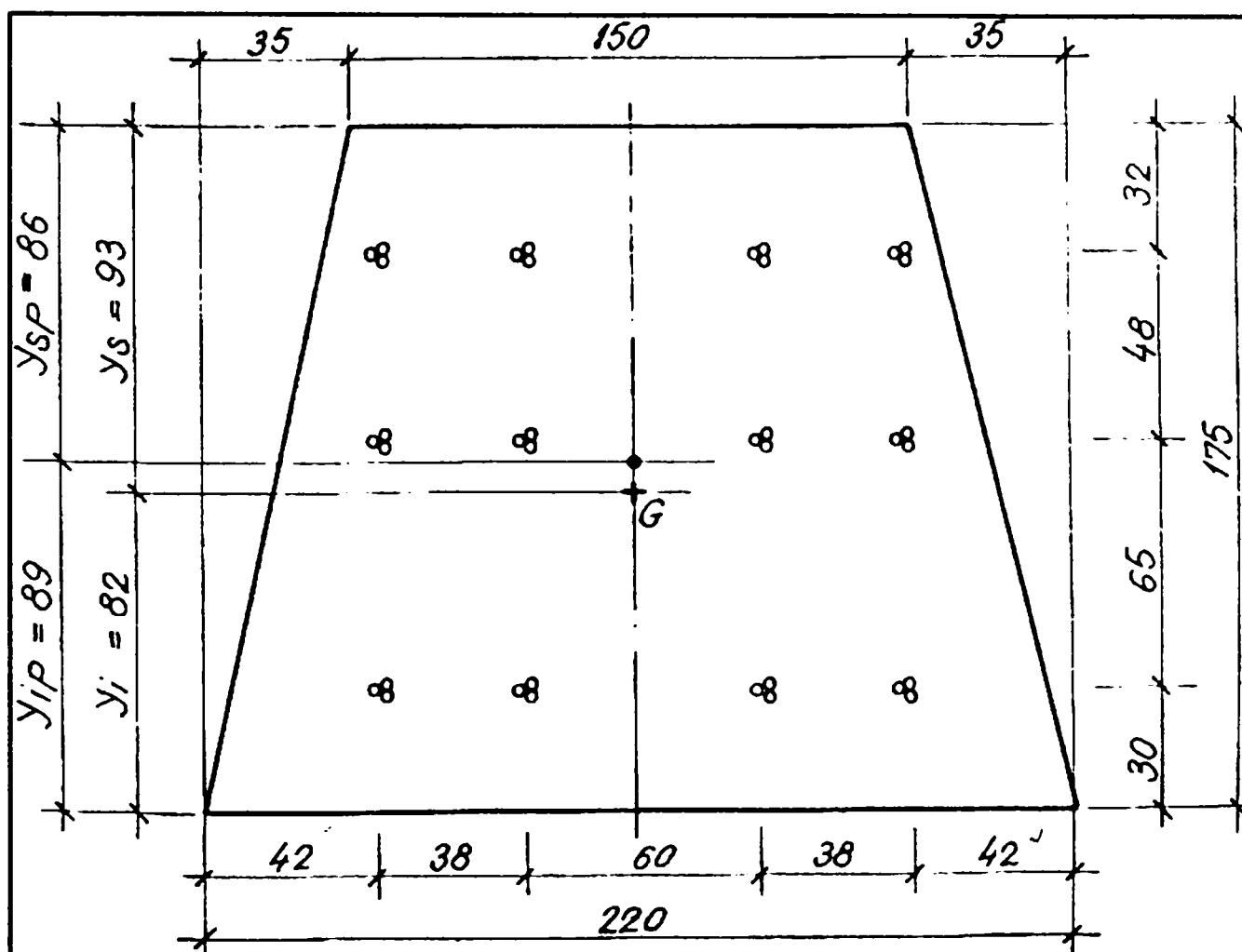


Figura 3.5.2

Armatura pretensionata LBP 12 x 3 \varnothing 3mm

$$R_p = 1490\text{N/mm}^2\text{SBPI} \quad R_{pk} = 1860\text{N/mm}^2\text{SBPI}$$

Beton clasa Bc 50(marca B600)

$$R_{ck} = 38,5\text{N/mm}^2, R_c = 26,5\text{N/mm}^2, R_{tk} = 2,51\text{N/mm}^2, R_t = 1,65\text{N/mm}^2$$

Aria sectiunii transversale de beton:

$$A_b = 15 \times 17,5 + 2 \times (3,5 \times 17,5) / 2 = 262,5 + 61,25 = 323,75 \text{ cm}^2$$

Aria armaturii pretensionate:

$$A_p = 12 \times 3 \times 0,071 = 2,556 \text{ cm}^2$$

Centrul de greutate al sectiunii de beton:

$$y_i = 8,2 \text{ cm}$$

$$y_s = 17,5 - 6,2 = 9,3 \text{ cm}$$

Centrul de greutate al armaturii pretensionate:

$$y_{ip} = (4 \times 0,213 \times 3 + 4 \times 0,213 \times 9,5 + 4 \times 0,213 \times 14,3) / (3 \times 4 \times 0,213) = 8,9 \text{ cm}$$

$$y_{sp} = 17,5 - 8,9 = 8,6 \text{ cm}$$

Forța de precomprimare de control 35,5t

Efortul unitar de control: σ_{pk}

$$\sigma_{pk} = N_{pk} / A_p = 35500 / 2,556 = 13888,888 \text{ dN/cm}^2$$

$$\sigma_{pk} \leq R_p$$

$$R_p = 14900 \text{ dN/cm}^2 \quad R_{pk} = 18600 \text{ dN/cm}^2 \quad \text{SBPI, } \varnothing 3 \text{ mm}$$

$$E_b = 1800000 \text{ dN/cm}^2 \text{ pentru lite.}$$

Pierderile de tensiune în armatura pretensionată:

- Efectul tratamentului termic:

$$\Delta \sigma_t = 12,5 \times 55 = 687,5 \text{ dN/cm}^2$$

- Lunecări și deformații în ancoraje:

$$\Delta \sigma_\lambda = (\lambda_1 + \lambda_2) / L_p \times E_p = (0,4 + 0) / 700 \times 1800000 = 1028,6 \text{ dN/cm}^2$$

$$L_p = 7,00 \text{ m}$$

- Întinderi succesive:

$$\Delta \sigma_s = (n-1) / 2n \times n_t \times \sigma_{tp}$$

$$n = 12$$

$$n_t = E_p / E_b \times E_t$$

$$\Delta \sigma_s = 500 \text{ dN/cm}^2$$

- Relaxarea armaturii:

$$\Delta \sigma_r = \Delta \sigma_{ri} + \eta_r (\Delta \sigma_r - \Delta \sigma_{ri}) (1 - \Delta \sigma_\phi / \sigma_{po})$$

$$\Delta \sigma_{r\infty} = \rho \sigma_{po}^*$$

$$\sigma_{po}^* = \sigma_{pk} - \Delta \sigma_\lambda - \Delta \sigma_r - \Delta \sigma_s$$

$$\rho = \Delta \sigma_{r\infty} / \sigma_{po}^* \quad \Delta \sigma_{ri} = k_{rto} \times \Delta \sigma_{r\infty}$$

$$k_{rto} = 0,73 \text{ la } 42 \text{ zile}$$

$$k_{rto} = 0,79 \text{ la } 90 \text{ zile}$$

$$\sigma_{pk} = 13888,888 \text{ dN/cm}^2$$

$$\sigma_{po}^* = 13888,888 - 1028,6 - 500 = 12360,288 \text{ dN/cm}^2$$

$$\sigma_{po}^* / R_{pk} = 12360,288 / 18600 = 0,665 \text{ pentru care din STAS 1010 - 90}$$

$$\rho = \Delta \sigma_{r\infty} / \sigma_{po}^* = 9\%$$

$$\Delta \sigma_{r\infty} = 0,09 \times \sigma_{po}^* = 0,09 \times 12360,288 = 1112,45 \text{ dN/cm}^2$$

$$\Delta \sigma_{ri} = 0,73 \times 1112,45 = 812,07 \text{dN/cm}^2$$

$$\eta_r = [(\sigma_{po}^* - \Delta \sigma_t - n_p \sigma_{bp}) - 0,5R_{pk}] / (\sigma_{po}^* - 0,5R_{pk})$$

- Curgere lenta si contractie

$$\Delta \sigma_{\bar{\varphi}} = n_p \Sigma \bar{\varphi} \times \sigma_{bpi} \times k'$$

$$k' = 1,0$$

$$n_p = E_p/E_b = 1800000/380000 = 4,74$$

$$\bar{\varphi} = k_1 \times k_2 \times k_3 \times \varphi_0$$

$$\varphi_0 = 2,50 \text{ pentru } B_c 50$$

$$k_1 = 0,70 \quad k_2 = 2,0 \quad k_3 = 1,30$$

$$\bar{\varphi} = 0,70 \times 2,0 \times 1,30 \times 2,5 = 4,55$$

$$\sigma_{bp} = N_p/A_{pi} + N_p x e / I_{bi} \times y_i = 108,467 \text{dN/cm}^2$$

$$\Delta \sigma_{\bar{\varphi}} = 4,47 \times 4,55 \times 108,467 \times 1,0 = 2339,308 \text{dN/cm}^2$$

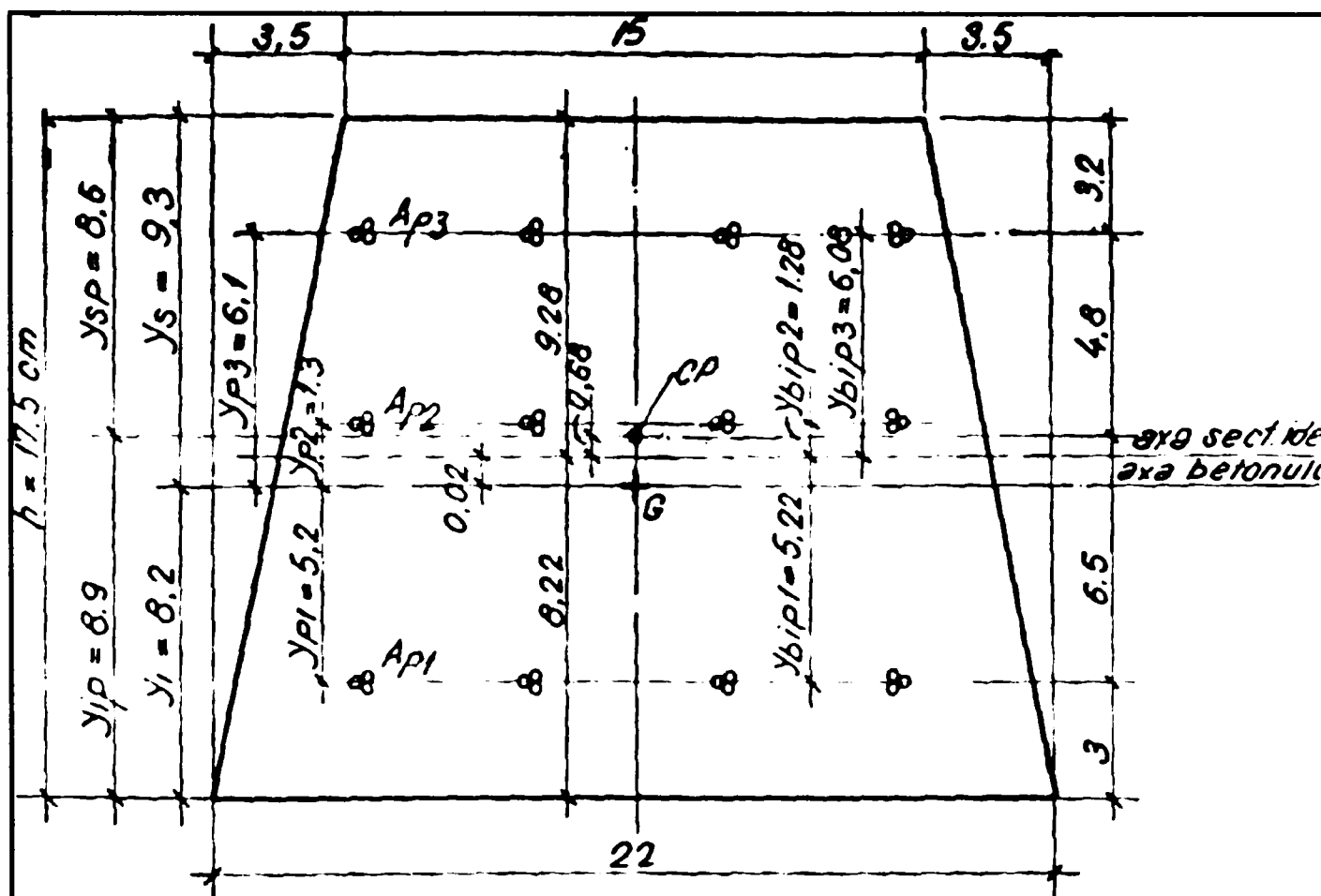


Figura 3.5.3

Caracteristicile sectiunii ideale:

$$A_{bi} = A_b + (n-1)A_p = 323,75 + (4,74 - 1)2,556 = 333,31 \text{ cm}^2$$

$$I_b = (15 \times 17,5^3)/12 + 15 \times 17,5 \times 0,55^2 + (3,5 \times 17,5^3)/36 \times 2 + (3,5 \times 17,5)/2 \times [(8,2-1)/3 \cdot 17,5]^2 + (3,5 \times 17,5)/2 \times [(8,2-1)/3 \cdot 17,5]^2 = 8164,762 \text{ cm}^2$$

$$I_{bi} = I_b + (n_p - 1) A_{pi} \cdot y_{pi} \cdot y_i^{dpi}$$

Axa sectiunii ideale fata de axa betonului:

$$y_{bi} = [(n_p - 1) A_{pi} \cdot y_{pi}] / A_{bi} = [(4,74 - 1)(0,852 \times 5,2 - 0,852 \times 1,3 - 0,852 \times 6,1)] / 333,31 = -0,02$$

$$I_{bi} = 8164,762 + (4,74 - 1) \cdot 0,852(5,2 \times 5,22 + 1,3 \times 1,28 + 6,1 \times 6,08) = 8374,738 \text{ cm}^4$$

$$\eta_r = [(12360,288 - 687,5 - 4,7 \times 108,467) - 0,5 \times 18600] / (12360,288 - 0,5 \times 18600) = 0,607$$

$$\Delta\sigma_r = 812,07 + 0,607(1112,45 - 812,07)(1 - 2339,308/11672,788) = 957,86 \text{ dN/cm}^2$$

In faza initiala:

$$\sigma_{po} = \sigma_{pk} - (\Delta\sigma_\lambda + \Delta\sigma_f + \Delta\sigma_i + \Delta\sigma_s + \Delta\sigma_{ri}) = 13888,888 - (1028,6 + 0 + 687,5 + 500 + 0) = 11672,788 \text{ dN/cm}^2$$

In faza finala:

$$\bar{\sigma}_{po} = \sigma_{po} - [(\Delta\sigma_r - \Delta\sigma_{ri}) + \Delta\sigma_\varphi] = 11672,788 - [(957,86 - 812,07) + 2339,808] = 9187,69 \text{ dN/cm}^2$$

Momentul de fisurare pentru traversa:

$$M_f = M_o^S + W_f \cdot R_{tk}$$

$$M_o^S = A_p \cdot \sigma_{po}(y_i - a_p + r_s)$$

$$a_p = 9,28 - 0,68 = 8,6 \text{ cm}$$

$$r_s = W_o / A_{bi} = 902,45 / 333,31 = 2,708 \text{ cm}$$

$$W_o = I_{bi} / y_i = 8374,738 / 9,28 = 902,45 \text{ cm}^3$$

$$M_o^S = 2,556 \times 9187,69(9,28 - 8,6 + 2,708) = 79562,89 \text{ dN/cm}$$

$$W_f = \gamma W_o; \quad \gamma = 1,75$$

$$W_f \cdot R_{tk} = 1579,29 \times 25,1 = 39640,18 \text{ dNcm}$$

$$M_f = 79562,894 + 39640,18 = 119203,074 \text{ dNcm}$$

Fora de fisurare:

$$M_f = P_f / 2 \cdot 35 = 17,5 \cdot P_f$$

$$P_f = 6811,604 \text{ dN}$$

$$P_f = 68,12 \text{ KN}$$

Concluzii.

Pin compararea rezultatelor experimentale cu cele de control date in STAS 8116/1-88 se pot trage urmatoarele concluzii privind computarea traverselor din beton precomprimat incercate:

- fisurarea experimentală la incovoiere pe mijloc s-a produs la o treapta de incarcare de 80KN, inferioara fata de cea de control de 90KN, reprezentand 89%;
- fisurarea experimentală la incercarea pe blochet s-a produs la o treapta de incercare de 120KN, inferioara fata de cea de control de 150KN, reprezentand 90%;
- ruperea experimentală la incovoiere pe mijloc s-a produs la o treapta de incarcare de 160KN, superioara fata de cea de control de 155KN, reprezentand 103%;
- ruperea experimentală la incercarea pe blocheti s-a produs la o treapta de incarcare de 267KN, superioara fata de cea de control de 248KN, reprezentand 108%;
- fata de valorile calculate ale fortei de fisurare, traversele incercate au prezentat o treapta de fisurare superioara (80KN care este mai mare decat forta de fisurare calculata la 68,12KN), reprezentand 117% fata de forta de fisurare calculata.

Incercarea traverselor din beton precomprimat s-a facut in conformitate cu datele de control prezentate in proiect, date care se refera la mai multe tipuri de armare pentru capacitati portante diferite functie de locul de utilizare si viteze de circulatie pe traseu.

Pe acest considerent s-a refacut calculul de fisurare functie de armarea efectiva a elementelor experimentale, astfel ca s-au obtinut valori de control pentru fisurare inferioare celei de control date in proiect. Fata de aceste valori elementele au corespuns atat la incercarea la incovoiere cat si la cea de taiere pe blocheti.

RETETA pentru betoane de marca B600 folosit la traversa de cale ferata[89]

Ciment P45	- 670 kg/m ³	
Agregat sort 0 – 3	- 462 kg/m ³	- 30%
Agregat sort 3 – 7	- 462 kg/m ³	- 30%
Agregat sort 7 –15	- 231 kg/m ³	- 15%
Criblura de bazalt 8 –16	- 385 kg/m ³	- 25%
Apa	- 180 l + 60 l umiditate agregate	
Rezistenta la 28 de zile	- 67 N/mm ²	

3.6. Incercari experimentale asupra unor elemente prefabricate din beton precomprimat- grinzi din beton precomprimat

3.6.1 Elemente din beton de clasa C32/40(B500)

3.6.1.1 Incercarea experimentală a unei grinzi TT

Rezultatele incercării (vezi foto anexa)

a) Deformarea pe verticala a grinzii

Sagetile calculate pe baza inregistrărilor fleximetrelor sunt date în tabelul 3.5.3. Aceste sageti s-au calculat scăzându-se din deformația corespunzătoare fiecărei trepte media aritmetică a tasărilor pe reazeme (fleximetrele 1 și 2).

Incarcarea p din tabelul 3.6.1 și din figurile 3.6.1-3.6.5 reprezintă valoarea totală a încărcării uniform distribuite inclusiv greutatea proprie a grinzii.

$$p = p' + 399 \text{ [daN/m]}$$

Valorile din tabel sunt notate cu F' , deoarece ele se referă la sagetile de la mijlocul lățimii grinzii (care sunt egale, în fiecare caz, cu media aritmetică a celor două valori măsurate în secțiunea respectivă, la care se face și corecția pentru tasarea reazemelor).

În figurile 3.6.1-3.6.3 sunt reprezentate sagetile pentru ansamblul grinzii, după cum urmează:

- fig. 3.6.1, ciclul 1 de încărcare din etapa I;
- fig. 3.6.2, ciclul 2 de încărcare din etapa I;
- fig. 3.6.3, încărcare în etapa II.

În figurile 3.6.4 și 3.6.5 este reprezentată variația sagetii din secțiunea de la mijlocul deschiderii ($f_{\max} = F'4$) în funcție de încărcarea distribuită pe grinda (greutatea proprie + încărcarea aplicată):

- fig. 3.6.4, ciclul 1 și 2 de încărcare din etapa I;
- fig. 3.6.5, încărcarea din etapa II.

Conform STAS 6657/1-89, săgeata maximă la ultimul ciclu din etapa I se limitează la $1,3 f_c$, unde f_c reprezintă săgeata de control. Aceasta se calculează pentru încărcările de exploatare, exclusiv greutatea proprie:

$$f_c = \frac{5}{384} * \frac{pl^4}{0,85EI} = \frac{5}{384} * \frac{3,75 * 1330^4}{0,85 * 402492 * 471125} = 0,95 \text{ cm} = 9,5 \text{ mm}$$

Săgeata maximă la ultimul ciclu din etapa I are valoarea:

$$F_{\max} = 11,20 \text{ mm} < 1,3 f_c = 12,35 \text{ mm.}$$

Pe de altă parte, trebuie ca diferența dintre sagetile remanente din ultimul și din penultimul ciclu al etapei I să nu depășească 2% din săgeata maximă determinată la ultimul ciclu:

$$\Delta f_{r2} = f_{r2} - f_{r1} = 0,85 - 0,85 = 0 \text{ mm} < 0,02 f_{\max} = 0,19 \text{ mm}$$

	Treapta	p [daN/m]	F'2	F'3	F'4	F'5	F'6
Etapa I	1	605	0	0	0	0	0
	2	655	0,10	0,10	0,20	0,15	0,15
	3	784	1,00	1,60	1,80	1,70	0,95
	4	882	2,60	3,90	5,00	4,40	2,55
	5	980	3,98	6,73	7,93	6,88	3,93
	6	1078	5,75	8,80	10,75	9,75	5,50
	5	980	5,87	10,17	11,97	10,27	5,92
	4	882	4,78	7,92	9,37	7,58	4,68
	3	784	3,25	5,40	6,45	5,60	3,50
	2						
	1	605	0,85	0,45	0,85	0,60	0,30
	1	605	0,85	0,45	0,85	0,60	0,30
	2						
	3	784	1,65	2,95	3,50	2,35	1,70
	4	882	2,70	4,89	5,75	5,05	2,80
	5	980	4,05	7,05	8,45	7,20	4,15
	6	1078	5,30	9,35	11,20	9,55	5,50
	5	980	4,08	6,88	8,48	7,23	4,18
	4	882	2,73	4,03	5,73	4,93	2,72
	3	784	1,35	2,20	3,05	2,60	1,40
2							
1	605	0,85	0,55	0,85	0,60	0,30	
Etapa II	1	605	0,35	0,55	0,85	0,60	0,30
	2	882	2,88	4,87	6,13	5,33	3,03
	3	980	4,38	7,48	9,23	7,88	4,58
	4	1078	5,93	10,18	12,43	10,68	6,03
	5	1166	7,80	12,95	16,15	13,85	7,90
	6	1274	14,48	19,08	27,43	21,73	14,48
	7	1372	27,33	41,68	51,43	41,83	22,18
	8	1470	-	-	74,63	-	-
	9	1564	-	-	103,48	-	-
	10	1666	-	-	142,78	-	-
	11	1728	-	-	188,70	-	-
	7'	1390	-	-	149,20	-	-
	6'	1266	-	-	130,15	-	-
	5'	1179	-	-	115,78	-	-
2'	647	-	-	58,82	-	-	
0	606	-	-		-	-	

Tabel 3.6.1
Sagete verticale sub incarcare

La ultima treapta de incarcare, sageata la mijlocul deschiderii a ajuns la 188,70 mm, ceea ce reprezinta aproximativ 1/70 din deschidere si corespunde (conform STAS 6657/2-89) atingerii starii limita.

La ultima treapta de incarcare momentul maxim de incovoiere a ajuns la valoarea de 1,105 x momentul teoretic de rupere.

b) Aparitia si deschiderea fisurilor

Primele fisuri au aparut in etapa II de incarcare, la treapta 6, care corespunde unui moment de incovoiere total (inclusiv din greutatea proprie a grinzii) egal cu 1,009 x momentul teoretic de fisurare. Sporind in continuare incarcarea, numarul fisurilor a crescut, de asemenea si deschiderea acestora. La ultima treapta de incarcare, deschiderea maxima a fisurilor a atins 1,8 mm, ceea ce reprezinta 90% si conform STAS 6657/2-89 constituie o stare limita.

Nu au aparut fisuri inclinate in zonele de reazem.

Concluzii

Pe baza rezultatelor experimentale se poate afirma ca grinda incercata indeplineste conditiile de rezistenta, de rigiditate si de fisurare cerute de normele in vigoare. Aceasta afirmatie poate fi extinsa la productia de serie numai in masura in care furnizorul asigura respectarea proiectului (atat in ceea ce priveste dimensiunile sectiunilor de beton si de armatura, cat si calitatea materialelor utilizate), precum si respectarea tehnologiei de executie, inclusiv a celei de precomprimare.

Incercarea efectuata se refera la grinzile din tabelul 3.6.2:

Buletin	Calitate beton	Destinatia betonului	Data turnarii	ρ Kg/m ³	Rc N/mm ²
Indicativ			Data incercarii		
12151 111	C 32/40	Grinda TT	24.04.2000	2382	55.9
			31.05.2000		
12152 112	C 32/40	Grinda TT	24.04.2000	2355	60.2
			31.05.2000		

Tabel 3.6.2

Reteta de beton de clasa C32/40 utilizata la fabricarea agestei grinzi este urmatoarea:

RETETA NR.- R 1 TT 500

Tip beton	Marca Clasa	Ciment		Aditiv		\emptyset_{max}	Zona gran.	A/C	ρ_b kg/m ³	Tasare	Conditii suplimentare
		tip	dozaj	tip	dozaj						
Element prefabricat pretensionat	B500 BC40 C32/40	42,5 R	450	CHRYSO	8 l	16	III NE 012/99	0,44	2365	210-230 mm	Beton tratat termic. Elemente II

Sortul	Umiditatea	0.2	1	3	5	7.1	10	16	20	31	40
0-3	5,3	7,0	67,8	90,1		100					
3-7	3,4	0,5	6,98	18,6		80,4		100			
7-16	1,7	0,41	1,83	2,44		10,4		86,1		100	

Procentaj										
28% din sort 1	1,96	19,0	25		28		28		28	
17% din sort 2	0,085	1,19	3,16		13,7		17		17	
55% din sort 3	0,23	1,02	1,37		5,82		48,2		55	
TOTAL	2,28	21,21	29,53		47,52		93,2		100	

CANTITATI LA UN mc BETON

APA=A=190 Kg	Sol.aditiv(plastifiant)	Agregate uscate(total in kg)
A=C*a/c =	Ad=C.Pad/100= 8 l CHRYSO	Ag=pb-(C+CT+A+Ad)=2365- 450- 190- 8= 1717

CANTITATI LA UN m³ BETON

CANTITATI / O SARJA DE 1 m³

Sortul	Uscate		Umiditate ag.		Ag.umedede	Ag.umedede	+1
	%	(kg)	%	(kg)	(kg)	(kg)	
1: (0-3)	28	480	5,3	25	505	508	
2: (3-7)	17	292	3,4	10	302	300	
3: (7-16)	15	945	1,7	16	961	960	
Total	Σ	1717	Σ	51	1768	1768	
					Ciment	450	450
					Adaos CT		
					A-(Aog+Ad)	139	139
					Ad (aditiv)	8	8
					TOTAL	2365	2365

S-a emis reteta

Nr. R 1 TT 500 din 01.03.2000

Intocmit,
Ing.FRATUT SUZANA

Semnatura.

Se va reface calculul retetei ori de cite ori pb a betonului proaspat variaza cu mai mult de ± 40 kg .

GRINDA TT - ETAPA I - cicl.1

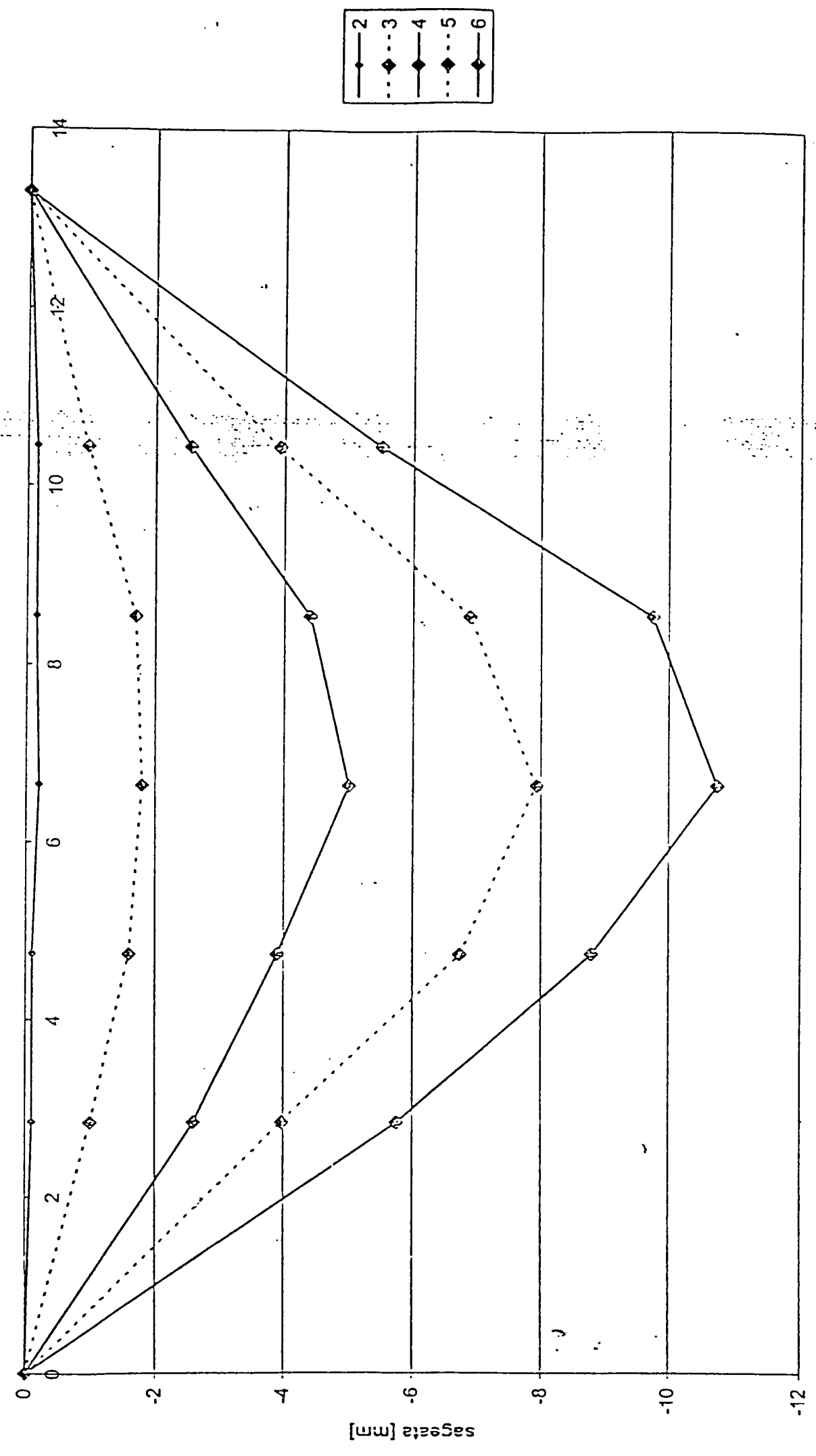


Fig.3.6.1

GRINDA TT - ETAPA I - cicl.2

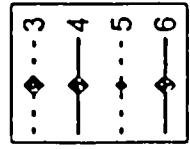
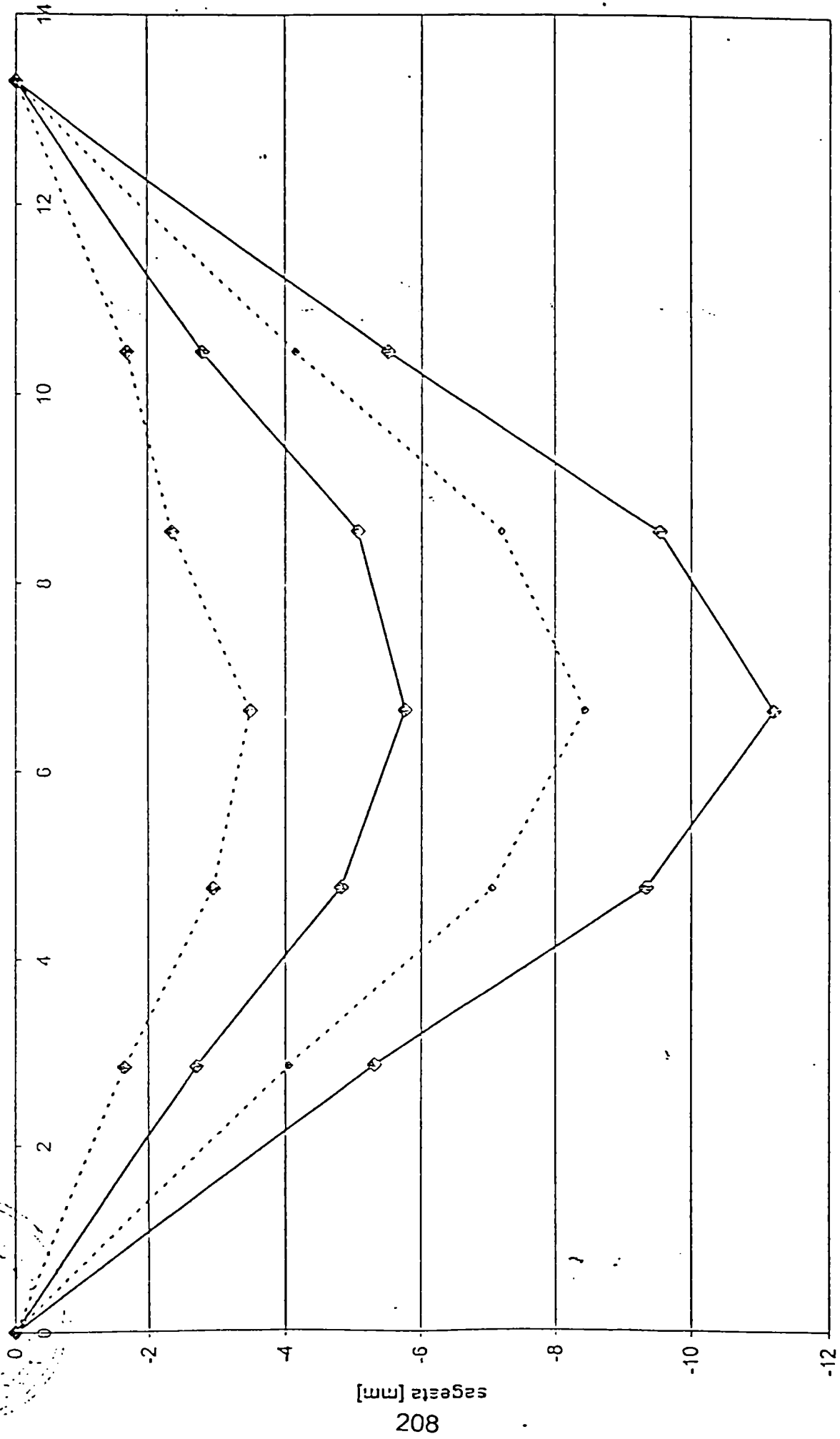


Fig.3.6.2

GRINDA TT - ETAPA II

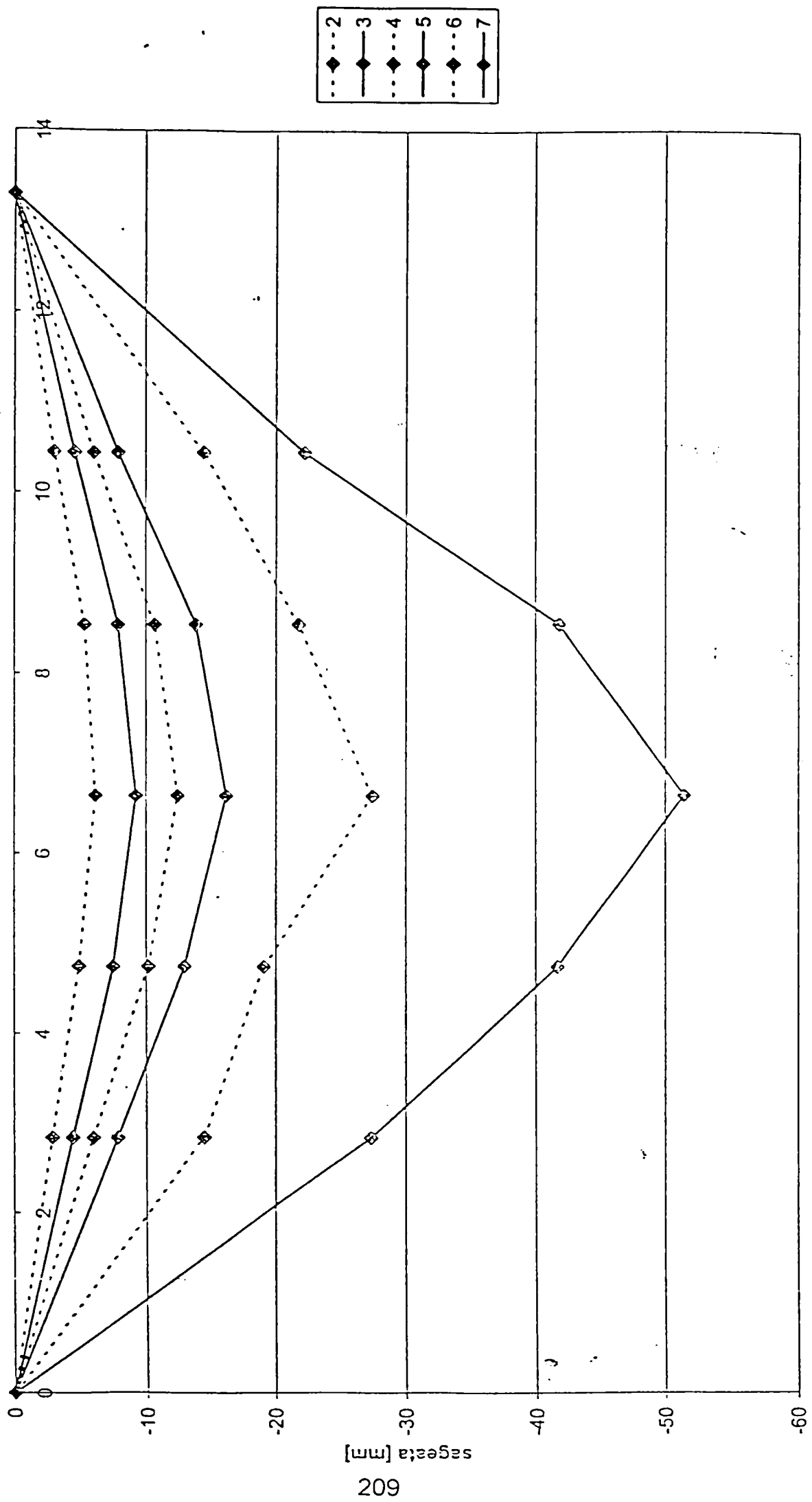
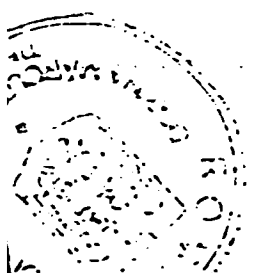


Fig.3.6.3



GRINDA TT - ETAPA I

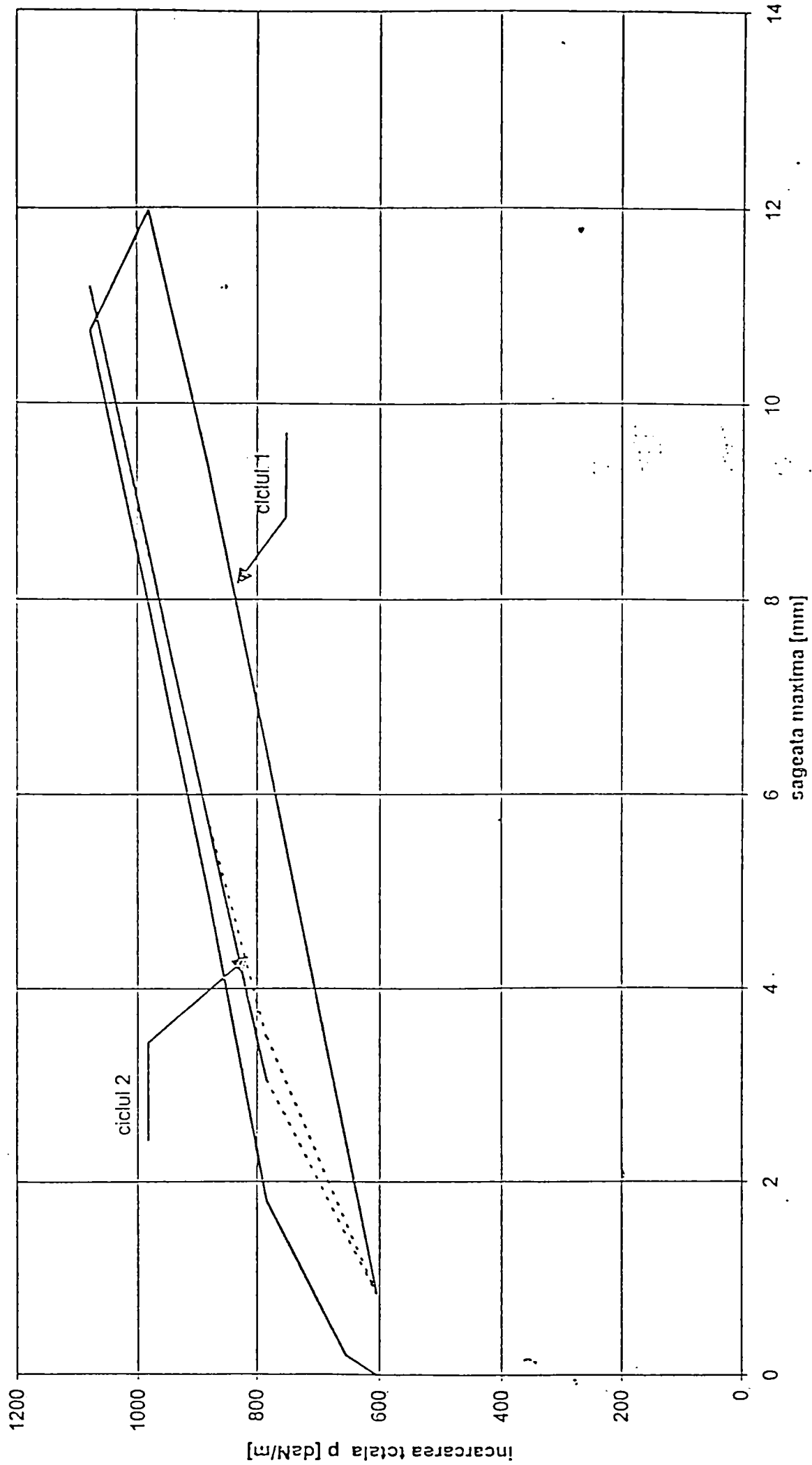


Fig.3.6.4

GRINDA TT

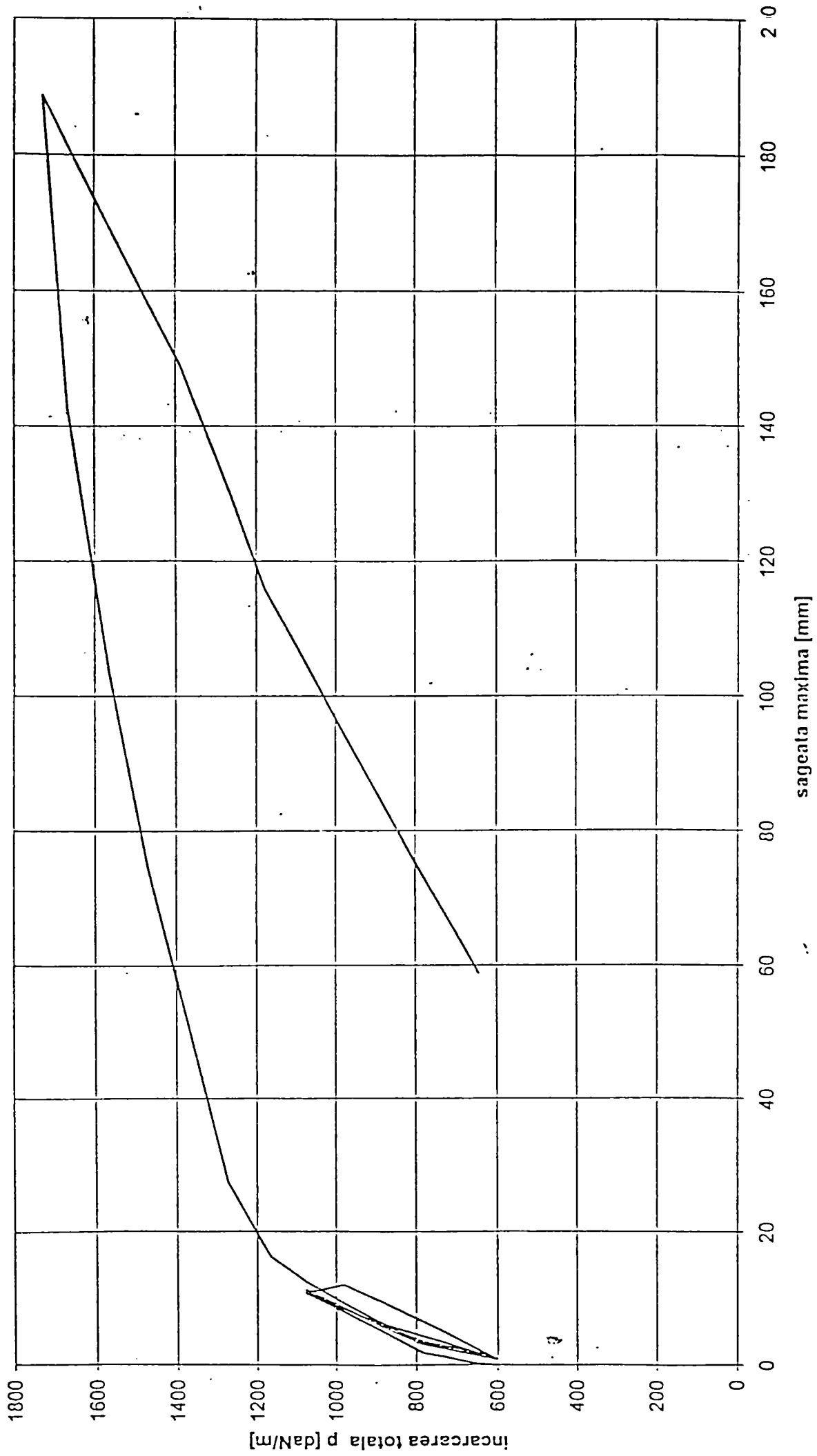


Fig.3.6.5

3.6.1.2 Incercarea experimentală a unei grinzi Y

Rezultatele incercării

a) Deformarea pe verticala a grinzii

Sagețile calculate pe baza înregistrărilor fleximetrelor sunt date în tabelul 3.6.3. Aceste săgeți s-au calculat scăzându-se din deformația corespunzătoare fiecărei trepte media aritmetică a tasărilor pe reazeme (fleximetrele 1 și 2).

Încărcarea p din tabelul 3.6.3 și din figurile 3.6.6-3.6.10 reprezintă valoarea totală a încărcării uniforme distribuite inclusiv greutatea proprie a grinzii.

$$p = p' + 399 \text{ [daN/m]}$$

Pentru realizarea treptei maxime de încărcare s-a încărcat câmpul 4 cu un colac suplimentar ținut în macara. S-a apreciat că din greutatea totală a colacului ținut în carlig, 50% s-a transmis asupra grinzii. Pentru protecția aparatelor de măsurare s-a păstrat numai fleximetrul F4 de la mijlocul grinzii.

În figurile 3.6.6-3.6.8 sunt reprezentate săgețile pentru ansamblul grinzii, după cum urmează:

- fig. 3.6.6, ciclul 1 de încărcare din etapa I;
- fig. 3.6.7 ciclul 2 de încărcare din etapa I;
- fig. 3.6.8, încărcare în etapa II.

În figurile 3.6.9 și 3.6.10 este reprezentată variația săgeții din secțiunea de la mijlocul deschiderii ($f_{\max} = F'4$) în funcție de încărcarea distribuită pe grinda (greutatea proprie + încărcarea aplicată):

- fig. 3.6.9, ciclul 1 și 2 de încărcare din etapa I;
- fig. 3.6.10, încărcarea din etapa II.

Conform STAS 6657/1-89, săgeata maximă la ultimul ciclu din etapa I se limitează la $1,3 f_c$, unde f_c reprezintă săgeata de control. Aceasta se calculează pentru încărcările de exploatare, exclusiv greutatea proprie:

$$f_c = \frac{5}{384} * \frac{pl^4}{0,85EI} = \frac{5}{384} * \frac{4,35 * 1790^4}{0,85 * 360000 * 1340000} = 1,41 \text{ cm} = 14,1 \text{ mm}$$

Săgeata maximă la ultimul ciclu din etapa I are valoarea:

$$F_{\max} = 18,3 \text{ mm} < 1,3 f_c = 18,33 \text{ mm}$$

Pe de altă parte, trebuie ca diferența dintre săgețile remanente din ultimul și din penultimul ciclu al etapei I să nu depășească 2% din săgeata maximă determinată la ultimul ciclu:

$$\Delta f_{r2} = f_{r2} - f_{r1} = 1,10 - 0,90 = 0,20 \text{ mm} < 0,02 f_{\max} = 0,366 \text{ mm}$$

	Treapta	p [daN/m]	F2	F3	F4	F5	F6
Etapa I	1	399	0	0	0	0	0
	2	459	0,40	1,20	1,40	1,05	0,70
	3	667	3,00	6,40	7,70	6,45	3,70
	4	751	3,30	9,60	10,80	8,65	4,60
	5	834	4,90	11,80	13,40	11,90	6,20
	6	917	7,90	15,40	17,70	16,00	9,20
	5	834	7,40	12,80	14,60	12,75	8,30
	4	751	6,70	11,20	12,50	10,45	7,40
	3	667	4,70	7,90	9,20	7,85	6,30
	2	459	1,40	1,60	1,70	3,20	4,00
	1	399	1,50	1,00	0,90	1,30	3,10
	1	399	1,50	1,00	0,90	1,30	3,10
	2	459	0,90	1,30	1,60	1,25	2,30
	3	667	4,20	7,00	8,30	8,00	4,70
	4	751	6,05	10,15	11,45	10,35	5,55
	5	834	6,85	12,15	13,95	13,05	7,25
	6	917	7,80	15,80	18,30	16,55	7,80
	5	834	7,55	13,75	15,65	14,00	7,55
	4	751	7,10	12,20	13,60	9,25	7,10
	3	667	5,10	8,90	10,40	9,15	5,10
2	459	2,00	3,00	3,40	3,15	2,00	
1	399	0,75	1,05	1,10	1,08	0,75	
Etapa II	1	399	0,75	1,05	1,10	1,08	0,75
	2	744	5,20	9,40	11,00	9,70	5,40
	3	836	6,10	12,90	14,50	12,20	6,40
	4	920	6,30	15,50	17,70	15,50	8,60
	5	982	8,20	18,60	20,70	17,90	9,70
	6	1053	9,45	21,35	25,05	21,35	11,85
	7	1127	1,95	24,75	28,85	24,65	13,35
	8	1209	14,00	31,50	38,20	31,60	16,40
	9	1281	19,40	43,00	51,60	41,70	20,00
	10	1353	24,30	54,40	67,10	54,90	27,90
	11	1415	28,85	65,15	80,25	65,75	29,45
	12	1478	35,40	79,00	97,80	80,10	36,00
	13	1570	40,60	91,00	113,00	92,50	41,10
	14	1602	47,55	105,95	130,75	106,85	48,05
	15	1664	56,55	125,35	156,75	127,65	57,45
	16	-			326,10		
	14	1602			153,80		
	13	1570			143,60		
	9	1281			133,20		
	8	1209			132,00		
7	1127			129,90			
6	1053			124,07			
5	982			118,10			
1	399			48,00			

Tabel 3.6.3.
Sagetile verticale sub incarcare

La ultima treapta de incarcare, valoarea sagetii la mijlocul deschiderii, data in fig 3.6.8 si 3.6.10, nu reprezinta de fapt valoarea maxima atinsa, ci numai valoarea maxima care a putut fi masurata (la treapta precedenta). La ultima treapta de incarcare, fleximetrul nu s-a mai stabilizat. Ultima valoare care s-a mai putut citi a fost de 326,1 mm, reprezentand 1/54,9 din deschidere. Conform STAS 6657/2-89, atingerea unei sageti de 1/70 din deschidere reprezinta o stare limita.

La ultima treapta de incarcare momentul de incovoiere total (inclusiv din greutatea proprie a grinzii) a ajuns la valoarea de 1,207 x momentul teoretic de rupere.

Sageata remanenta masurata la 12 ore după descarcare a fost de 4,8 cm.

c) Aparitia si deschiderea fisurilor

Primele fisuri au aparut in etapa II de incarcare, la treapta 6, care corespunde unui moment de incovoiere total (inclusiv din greutatea proprie a grinzii) egal cu 1,009 x momentul teoretic de fisurare. In continuare, numarul fisurilor a crescut, de asemenea si deschiderea acestora. La ultima treapta de incarcare, deschiderea maxima a fisurilor a atins 2 mm, ceea ce conform STAS 6657/2-89 constituie o stare limita.

Nu au aparut fisuri inclinate in zonele de reazem.

Concluzii

Pe baza rezultatelor experimentale se poate afirma ca grinda incercata indeplineste conditiile de rezistenta, de rigiditate si de fisurare cerute de normele in vigoare. Aceasta afirmatie poate fi extinsa la productia de serie numai in masura in care furnizorul asigura respectarea proiectului (atat in ceea ce privește dimensiunile sectiunilor de beton si de armatura, cat si calitatea materialelor utilizate), precum si respectarea tehnologiei de executie, inclusiv a celei de precomprimare.

Incercarea efectuata se refera la grinzile din tabelul 3.6.4:

Buletin	Calitate beton	Destinatia betonului	Data turnarii	ρ Kg/m ³	Rc N/mm ²
Indicativ			Data incercarii		
12141 92	C 32/40	Grinda Y87	18.04.2000	2376	57.5
			18.05.2000		
12142 93	C 32/40	Grinda Y87	18.04.2000	2394	62.1
			18.05.2000		

Tabel 3.6.4



Fig.3.6.6

GRINDA Y - ETAPA I - CICLUL 2

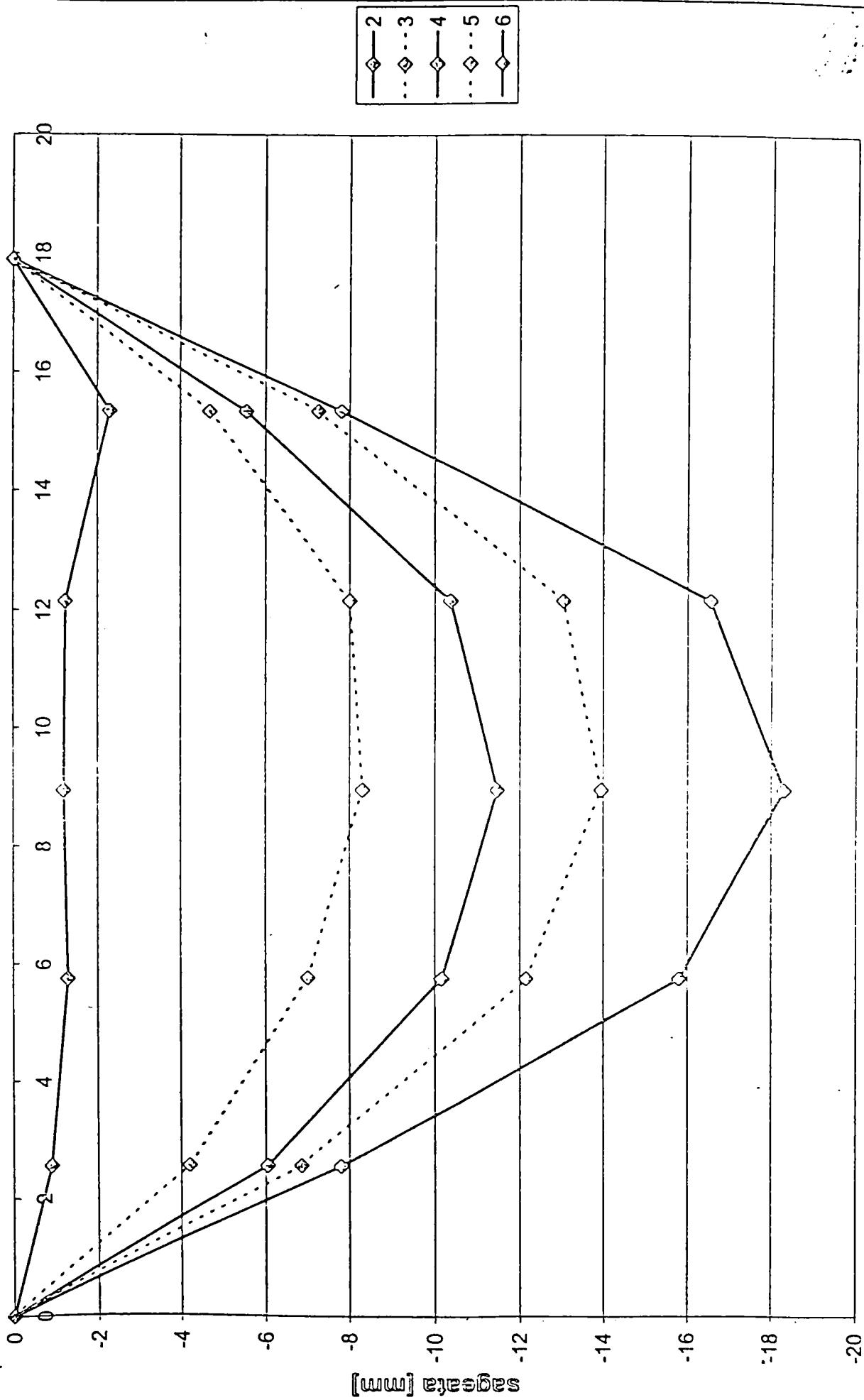


Fig.3.6.7

GRINDA Y - ETAPAI I

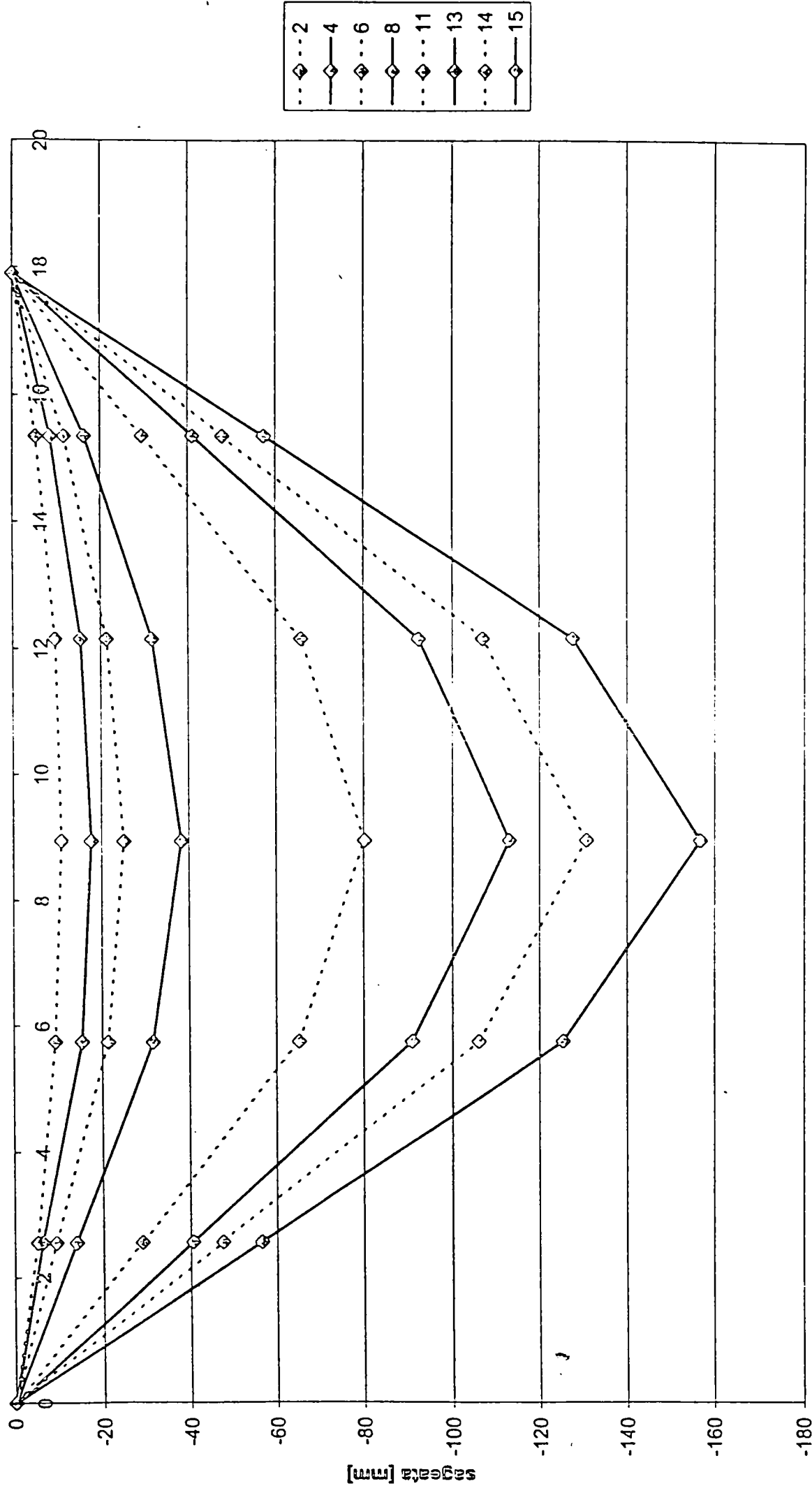


Fig.3.6.8

GRINDA Y - ETAPA I

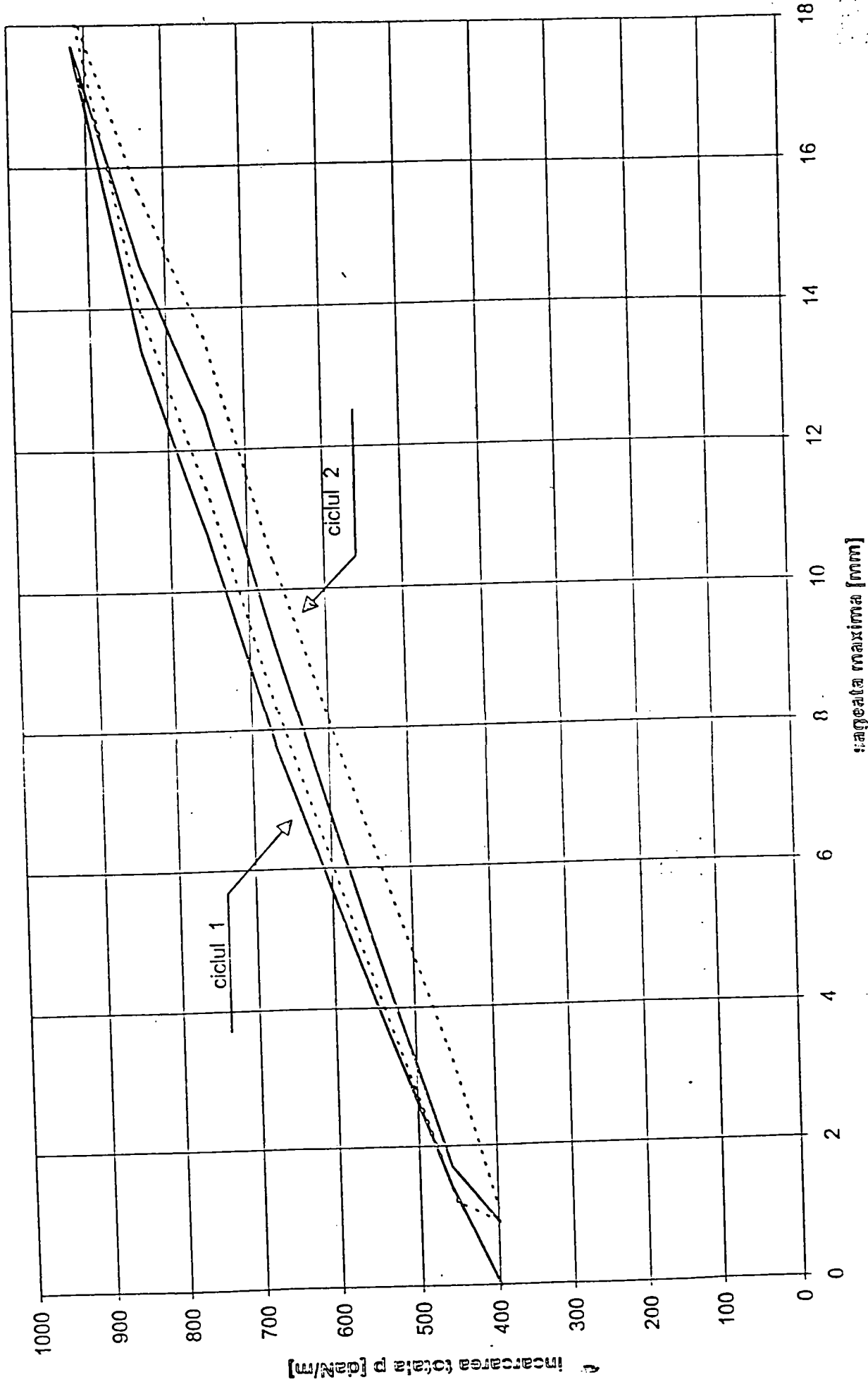


Fig.3.6.9

GRINDA Y

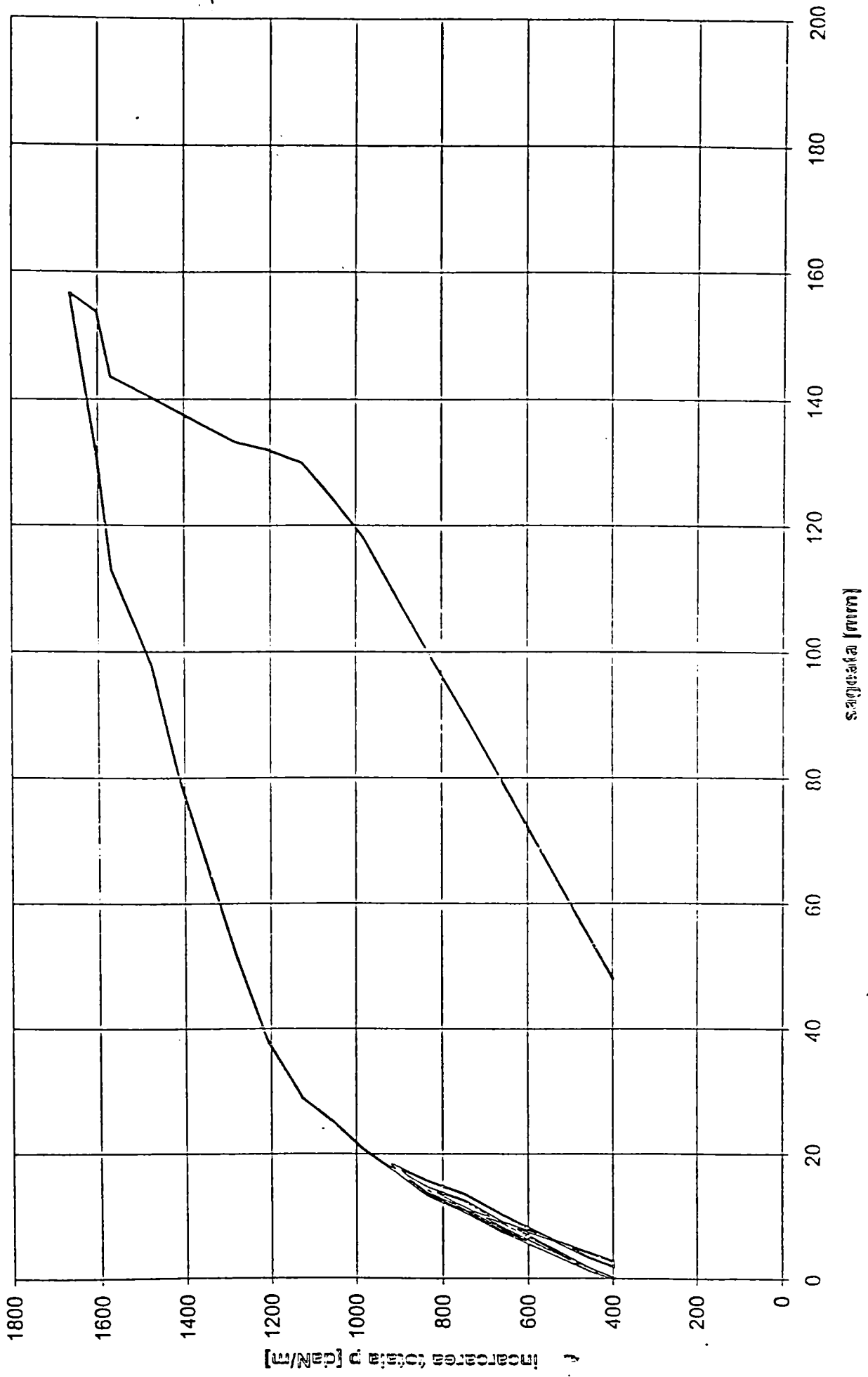


Fig.3.6.10

3.6.2 Elemente din beton de clasa C45/55(B650)- grinzi cu doua pante, tip G5 si G10

A) Descrierea elementului experimental

Caracteristici tehnice

Elementul experimental este o grinda precomprimata cu sectiunea transversala Y variabila pe inaltime, fiind realizata in doua pante de 5% (fig.3.6.11c, fig.3.6.21). Proiectul a fost elaborat de LA NUOVA PRECOMPRESI VALSUGANA SPA (ITALIA) si verificat in Romania de un verficator de proiecte atestat MLPTL.

Dimensiunile de gabarit ale grinzii sunt:

- lungime: 23.50 m;
- deschidere de calcul: 23.50 m;
- latime: 0.60 m talpa superioara, 0.40 m talpa inferioara;
- inaltime: min. 0.685 la reazeme, respectiv max. 1.235 m la mijlocul grinzii.

Realizarea elementului se face prin turnarea betonului pe o pista metalica autoportanta cu lungime de 92 m. Cofrarea se face hidraulic. Pista metalica este prevazuta cu un sistem automat de control al tratamentului termic, realizand parametrii tehnici prevazuti de normele in vigoare (max. 60⁰ C).

Materiale constitutive

Grinda este executata din beton clasa C40/50, C45/55, preparat in statia centralizata SC EUROPREFABRICATE SRL Timisoara, in baza retetelor de preparare nr. R 600 – 7.02.2001 si R 650 – 19.07.2001, a laboratorului firmei.

Cuburile pentru incercarea rezistentei la compresiune au fost testate de INCERC filiala Timisoara, conform agreementului tehnic 010-01/068-2001.

a) componentele betonului:

- ciment I 42.5 R fabricat la SC CASIAL SA Deva, sau CEM tip I 52,5 importat din Ungaria, agreementat in Romania prin agreement tehnic 010-01/070-2001, de catre INCERC TIMISOARA.

3.6.2.1. Agreementul tehnic pentru ciment Portland I 52,5

Cimentul Portland CEM tip I 52,5 este un ciment Portland fara adaos avand o intarire rapida, concretizata printr-o rezistenta sporita la varsta de doua zile si rezistenta la compresiune de 52,5 N/mm² la 28 zile.

Cimentul este produs de firm DUNA-DRAVA CEMENT KFT –Ungaria si se foloseste la prepararea betoanelor de clasa C25/30...C50/60.

Dozajul de ciment pentru diverse intrebuintari se stabileste printr-un calcul adecvat care ia in considerare rezistenta, stabilitatea si durabilitatea elementelor respective.

Elementele componente primare

Elementele componente primare sunt detaliate in documentatia de firma .

Fiecare element continut in documentatie este identificat prin: tipul si cantitatea de adaos folosit.

Elementele primare sunt:

- clincher 93...95%;
- sulfat de calciu 5...7%;
- rezistenta la compresiune la 28 zile minimum 52,5 Mpa;
- rezistenta la compresiune la 2 zile minimum 20 Mpa.

Elementele

Cimentul Portland CEM tip I 52,5 se livreaza in saci de hartie de cate 50 Kg fiecare. Termenul de garantie de la data fabricatiei pana la utilizare este specificat de producator.

Fabricarea

Cimentul Portland CEM tip I 52,5 se fabrica de firma DUNA-DRAVA CEMENT KFT-Ungaria in conditii ridicate de calitate cu un control continuu al calitatii. Controlul calitatii produselor se refera la: determinarea starii de conservare; finetea de macinare; inceputul si sfarsitul de priza; stabilitate; rezistentele la 2 si 28 zile conform SR EN 196/1...196/6 – 1995.

Punerea in opera

Folosirea cimentului Portland CEM tip I 52,5 la prepararea betoanelor se face prin respectarea atat a documentatiilor care insotesc proiectele de executie, cat si a normelor metodologice privind executia lucrarilor din beton si beton armat.

Documentatia tehnica elaborata va fi aliniata la reglementarile tehnice in vigoare in Romania, urmand a fi verificata si aprobata in conformitate cu Legea 10/1995 privind calitatea in constructii.

Cimenturile de tip CEM I 52,5 sunt utilizate in tarile europene si americane.

Prepararea se va face de catre personal instruit corespunzator.

Rezultate experimentale

Caracteristicile fizice si mecanice ale cimentului sunt cuprinse in tabelul 3.6.5

CARACTERIS TICA	UM	Rezultate obtinute		Metoda de incercare	Valori limita
		Valori	Observatii		
Apa pentru pasta de consistenta standard	%	28,6	C	SR EN 196 –3	
Timp de inceput de priza	min	135	C	SR EN 196–3	SR 388 \geq 45
Timp final de priza	min	210	C	SR EN 196 –3	
Stabilitatea Expansiunea Le Chatelier	mm	3	C	SR EN 196 –3	SR 388 \leq 10
Finete de macinare	m ² / Kg	320- 400	C	MSZ 4702- 02	
Rezistenta la incovoiere la 28 de zile	N / mm ²	7, 23	C	SR EN 196 –1	
Rezistenta la compresiune la 2 zile	N / mm ²	27,8	C	SR EN 196 –1	SR 388 \geq 20
Rezistenta la compresiune la 28 de zile	N / mm ²	53,5	C	SR EN 196 –1	SR 388 \geq 52,5

Tabel 3.6.5.

C – corespunzator

N - necorespunzator

- agregate de balastiera, sorturile 0...3, 3...7, 7...15 mm;

- aditiv superplastifiant tip CHRYSOFLUID, agrement tehnic

010–04/033 – 2000.

3.6.2.2. Acordul tehnic pentru aditivul superplastifiant Chrysofluid GT

Aditivul superfluidizant Chrysofluid GT este un polimer de sinteza, cu urmatoarele caracteristici:

- aspect: lichid de culoare violacee;
- densitatea la 20⁰ C: 1,15 g/ml;
- continut de cloruri: <0,1 %;
- pH: 9,5.

Aditivul C- GT are o actiune puternica de dispersie a granulelor de ciment, ceea ce conduce la o imbunatatire a lucrabilitatii. Granulozitatea agregatelor trebuie sa contina o cantitate mai mare de fractiuni fine decat cea a betoanelor obisnuite similara cu cea a betoanelor pompate.

Elemente componente primare

Aditivul C- GT este un produs de sinteza organica din familia melamina formaldehida sulfonata, cu ingrediente speciali, care permit utilizarea sa cu orice tip de ciment.

Elementele

Actiunea de dispersie a granulelor de ciment si prin aceasta de marire a lucrabilitatii este limitata in timp si este mai mica decat la betoanele fara aditivi.

Fabricare

Aditivul superfluidizant C- GT este un produs industrial care se fabrica in conditii ridicate de calitate, cu dozare si prelucrare automatizata controlate computerizat. Unitatea producatoare are sistemul de asigurare a calitatii conform ISO 9001.

Punerea in opera

Aditivul C- GT are o actiune puternica de dispersare a granulelor de ciment si prin aceasta de marire a lucrabilitatii. Eficacitatea aditivului C- GT este mai mare atunci cand este adaugat dupa inceperea malaxarii betonului la cel putin 1 minut de la aceasta. In aceste conditii o solutie indicata ar fi adaugarea aditivului direct in automalaxor si amestecarea cu betonul din acesta cu 5...10 minute inainte de punerea in opera a betonului.

Rezultatele experimentale

Caracteristicile produsului, verificate prin incercari de laborator, sunt indicate in tabelul 3.6.6.

Caracteristica	U/M	Valoare determinata	Valoare admisa	Metoda de determinare	Executant
Aspect		Lichid de culoare violacee			UNI 8145
Densitatea la 20 ^o C	g/ml	1,15			UNI 8145
Continutul de cloruri	%	<0,1			UNI 8145
pH		9,5			UNI 8145
Variatia lucrabilitatii Aditiv C- GT (%) din ciment 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6	% din valoarea pt. 1% aditiv	60 69 90 100 110 116 122		PTE 3.5 – 03/06.06-01	INCERC Timisoara
Timpul de lucrabilitate. Ciment 335 Kg/ m ³ Timp de la preparare 0 minute 15 minute 30 minute 45 minute 60 minute	cm	Tasare Aditiv Martor 9,0 8,7 6,6 7,9 4,0 7,0 2,5 5,7 1,0 4,4		PTE 3.5 – 03/06.06-01A	INCERC Timisoara

Timpul de lucrabilitate. Ciment 450 Kg/ m³ Timp de la preparare 0 minute 15 minute 30 minute 45 minute 60 minute	cm	Tasare		PTE 3.5 – 03/06.06-1A	
		Aditiv Martor			
		10,2	10,1		
		6,6	9,0		
		4,3	8,0		
		3,0	6,5		
2,0	6,0				
Reducerea cantitatii de apa. Ciment 335 Kg/ m³ Ciment 450 Kg/ m³	%	88	Min. 88	PTE 3.5 – 04/01.02-01	INCERC Timisoara
		83	Min. 88		
Cresterea rezistentei la compresiune. Ciment 335 Kg/ m³ Ciment 450 Kg/ m³	%	13,3	Min. 12	PTE 3.5 – 04/02.02-01	INCERC Timisoara
		12,7	Min. 12		
Rezistenta la inghet- dezghet. Beton cu aditiv C- GT Beton martor	%	3,4	Max. 25	STAS 3518- 89	INCERC Timisoara
		0,55	Max. 25		

Tabel 3.6.6

Produsele de tipul aditivului C- GT sunt utilizate pe scara larga in Italia, Franta, Germania, Anglia, SUA, Canada.

CHRYSOFLUID GT este un aditiv pentru betoane de tipul superplastifiant, puternic reductor de apa.

CHRYSOFLUID GT este un polimer de sinteza din familia polimelaminelor pus la punct in mod special pentru a fi utilizat in combinatie cu majoritatea tipurilor de ciment.

Firma producatoare este CHRYSO ITALIA S. p. A., 24040 LALLIO (BG), via Madonna, telefon: 035/693331; fax: 035/693463.

Structura sa chimica speciala ii confera eficacitate:

- prin puternica actiune de dispersie a granulelor de ciment din amestec conduce la o lucrabilitate imbunatatita a betonului;
- prin actiunea de catalizator hidratarea este imbunatatita, rezultand o reducere a cantitatii de apa din amestec si o rezistenta marita a betonului.

Prin utilizarea produsului CHRYSOFLUID GT la realizarea betonului se poate modifica si timpul de priza.

Caracteristicile produsului sunt urmatoarele:

- Aspect: lichid de culoare violacee
- Densitatea la 20⁰ C: 1,15 g/ml \pm 0,02
- Continut de cloruri: < 0,1%
- Temperatura de inghet: aprox. -2⁰ C
- Continut de Na₂O echivalent: < 3,05 %
- pH: 9,5 \pm 1

Produsul se livreaza in recipiente inchisi pe care sunt aplicate etichete.

Domeniul de utilizare

CHRYSOFLUID GT se poate utiliza la:

- majoritatea tipurilor de ciment (cu exceptia cimenturilor albe si aluminoase);
- obtinerea betoanelor speciale BHP (betoane de mare performanta);
- obtinerea betoanelor fluide, vartoase sau plastic vartoase;
- betoane care se vor arma puternic;
- betoane precomprimate;
- betoane utilizate la pardoseli industriale sau la dale din beton;
- obtinerea laptelui de ciment pentru injectari.

Consumul

Intervalul de dozare este de 0,6 pana la 3 kg pentru 100 kg de ciment, in functie de performantele care se urmaresc. Dozajul obișnuit este de 1% din greutatea cimentului de amestec.

Mod de livrare

CHRYSOFLUID GT se livreaza vrac sau in butoaie de 247 litri, canistre de 29 litri sau cisterne de 1150 litri.

Mod de utilizare

CHRYSOFLUID GT este complet solubil in apa. El se poate adauga in apa inainte de mixare sau la sfarsitul ciclului de malaxare.

In cazul unui beton proaspat, produsul se poate adauga direct in malaxorul transportorului si in acest caz este necesara malaxarea cu viteza mare 1 minut pentru 1 m.c. de beton.

Pentru obtinerea unor rezultate optime CHRYSOFLUID GT se adauga la pasta care contine 50%- 60% din cantitatea de apa stabilita.

Dupa o scurta amestecare (cca 1 minut) se adauga restul cantitatii de apa, atat cat sa se ajunga la lucrabilitatea dorita.

Betonul la care se adauga CHRYSOFLUID GT trebuie sa aiba in compozitie o cantitate mai mare de sort marunt, comparabila cu cea a betonului pentru pompa.

Timpul in care betonul ramane fluid este variabil functie de temperatura, consistenta betonului aditivat, natura cimentului, dozaj. Acest timp poate fi determinat prin incercari preliminare in situ.

Trebuie evitata expunerea produsului la razele solare si expunerea prelungita la temperaturi mari. Butoaiele sau recipientii in care este inmagazinat CHRYSOFLUID GT se pastreaza bine inchise.

In caz de inghet produsul isi conserva proprietatile daca se dezgheata si se omogenizeaza prin agitare.

Nu se utilizeaza CHRYSOFLUID GT la obtinerea unor betoane albe sau putin colorate.

Se pastreaza la temperaturi cuprinse intre 5⁰ C si 35⁰ C.

Isi conserva proprietatile timp de 12 luni.

Conformitate

CHRYSOFLUID GT este un produs superplastifiant puternic reductor de apa conform cu normele NF-EN 934-2, ASTM C 494/F, UNI 9858 si PTV 500.

Fabrica producatoare are sistemul calitatii certificat conform ISO 9001.

A) Variatia lucrabilitatii cu cantitatea de aditiv

Mod de lucru

Determinari pe fractiunea finala a betonului; agregate 0/3+3/7 mm.

1. Se prepara o cantitate de 10..15 dm³ din betonul cu urmatoarea compozitie: 900kg (3/7) + 770 kg (0/3) + 450 ciment (I 42,5 R) + apa. Cantitatea de apa se stabileste prin incercari preliminare pentru a se obtine o raspandire de 13...14 cm (vezi punctul 3). Amestecarea se face intr-un malaxor cu amestec forat. Se amesteca 3 min. se face o pauza de 5 min si se reamesteca 1 min.

2. Se scoate din malaxor cate 2 kg material, se adauga aditivul si se amesteca 1 min. cantitatea de aditivi, exprimata in procente din cantitatea de ciment poate fi cea din tabelul 1 sau in alte limite in functie de indicatiile producatorului.

3. Se determina raspandirea pe masa de soc conform STAS 3910/2-85.

- se umple forma tronconica cu material;
- se aseaza forma pe masa de soc, umezita in prealabil si se dau cinci socuri cu o inaltime de cadere de 1 cm;
- se masoara cu sublerul doua diametre perpendiculare ale turtei si se face media;
- rezultatele se inscriu intr-un tabel de forma tabelului 3.6.7.

Cantitatea de aditiv % din ciment	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
Raspandirea (cm)	14,5	16,8	22,0	24,2	26,5	28,2	>28,5
Raspandirea (%) fata de cea corespunzatoare la 1% din aditiv	60	69	90	100	110	116	>122

Tabel 3.6.7

Interpretarea rezultatelor: Corespunzator.

B) Timpul de lucrabilitate

Mod de lucru

1. Se prepara o cantitate de beton de aproximativ 20 dm³ cu compozitia: 1000(7/16) + 200(3/7) + 600(0/3) + ciment + apa + aditiv.

Aditivul se introduce de la inceput in apa de amestec sau dupa 3 minute de mestecare, in functie de indicatiile producatorului. Cantitatea de apa se stabileste prin incercari pentru ca betonul sa aiba o tasare de 8...10 cm.

2. Se determina tasarea (Ta) la intervale de cate 15 min. Vasul cu beton se acopera cu o carpa umeda in intervalul dintre determinari. Rezultatele se inscriu in tabelul 2.

3. Se prepara betonul martor ca si la punctul 1.

4. Se determina de asemenea tasarea (Tm) la intervale de cate 15 min. Se procedeaza ca si la punctul 2.

Rezultatele se inscriu in tabelul 3.6.8.

Timpul de preparare (minute)	0	15	30	45	60
(Ta); Beton cu 335 kg ciment/m ³	9,0	6,6	4,0	2,5	1,0
(Tm); Beton cu 335 kg ciment/m ³	8,7	7,9	7,0	5,7	4,4
(Ta); Beton cu 450 kg ciment/m ³	10,2	6,6	4,3	3,0	2,0
(Tm); Beton cu 450 kg ciment/m ³	10,1	9,0	8,0	6,5	6,0

Tabel 3.6.8

Interpretarea rezultatelor: betonul cu aditivul C- GT trebuie pus in opera in maximum 30 minute de la introducerea aditivului.

C) Cresterea rezistentei la compresiune

Mod de lucru

1. Se prepara o cantitate de beton de aproximativ 20 dm³ cu compozitia: 1000(7/16) + 200(3/7) + 600(0/3) + ciment + apa + aditiv. Aditivul se introduce de la inceput in apa de amestec sau dupa 3 minute de mestecare, in functie de indicatiile producatorului. Cantitatea de apa se stabileste prin incercari pentru ca betonul sa aiba o tasare de 8...10 cm.

2. Se amesteca 3 min. Se face o pauza de 5 min. si se reamesteca 1 min.

3. Se determina tasarea (Ta).

4. Se toarna cuburi 14,1 x 14,1 x 14,1 cm care se pastreaza standard si se incearca la varsta de 28 zile. Se noteaza rezistenta la compresiune (Ra) si densitatea (ρ_a).

5. Se prepara betonul martor care are aceeasi compozitie ca si la punctul 1, dar fara aditiv. Prin incercari se determina cantitatea de apa care permite sa se obtina aceeasi tasare ca si la punctul 3 cu o abatere de $\pm 0,5$ cm.

6. Se procedeaza ca si la punctele 2,3,4.

7. Se noteaza rezistenta si densitatea la 28 zile: (Rm) si (ρ_m).

8. Cresterea rezistentei la compresiune ΔR (%) se exprima prin relatia (1).

9. Cresterea densitatii $\Delta \rho$ (%) se exprima prin relatia (2).

$$\Delta R = (R_a / R_m) * 100 \quad (\%) \quad (1)$$

$$\Delta \rho = (\rho_m / \rho_a) * 100 \quad (\%) \quad (2)$$

10. Rezultatele obtinute se inscriu intr-un tabel de forma tabelului 3.6.9

Denumirea	UM	$\Delta \rho$	ΔR
Beton cu 335kg ciment/m ³	%	1,03	13,3
Beton cu 450kg ciment/m ³	%	1,015	12,7

Tabel 3.6.9

Interpretarea rezultatelor: Corespunzator.

D) Reducerea cantitatii de apa

Mod de lucru

1. Se prepara o cantitate de beton de aproximativ 20 dm³ cu compozitia: 1000(7/16) + 200(3/7) + 600(0/3) + ciment + apa + aditiv.

Aditivul se introduce de la inceput in apa de amestec sau dupa 3 minute de mestecare, in functie de indicatiile producatorului.

Cantitatea de apa se stabileste prin incercari pentru ca betonul sa aiba o tasare de 8...10 cm.

2. Se amesteca 3 min. Se face o pauza de 5 min. si se reamesteca 1 min.

3. Se determina tasarea (Ta). Se noteaza cantitatea de apa introdusa (Aa).

4. Se prepara betonul martor , care are aceeasi compozitie ca si la punctul 1, dar fara aditiv.

Se determina prin incercari cantitatea de apa care permite sa se obtina aceeasi tasare ca si la punctul 3, cu o abatere de maxim 0,5 cm.

5. Se procedeaza ca si la punctele 2,3.

6. Se noteaza tasarea betonului martor (Tm)si cantitatea de apa (Am).

7. Reducerea cantitatii de apa ΔA (%) se exprima prin relatia (3):

$$\Delta A = (Aa / Am) * 100 \quad (\%) \quad (3)$$

Rezultatele obtinute sunt inscrise in tabelul 3.6.10

DENUMIREA	UM	Reducerea cantitatii de apa ΔA
Beton cu 335 kg ciment/m ³	%	88
Beton cu 450 kg ciment/m ³	%	83

Tabelul 3.6.10

E) Rezistenta la inghet- dezghet

Mod de lucru

Principiul metodei: Rezistenta la inghet- dezghet se exprima prin pierderea de rezistenta a epruvetelor active care se supun la 25 cicluri de inghet (-17°C) si dezghet (20°C) fata de cea a unor epruvete neutre, alcatuite din acelasi material, care se pastreaza in apa la 20°C pe toata durata incercarii epruvetelor active. Se vor compara valorile rezistentelor la inghet- dezghet ale betoanelor cu aditivul C-GT cu cele ale betonului martor, fara aditiv.

Se fac urmatoarele notatii:

Ra – rezistenta la compresiune a epruvetelor active cu aditiv, dupa 25 cicluri;

Ran - rezistenta la compresiune a epruvetelor neutre, aferente epruvetelor active, pastrate in apa;

Rm - rezistenta la compresiune a epruvetelor active martor, dupa 25 cicluri;

Rmn - rezistenta la compresiune a epruvetelor neutre, aferente epruvetelor martor pastrate in apa;

$Z_a = (R_{an} - R_a) / R_{an} * 100$ (%) rezistenta la inghet- dezghet a betonului cu aditiv

$Z_m = (R_{mn} - R_m) / R_{mn} * 100$ (%) rezistenta la inghet- dezghet a betonului martor.

Rezultatele obtinute se trec intr-un tabel de forma tabelului 3.6.11

DENUMIREA	UM	Pierderea de rezistenta
Za – Beton cu aditivul C- GT	%	3,4
Zm- Beton martor (fara aditiv)	%	0,55

Tabel 3.6.11

Interpretarea rezultatelor: valoarea maxim admisa este de 25 %.
Corespunzator.

b) armarea grinzii

Armarea grinzii tip G5 se face cu otel FE B44K si plase sudate din acelasi tip de otel, agrementate in Romania prin agrement tehnic 010-01/029-1999 si 010-01/027-1999. Precomprimarea grinzilor se realizeaza cu toroane importate din Italia, descrise de asemenea in agrementul tehnic 010-01/026-1999. Tensiunea de precomprimare este de 14400 daN/cm^2 si se realizeaza cu ajutorul unei prese speciale.

Conditii de utilizare

Utilizarea principala a elementelor din beton precomprimat cu panta dubla, tip G5 si G10, este pentru invelitori la constructii civile, industriale si agricole.

B) Descrierea incercarii

Modul de rezemare

Intre grinda si elementul de rezemare s-a intercalat o placa de plumb cu grosime de 2 mm, acesta fiind modul de rezemare real al grinzii.

Modul de masurare a deformatiilor

Aparatele pentru masurarea deformatiilor verticale ale grinzii s-au dispus conform schemei din figura 3.6.11.b. Atat in dreptul reazemelor cat si in camp s-au folosit comparatoare cu fir cu diviziunea de 0.1 mm (fleximetre) pentru care s-a folosit simbolul f, atat in desen cat si in tabelul de inregistrare a datelor.

Rolul comparatoarelor montate in apropierea reazemelor a fost acela de a inregistra tasarile pe reazem, de care s-a tinut seama la determinarea sagetilor grinzii.

Modul de incarcare

Din date continute in proiectul de executie- intocmit de LA NOVA PRECOMPRESI Valsugana SPA, Italia- rezulta urmatoarele incarcari:

Greutatea proprie a grinzii.....570 daN/m

Greutatea permanenta.....180 daN/m

Greutatea permanenta eventuala.....140daN/m

Incarcarea accidentala.....552 daN/m

Incarcare accidentala aditionala.....20 daN/m

Incarcare de exploatare.....1322 daN/m

In plus la aceasta incarcare s-a mai luat in considerare actiunea a doua forte concentrate de cate 1500daN, reprezentand incarcarea din luminator. Din actiunea

acestor forte concentrate a rezultat un moment $M = 14663 \text{ daNm}$, care inseamna o incarcare uniform distribuita de 212 daN/m pe deschideea grinzii.

Incarcarea totala de exploatare a rezultat : 1534 daN/m .

Momentul de fisurare (conform proiectului):

$$M_f = 199110 \text{ daNm}$$

$$P_f = \frac{8 \times 199110}{23.5^2} = 2884 \text{ daN/m}$$

Treptele de incarcare se iau conform STAS 6657/2-89:

- Incarcare din greutatea proprie: $p_1 = 570 \text{ daN/m}$
- Incarcarea permanenta: $p_2 = 570 + 180 + 140 + 212 = 1102 \text{ daN/m}$
- 80% din incarcarea de exploatare: $p_3 = 0.80 \times 1534 = 1227 \text{ daN/m}$
- penultima treapta inainte de exploatare: $p_4 = (1227 + 1534)/2 = 1380 \text{ daN/m}$
- incarcarea de exploatare: $p_5 = 1534 \text{ daN/m}$
- 1.1 x incarcarea de exploatare: $p_6 = 1.1 \times 1534 = 1687 \text{ daN/m}$

Conform STAS 6657/2-80, verificarea sub incarcare se face intr-o singura etapa (etapa I) (nedistructiva), la care se verifica sageata si fisurarea, in doua cicluri complete incarcare/ descarcare.

Elementul incadrandu- se in clasa I de fisurare, nivelul maxim de incarcare pentru aceasta etapa este incarcarea de exploatare marita cu 10%.

In practica nu s-a putut realiza o incarcare uniform distribuita. De aceea, incarcarea suplimentara fata de greutatea proprie a grinzii a constat din mai multe forte concentrate echivalente (fig. 3.6.11.a). Acestea s-au realizat cu ajutorul bobinelor de armatura cu greutate de 2200 kg , din stocul firmei, care s-au deplasat in diferite pozitii pe lungimea grinzii. Echivalarea efectului fortelor concentrate P' cu o incarcare fictiva p' s-a facut din conditia ca ele sa dea acelasi moment incovoietor in sectiunea de la mijlocul grinzii.

Incarcarea grinzii in etapa I s-a facut in doua cicluri succesive de incarcare/descarcare, pana la atingerea valorii de $1.1 \times$ incarcarea de exploatare.

Incarcarile uniform distribuite, respectiv momentele de incovoiere, pentru realizarea treptelor de incarcare aplicate pe grinda, exclusiv cele de greutate proprie a grinzii, sunt urmatoarele:

$p_2' = 523 \text{ daN/m};$	$M_2' = 36725 \text{ daNm}$
$p_3' = 657 \text{ daN/m};$	$M_3' = 45354 \text{ daNm}$
$p_4' = 810 \text{ daN/m};$	$M_4' = 55915 \text{ daNm}$
$p_5' = 964 \text{ daN/m};$	$M_5' = 66546 \text{ daNm}$
$p_6' = 1117 \text{ daN/m};$	$M_6' = 77108 \text{ daNm}$

Fortele concentrate echivalente aplicate pe grinda si modul de realizare a acestora pentru etapa I- exploatare (doua cicluri de incarcare/descarcare) sunt sintetizate in tabelul 3.6.12:

Treapta	Forta aplicata P' (daN)	Observatii
1	0	Greutate proprie grinda (fig.2)
2	$P'_{i,2} = 2189$ $i = 1,6,7,8,13$	Se incarca campul: 1,6,7,8 si 13 (fig.4)
3 (80 % exploatare)	$P'_{i,3} = 2220$ $i = 1,6,7,8,13,3,12$	Se incarca si campul: 3 si 12 (fig.5)
4	$P'_{i,4} = 2238$ $i = 1,6,7,8,13,3,12,10,2$	Se incarca si campul: 10 si 2 (fig.6)
5 (exploatare)	$P'_{i,5} = 2187$ $i =$ 1,6,7,8,13,3,12,10,2,11,4	Se incarca si campul: 11 si 4 (fig.7)
6 (1.1 x exploatare)	$P'_{i,6} = 2235$ $i =$ 1,6,7,8,13,3,12,10,2,11,4,5	Se incarca si campul: 5 (fig.8)
5 (exploatare)	$P'_{i,5} = 2187$ $i =$ 1,6,7,8,13,3,12,10,2,11,4	Se descarca campul: 5
4	$P'_{i,4} = 2238$ $i = 1,6,7,8,13,3,12,10,2$	Se descarca campul: 11 si 4
3 (80 % exploatare)	$P'_{i,3} = 2220$ $i = 1,6,7,8,13,3,12$	Se descarca campul: 10 si 2
2	$P'_{i,2} = 2189$ $i = 1,6,7,8,13$	Se descarca campul: 3 si 12
1	0	Greutate proprie grinda

Tabel 3.6.12.
Etapa I- exploatare- ciclul 1+2 (incarcare / descarcare)

Se respecta astfel prevederile STAS 6657/2-89, care cer ca:

- prima treapta sa corespunda incarcarii din greutatea proprie;
- una din primele trepte sa corespunda incarcarii permanente;

- ultima treapta sa fie egala cu incarcarea de exploatare marita cu 10%, in care caz penultima treapta trebuie sa fie incarcarea de exploatare.

Acelasi standard cere ca pana la 80% din incarcarea maxima nici o treapta (cu exceptia primei trepte) sa nu depaseasca 25% din incarcarea maxima prescrisa, iar in continuare 10%.

In total s-au efectuat doua cicluri complete de incarcare (treptele 1- 6) si doua cicluri complete de descarcare (treptele 6- 1).

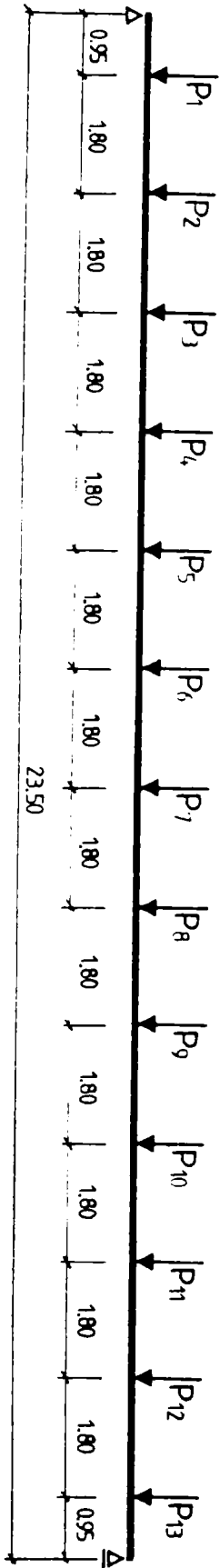
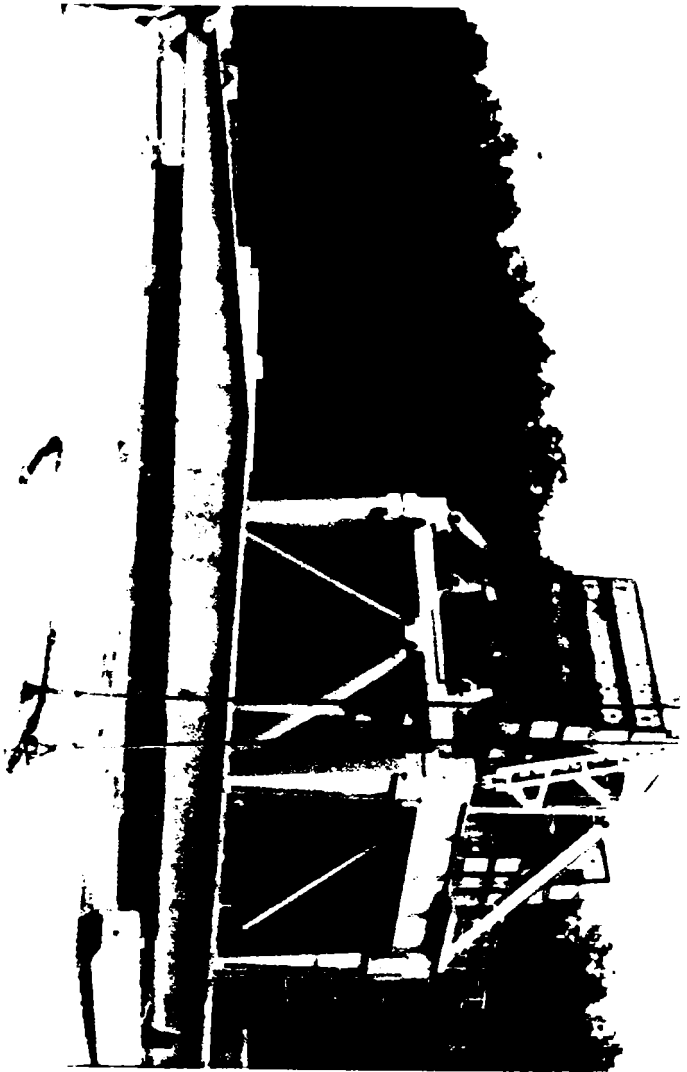
C) Rezultatele incercarii

a) Deformarea pe verticala a grinzii

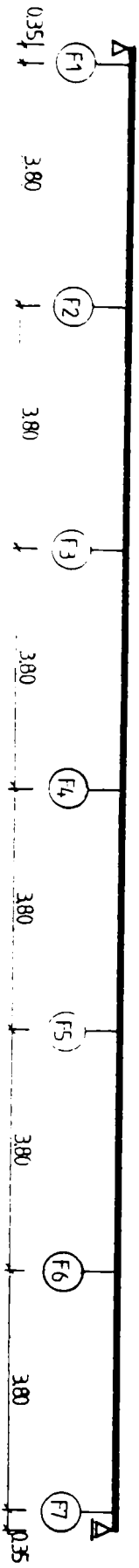
Sagetele calculate pe baza inregistrarilor fleximetrelor (amplasate conform fig. 3.6.11 b) sunt centralizate in tabelul 3.6.13. Aceste sageti s-au calculat scazandu-se din deformatia corespunzatoare fiecarei trepte media aritmetica a tasarilor pe reazeme (fleximetrele 1 si 7).

	Treapta	p (daN/m)	F2	F3	F4	F5	F6
Ciclu I	1	570	0	0	0	0	0
	2	1102	5.85	9.15	10.55	9.05	5.65
	3	1227	8.20	12.3	14.1	12.1	7.9
	4	1380	10.35	15.85	18.35	15.95	10.55
	5	1534	14.3	22.0	24.1	21.1	13.9
	6	1687	16.3	24.5	27.3	23.9	15.6
	5	1534	15.3	22.7	25.5	22.4	14.7
	4	1380	12.65	18.95	21.45	18.85	12.15
	3	1227	10.4	15.4	17.7	15.3	10.0
	2	1102	10.0	12.7	14.8	12.4	8.0
Ciclu II	1	570	2.15	3.25	2.75	1.85	1.45
	1	570	1.1	1.6	1.7	1.0	0.9
	2	1102	7	10.7	12.6	10.2	6.7
	3	1227	8.9	13.9	15.1	13.3	9.0
	4	1380	10.25	17.55	20.05	17.15	10.45
	5	1534	11.05	21.95	24.95	21.55	14.35
	6	1687	12.3	25.4	28.4	24.6	16.3
	5	1534	11.3	23.4	26.6	23.0	15.4
	4	1380	10	19.9	22.6	19.5	12.9
	3	1227	7.05	16.55	19.15	16.05	10.55
2	1102	8.85	13.55	15.85	13.15	8.75	
1	570	1.7	2.8	3.2	2.5	1.9	

Tabel 3.6.13.
Sagetele verticale (mm) sub incarcare



a)



b)

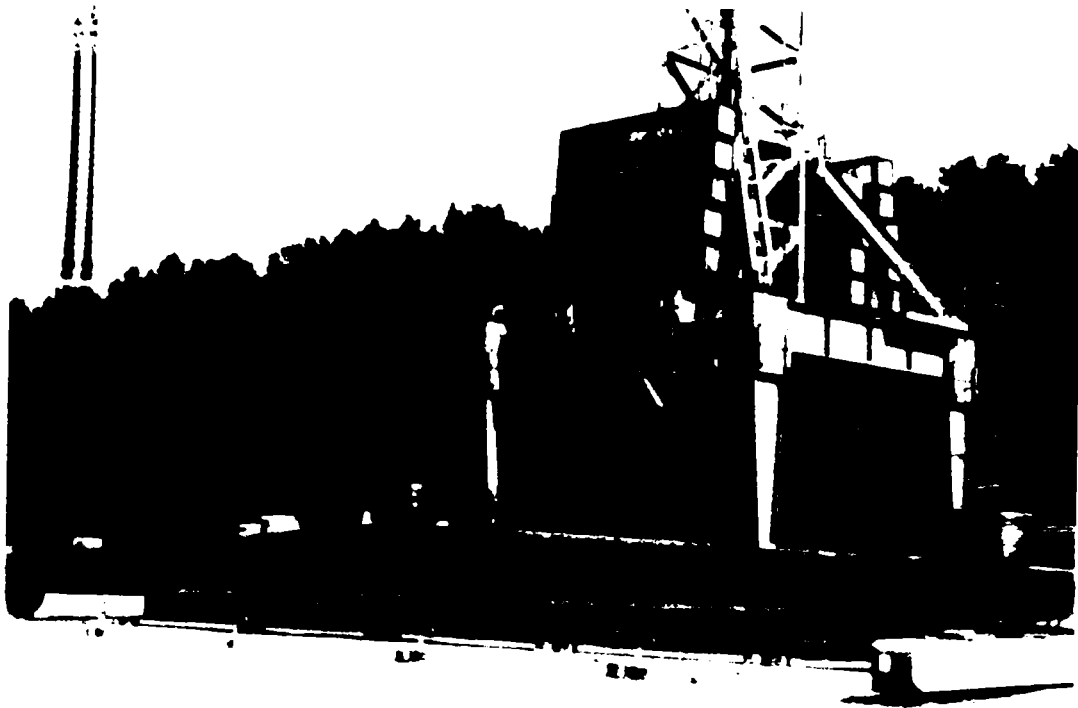


Fig. 3.6.12

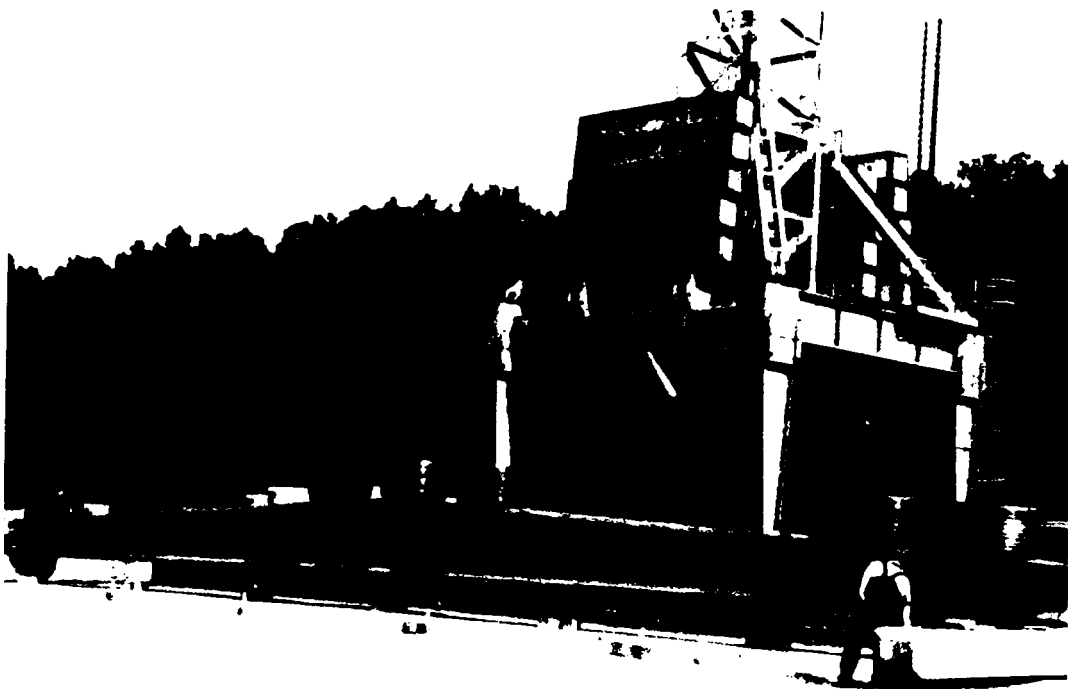


Fig. 3.6.13

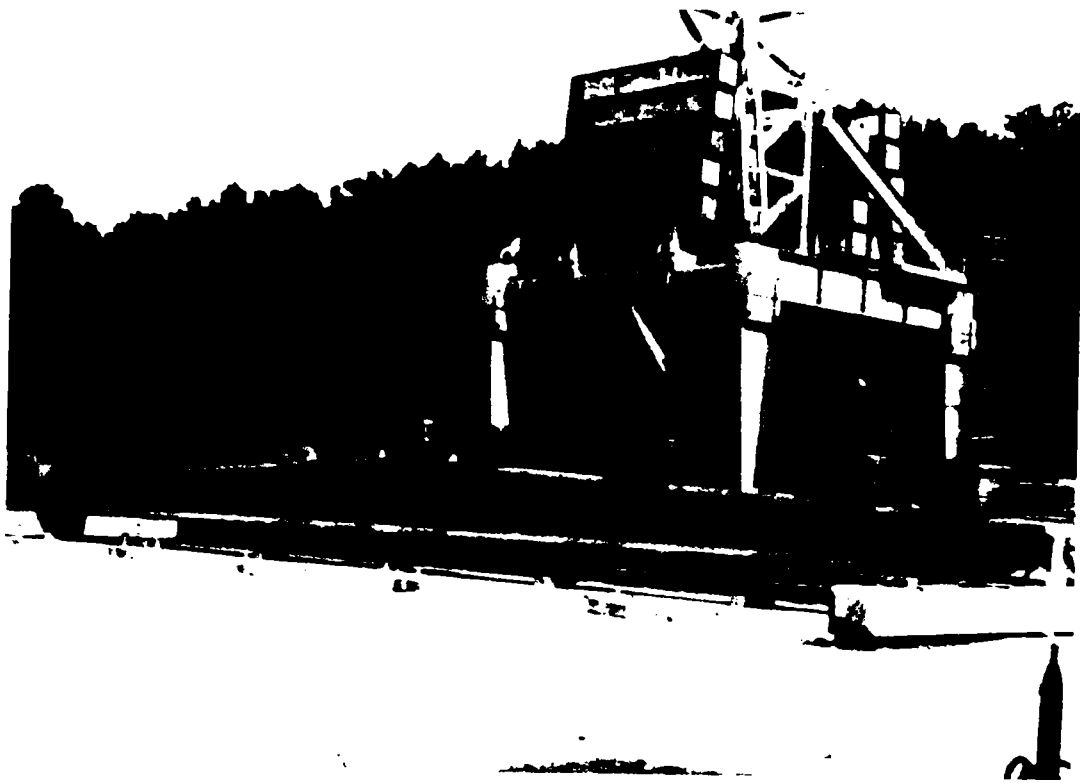


Fig. 3.6.14

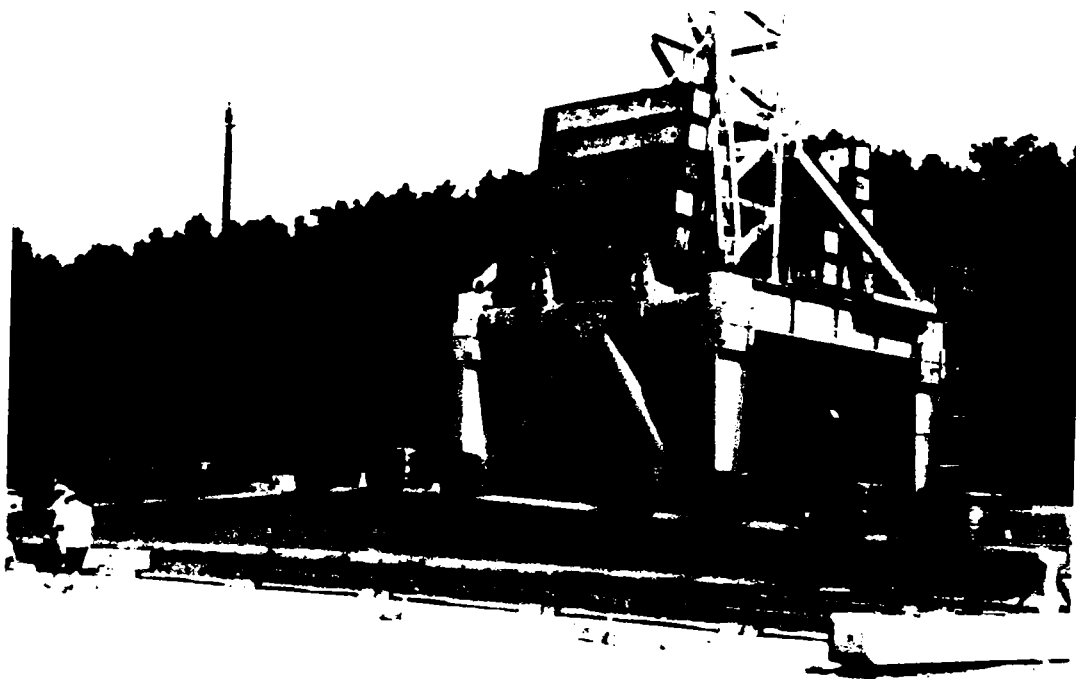


Fig. 3.6.15

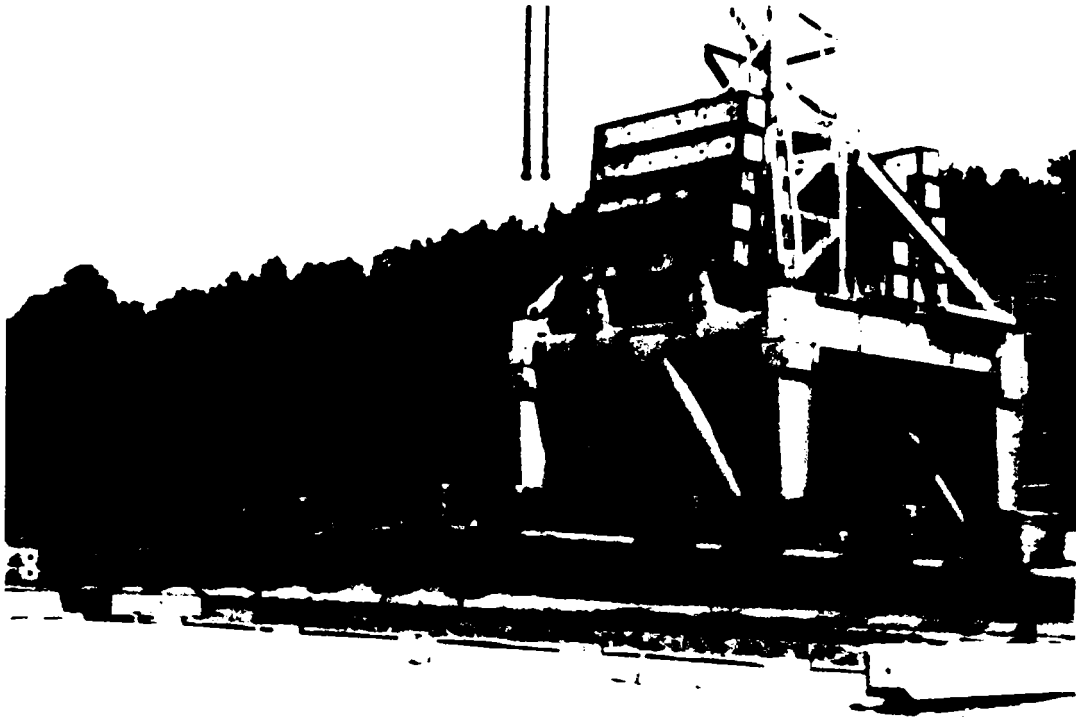


Fig. 3.6.16

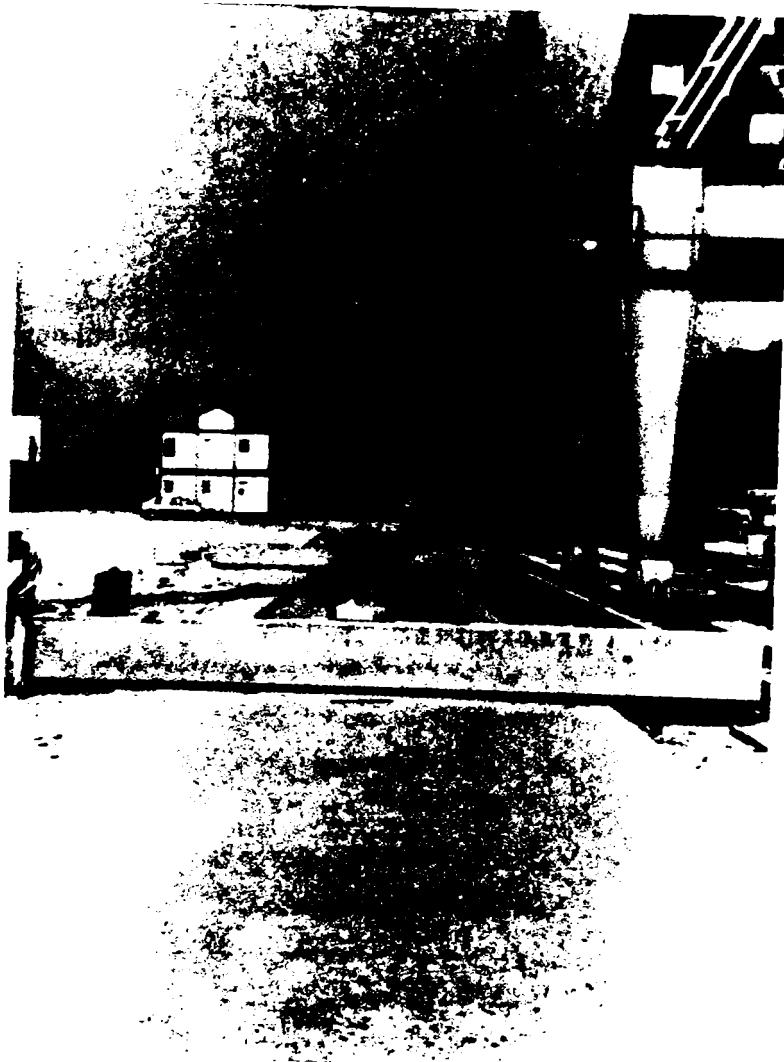


Fig. 3.6.17

GRINDA G5 -ciclu I - exploatare

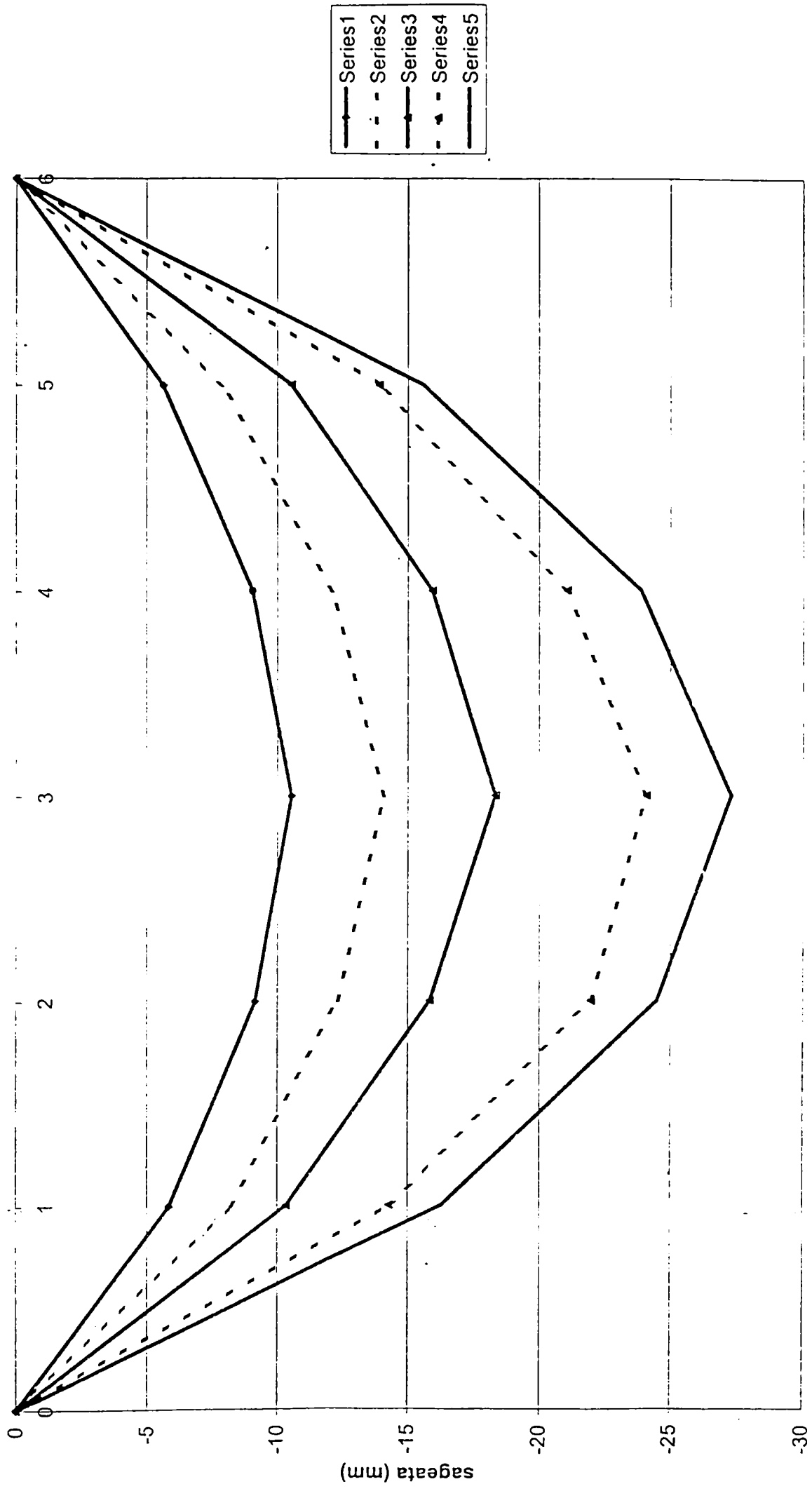


Fig.3.6.18

GRINDA G5 - ciclu II - exploatare



Fig.3.6.19

GRINDA G5

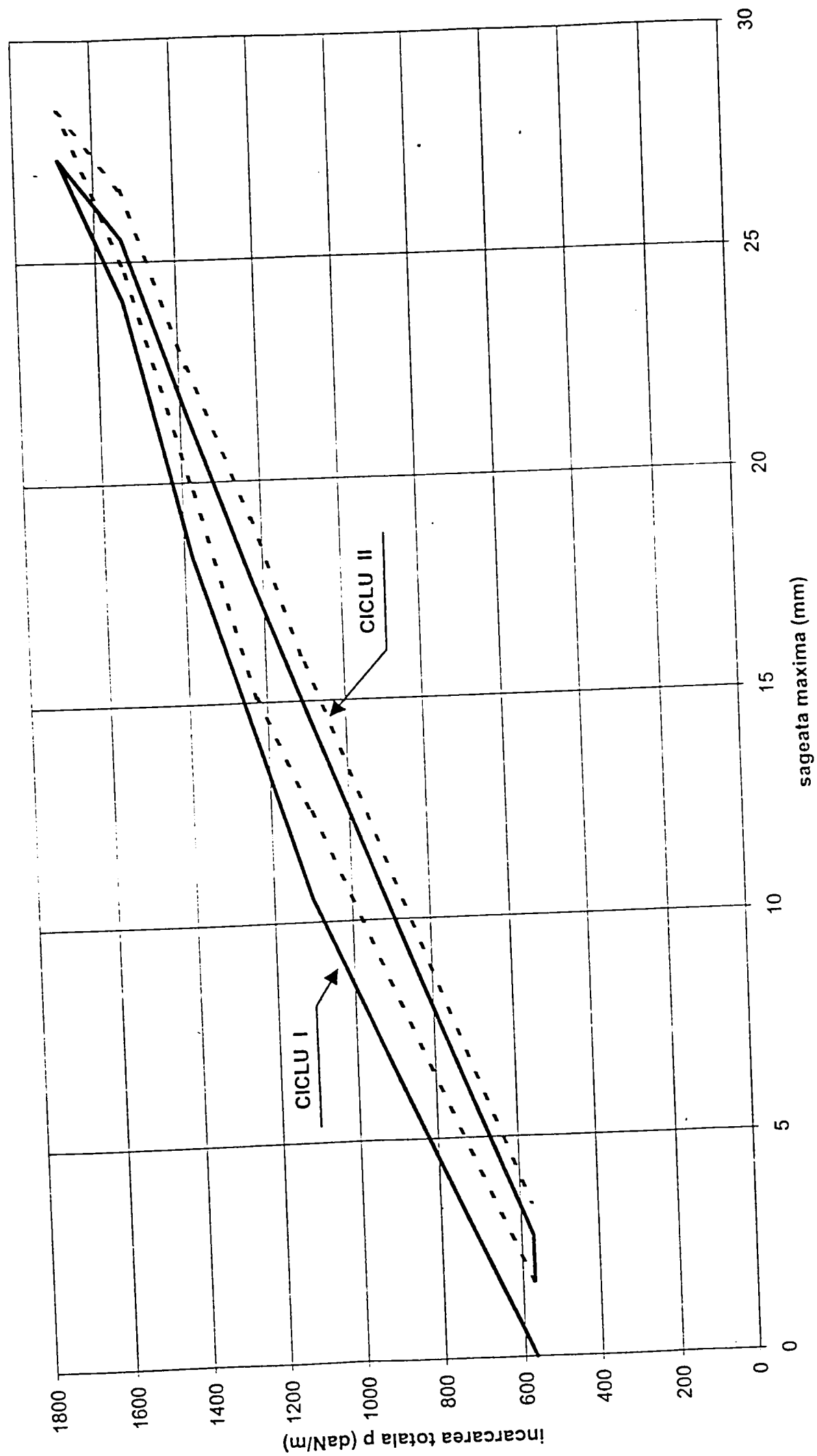


Fig.3.6.20

In figurile 3.6.18-3.6.20 sunt reprezentate sagetile verticale rezultate dupa prelucrarea datelor inregistrate (din citirea fiecarei valori a fleximetrului s-a sczut media citirilor din dreptul reazemului, pentru a se face corectia pentru tasarea reazemului), dupa cum urmeaza:

- figura 3.6.18 – ciclul I de incarcare;
- figura 3.6.19 – ciclul II de incarcare;
- figura 3.6.20 – variatia sagetii maxime din sectiunea de la mijlocul deschiderii ($f_{\max} = F4$).

Conform STAS 6657/1-89, sageata maxma la ultimul ciclu din etapa I (exploatare) se limiteaza la $1.3f_c$, unde f_c reprezinta sageata de control. Aceasta se calculeaza pentru incarcarea de exploatare, exclusiv greutatea proprie a grinzii:

$$f_c = \frac{5}{384} \frac{pl^4}{0.85EI} = \frac{5}{384} \frac{11.17 * 2350^4}{0.85 * 5713585 * 380000} = 2.404 \text{ cm}$$

in care:

$$p = p'_6 = 11.17 \text{ daN/m (pct.3.3);}$$

$$l = 2350 \text{ cm (deschiderea grinzii);}$$

$E = 380000 \text{ daN/cm}^2$, $I = 5713585 \text{ cm}^4$ (modulul de elasticitate, respectiv momentul de inertie al sectiunii, conform proiect).

Sageata maxima in ciclul II (tabel 3.6.13) are valoarea:

$$f_{\max} = 28.4 \text{ mm} < 1.3f_c = 1.3 * 24.04 = 31.25 \text{ mm.}$$

Pe de alta parte, trebuie ca diferenta dintre sagetile remanente din ultimul si penultimul ciclu al etapei I (exploatare) sa nu depaseasca 2% din sageata maxima determinata la ultimul ciclu:

$$\Delta f_{r2} = f_{r2} - f_{r1} = 3.2 - 2.75 = 0.45 \text{ mm} < 0.02 f_{\max} = 0.02 * 28.4 = 0.57 \text{ mm}$$

b) Aparitia si deschiderea fisurilor

Pe parcursul solicitarii la cele doua cicluri de exploatare nu s-a constatat aparitia sau deschiderea de fisuri pe grinda G5 incercata.

Concluzii

Pe baza rezultatelor experimentale se poate afirma ca grinda incercata indeplineste conditiile de rezistenta, de rigiditate si de fisurare cerute de normele in vigoare. Aceasta afirmatie poate fi extinsa la productia in serie numai in masura in care fabricantul asigura respectarea proiectului (atat in ceea ce priveste dimensiunile sectiunilor de beton si de armatura, cat si calitatea materialelor utilizate), precum si respectarea tehnologiilor de executie, inclusiv a celei de precomprimare.

3.6.3. Retete privind prepararea betonului

Compozitiile betoanelor de inalte si foarte inalte performante

Stabilirea compozitiei unui beton de inalte sau foarte inalte performante este mai complexa decat la betonul obisnuit, intrucat intervin parametri noi si anume: aditivul superplastifiant si silicea ultrafina. Optimizarea compozitiei unui astfel de beton ar necesita, din cauza numarului crescut de parametri, un numar mai mare de amestecuri de proba. Acesta este motivul pentru care unii cercetatori au cautat sa simplifice modul de stabilire a compozitiei unui beton de inalte sau foarte inalte performante. In acest context, in cadrul Laboratorului Central de Poduri si Sosele din Paris a fost stabilita "Metoda pastelor".

Exemple de compozitii de betoane de inalte si foarte inalte performante, realizate in Franta, sunt prezentate in tabelul 3.6.14.

Tipul betonului	Agregate, kg/m ³			Ciment CPA 55 HTS kg/m ³	Silice ultrafina kg/m ³	Apa kg/m ³	A/(C+SUF)	Super-plastifiant kg/m ³
	0-5 mm	5-12,5 mm	12,5-20 mm					
Beton de inalte performante $R_c^{28}=70$ N/mm ²	652	411	854	415	-	132	0,32	6,4
Beton de foarte inalte performante $R_c^{28}=110$ N/mm ²	638	402	854	421	24,1	112	0,25	9,3

Tabel 3.6.14
Compozitii de betoane de inalte si foarte inalte performante
(cu tasarea de 20 cm)

Se constata din compozitiile prezentate ca scheletul granular al betoanelor este aproape identic; variaza dozajul de ciment, raportul $A/(C+SUF)$, dozajul de superplastifiant si dozajul de silice ultrafina.

Analiza mai multor compozitii de betoane de inalte si foarte inalte performante, existente in literatura de specialitate, conduce la concluzia ca adaugand in compozitiile unor betoane obisnuite de clase superioare (C32/40-C50/60) a 1-2% aditiv superplastifiant (fata de masa liantului) si a cca 10% silice ultrafina (fata de masa cimentului) se pot obtine betoane de inalte performante declasele C56/70-C80/100.

Pe baza acestei concluzii la Laboratorul de Materiale de constructii al Facultatii de Constructii din Timisoara s-a realizat, pornind de la un beton obisnuit de clasa C32/40, un beton de inalte performante de clasa C56/70. Compozitiile reale ale betonului obisnuit si ale betonului de inalte performante sunt date in tabelul 3.6.15.

Tipul betonului	Agregate, kg/m ³			Ciment I 42,5R	Silice ultrafina kg/m ³	Apa kg/m ³	$A/(C+SUF)$	Superplastifiant kg/m ³
	0-3,15 mm	3,15-7,1 mm	7,1-16 mm					
Beton obisnuit C32/40	437,6	422	703,4	572,7	-	239,2	0,418	-
Beton de inalte performante C56/70	437,6	422	703,4	572,7	57,3 ¹⁾	200,8	0,319	6,3 ²⁾

¹⁾ 10% din masa cimentului

²⁾ 1% din masa liantului (ciment+silice)

Tabel 3.6.15

Compozitia unui beton obisnuit si a unui beton de inalte performante

Rezulta ca un mod acoperitor de stabilire a compozitiei unui beton de inalte performante presupune urmatoarele etape:

- se stabileste compozitia unui beton obisnuit, de clasa de 1,5 ori mai mica decat clasa dorita pentru betonul de inalte performante;
- se completeaza compozitia betonului obisnuit cu 10% silice ultrafina (fata de masa cimentului) si 1-2% aditiv superplastifiant (fata de masa ciment+silice);

- la preparare se reduce cantitatea de apa pentru ca betonul de inalte performante sa aiba o consistenta identica cu a betonului obisnuit;
- se verifica rezistenta la compresiune a betonului de inalte performante obtinut, urmand, daca este cazul, sa se intreprinda corectii asupra dozajelor de ciment, silice ultrafina sau superplastifiant.

Cercetatorii francezi propun pentru estimarea rezistentei la compresiune a betoanelor de inalte performante legea lui Feret modificata, cu expresia:

$$R_b = \frac{k_g * R_c}{\left[1 + \frac{3,1 * A / C}{1,4 - 0,4 * e^{(-11S / C)}} \right]^2}$$

unde:

R_b – rezistenta medie la compresiune a betonului, in N/mm^2 ;

R_c – clasa reala a cimentului, in N/mm^2 ;

A – dozajul de apa, in kg/m^3 ;

C – dozajul de ciment, in kg/m^3 ;

S – dozajul de silice, in kg/m^3 ;

k_g – coeficient ce depinde de calitatea agregatelor; pentru agregate curense valoarea $k_g = 4,91$ conduce la rezultate satisfacatoare.

Unele caracteristici ale betoanelor de inalte si foarte inalte performante

Rezistente mecanice

Rezistenta la compresiune la 28 zile a betoanelor de inalte performante depaseste $60 N/mm^2$. In fig. 3.6.22 este prezentata variatia in timp a rezistentei la compresiune pentru trei tipuri de betoane: obisnuit, de inalte performante si de foarte inalte performante.

In aceasta figura poate fi urmarita viteza de crestere a rezistentei la compresiune. Astfel rezulta:

- pentru betonul obsnuit $R_c^{3z}/R_c^{28z} = 51\%$;
- pentru betonul de inalte performante $R_c^{3z}/R_c^{28z} = 64\%$;
- pentru betonul de foarte inalte performante $R_c^{3z}/R_c^{28z} = 71\%$.

Viteza de crestere a rezistentei la compresiune mai ridicata pentru betoanele de inalte performante poate fi atribuita modificarii cineticii de hidratare a acestora.

Rezistenta la intindere a betoanelor de inalte performante nu creste atat de spectaculos ca si rezistenta la compresiune. Motivele nu sunt inca elucidate.

Ordinul de marime al unor caracteristici mecanice ale betoanelor de inalte si foarte inalte performante este prezentat in tabelul 3.6.16.

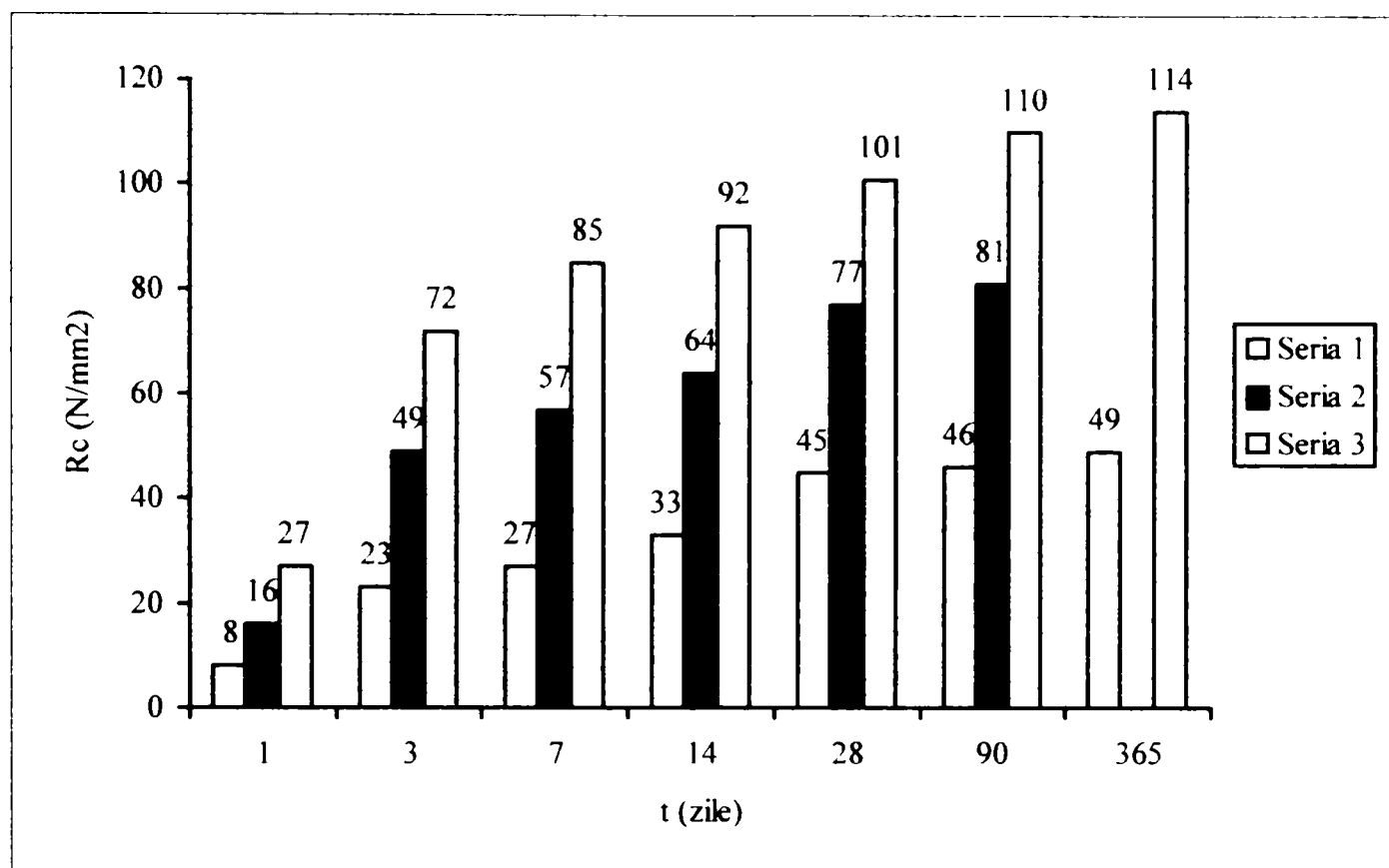


Fig. 3.6.22

Variatia in timp a rezistentei la compresiune pentru:
 Seria 1- beton obisnuit; Seria 2- beton de inalte performante;
 Seria 3- beton de foarte inalte performante

Caracteristica	Betoane de inalte performante	Betoane de foarte inalte performante
Rezistenta la compresiune	60-80 N/mm ²	80-120 N/mm ²
Modulul de elasticitate	45-48 kN/mm ²	48-53 kN/mm ²
Rezistenta la intindere prin despicare	5-5,3 N/mm ²	5,5-6,5 N/mm ²

Tabel 3.6.16

Ordinul de marime al caracteristicilor mecanice ale betoanelor de inalte si foarte inalte performante

Deformatii in timp

Deformatiile in timp sunt:

- contractia endogena, datorita formarii compusilor hidratati;
- contractia la uscare, in urma scaderii continutului de apa din beton;
- curgerea lenta, podusa sub actiunea de durata a incarcarilor.

In tabelul 3.6.17 se prezinta aceste deformatii pentru un beton de foarte inalte performante in comparatie cu aceleasi deformatii pentru un beton obisnuit.

Caracteristica	Beton obisnuit (BO)	Beton de foarte inalte performante (BFIP)	$\frac{BFIP}{BO}$
Modulul de elasticitate	36800 N/mm ²	53400 N/mm ²	1,45
Contractia endogena	120 x 10 ⁻⁶	220 x 10 ⁻⁶	1,83
Contractia de uscare	530 x 10 ⁻⁶	120 x 10 ⁻⁶	0,22
Curgerea lenta (la 30% din σ_r)	330 x 10 ⁻⁶	229 x 10 ⁻⁶	0,69
Adancimea medie de carbonatare la 28 zile ($U_r = 50\%$, carbonatare accelerata)	8,7 mm	1,6 mm	0,18

Tabel 3.6.17

Deformatiile in timp ale unui beton de foarte inalte performante, comparativ cu deformatiile unui beton obisnuit

Din acest tabel se constata ca, fata de betonul obisnuit, betonul de foarte inalte performante are:

- contractia endogena aproape dubla;
- contractia la uscare de circa 5 ori mai redusa;
- curgerea lenta redusa la 70%.

Comportarea la inghet-dezghet

Datele privind aceasta rezistenta sunt inca contradictorii.

Betonul de inalte performante pare sa fie mai putin sensibil la inghet-dezghet, fata de betonul obisnuit, dar necesita totusi un aditiv antrenor de aer.

Betonul de foarte inalte performante pare a fi complet insensibil la inghet-dezghet.

La acesta din urma permeabilitatea foarte mica (de 10 ori mai mica fata de un beton obisnuit) modifica esential comportarea la inghet-dezghet.

Comportarea la agenti destructivi externi

La fel ca si la inghet-dezghet permeabilitatea scazuta si slaba lor porozitate permit sa fie mai putin sensibile la actiunile exterioare.

Domenii de utilizare ale betoanelor de inalte si foarte inalte performante

Rezistenta la compresiune ridicata si alte caracteristici imbunatatite ale betoanelor de inalte si foarte inalte performante au determinat utilizarea acestora intr- serie de aplicatii specifice incluzand elemente si structuri monolite sau prefabricate.

Principalele aplicatii se refera la stalpi pentru constructii inalte, poduri si structuri marine.

In tabelul 3.6.18 sunt prezentate aplicatiile acestor betoane cu evidentierea proprietatilor valorificate.

Aplicatia	Proprietatile valorificate
Stalpii constructiilor inalte	Rezistenta la compresiune
Poduri, lucrari de arta	Rezistenta si durabilitatea
Structuri marine	Rezistenta mecanica si la agresiuni chimice
Prefabricate	Rezistenta la compresiune si viteza de crestere a acesteia (spor de productivitate)
Tuneluri	Etanseitate la apa, rezistenta la ape agresive
Constructii nucleare	Etanseitate la gaze cu conditia evitarii fisurarii datorate uscarii la suprafata

Tabel 3.6.18

Unele constructii la care s-au utilizat betoane de inalte si foarte inalte performante sunt date in tabelul 3.6.19.

Constructia	Locul	Anul executiei	Numarul de etaje	Rezistenta la compresiune a betonului, N/mm ²
Royal Bank Plaza	Toronto	1975	43	61
Richmond-Adelaide Toronto	Toronto (centru)	1978	33	61
Midcontinental Plaza	Chicago	1972	50	62
Frontier Towers	Chicago	1973	55	62
Water Tower Place	Chicago	1975	79	62
River Plaza	Chicago	1976	56	62
Chicago Mercantile Exchange	Chicago	1982	40	62
Columbia Center	Seattle	1983	76	66
Interfirst Plaza	Dallas	1983	72	69
900 N. Mich. Annex	Chicago	1986	15	97
South Wacker Tower	Chicago	1989	79	83
Grande Arche de la Defense	Paris	1988		65
Bibliotheque Nationale de France	Paris	1993-1997	18 (79m)	69-86,5
Two Union Square	Seattle	1989	58	115
Pacific First Center	Seattle	1989	44	115
Gateway Tower	Seattle	1989	62	94
Moscheea Hassan II	Maroc	1988-1989		92

Tabel 3.6.19
Constructii executate cu betoane de inalte
si foarte inalte performante

In tabelul 3.6.20 sunt prezentate poduri la care s-au utilizat betoane de inalte performante.

Podul	Locul	Anul executiei	Deschiderea maxima, m	Rezistenta la compresiune a betonului, N/mm ²
Tower Road Bridge	Washington	1981	49	62
Fukamitsu Highway Bridge	Japonia	1974	26	69
Ootanabe Railway Bridge	Japonia	1973	24	79
Akkagawa Railway Bridge	Japonia	1976	46	79
Deutzer Bridge	Germania	1978	185	69
Pont L'ILE DE RE	Franta	1987		68
Viaductul SYLANS	Franta	1986-1988		69-75
Pont de Pertuiset	Franta	1988	110	65
Pont de Joigny	Franta	1988		60
Arc sur la Rance	Franta	1989		60
Boknasundet	Norvegia	1990	190	60
Helglandsbrua	Norvegia	1990	425	65

Tabel 3.6.20
Poduri la care s-au utilizat betoane de inalte performante

3.6.3.1 Metoda pentru stabilirea compozitei betoanelor inalt performante

Betoanele cu inalte performante sunt considerate in literatura de specialitate ca fiind betoanele care au, pe langa o rezistenta ridicata la compresiune, si alte proprietati imbunatatite cum sunt modulul de elasticitate, contractia, curgerea lenta, precum si caracteristicile de durabilitate. Cu toate acestea clasificarea lor se face, deocamdata, doar dupa rezistenta la compresiune in: betoane cu inalte performante, cu o rezistenta medie la compresiune la 28 zile de 60-80 N/mm² si betoane cu foarte inalte performante, cu o rezistenta medie la compresiune la 28 zile ce depaseste 80 N/mm².

Obtinerea unor astfel de betoane presupune nu numai utilizarea unor cimenturi si agregate de calitate superioara ci si a unor componente specifici ca aditivii superplastifianti si materialele granulare ultrafine. Aditivii superplastifianti permit

o reducere substantiala a raportului A/C cu mentinerea unei bunelucrabilitati, iar materialele granulare ultrafine silicioase (silicii ultrafine sau filere silicioase) pe langa completarea granulozitatii scheletului granular al amestecului dau si reactii puzzolanice in masa betonului.

Premisele metodei

Stabilirea compozitiei unui beton cu inalte performante este mai complexa decat la betonul obisnuit, intrucat intervin parametri noi si anume: aditivul superplastifiant si silicea ultrafina. Optimizarea compozitiei unui astfel de beton ar necesita, din cauza numarului crescut de parametri, un numar mai mare de amestecuri de proba. Acesta este motivul pentru care unii cercetatori au cautat sa simplifice modul de stabilire a compozitiei unui beton cu inalte performante.

In context cu cele de mai sus se prezinta in continuare premisele si etapele unei metode de stabilire a compozitiei unui beton cu inalte performante, denumita "Metoda pastelor", dezvoltata in cadrul Laboratorului Central de Poduri si Sosele Paris. Metoda are la baza urmatoarele premise:

- a) pasta are rol hotarator in structura betonului cu inalte performante, de unde ideea de a face incercari pe paste, incercarile pe beton fiind doar pentru verificarea precedentelor;
- b) dozajul de agregate si granulometria acestora pot fi pastrate constante cu cele ale unui beton obisnuit, pentru care ele au facut deja obiectul unei optimizari prealabile;
- c) fluiditatea si volumul de pasta se pot mentine de asemenea constante cu cele ale betonului de referinta. Aceasta intrucat s-a constatat ca:
 - paste de aceeasi fluiditate introduse in acelasi schelet granular conduc la betoane cu lucrabilitati comparabile;
 - domeniul de variatie a volumului de pasta este foarte redus pentru un acelasi schelet granular daca se urmareste evitarea segregarii datorate insuficientei sau excesului de pasta. Altfel spus, volumul de pasta depinde de "capacitatea rezervorului" constituit de scheletul granular al betonului, care este fixata de granulometria agregatelor.

Etapele metodei

Tinand seama de premisele prezentate anterior metoda prevede parcurgerea urmatoarelor etape:

1. Se calculeaza compozitia unui beton obisnuit, corespunzatoare unei rezistente cat mai mari la compresiune. In acest scop se utilizeaza ciment de clasa superioara, pietris de rau sau de concasaj si nisip de rau.

2. Se stabileste compozitia betonului cu inalte performante de referinta. Pentru aceasta se pastreaza agregatele rezultate la pct.1, se adopta un dozaj de ciment de 425 kg/m^3 (presupus a conduce la o compactitate maxima pentru granulometriile curente), se adauga 1,5% superplastifiant fata de masa cimentului si se tatoneaza dozajul de apa pentru a obtine un beton fluid.
3. Se fixeaza caracteristicile pastei de referinta. In compozitia acestei paste intra dozajele de ciment, superplastifiant si apa stabilite pentru betonul cu inalte performante de referinta, mai putin 10 l/m^3 , apa considerata ca fiind necesara pentru preumectarea agregatelor. Pentru aceasta pasta se masoara timpul de scurgere cu conul lui Marsh (fig.3.6.23). Ajutajul conului si vasul de sub con se aleg astfel ca timpul de scurgere, respectiv de umplere a vasului, sa fie de 5...15 s. Timpul de scurgere obtinut va fi "timpul de scurgere de referinta" iar operatiile de determinare a lui vor ramane neschimbate pentru celelalte determinari de timpi de scurgere.

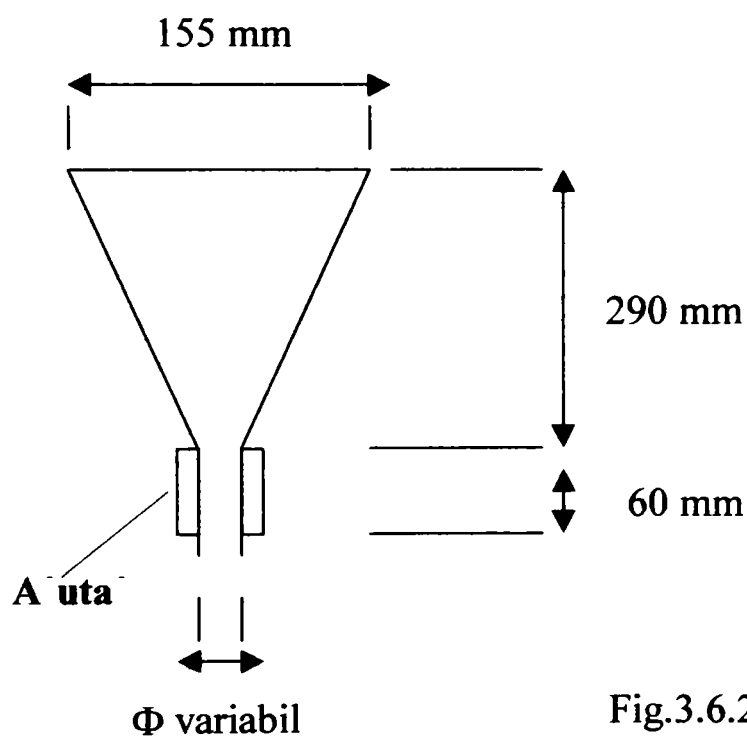


Fig.3.6.23
Conul lui Marsh

4. Pentru paste in care se introduc 5, 10, 15% silice ultrafina, fata de masa cimentului, se cerceteaza dozajul de saturatie cu superplastifiant. Dozajul de saturatie este definit ca fiind acela care corespunde timpului de scurgere minim la conul lui Marsh. Cand se stabileste dozajul de saturatie, raportul

A/C ramane constant si egal cu cel de la pasta de referinta (A include si apa din superplastifiant daca acesta este livrat sub forma de solutie).

5. Pentru pastele care contin silice in dozaje de 5, 10, 15% fata de masa cimentului si dozajele de saturatie cu superplastifiant, stabilite conform punctului 4, se determina dozajul de apa astfel incat sa se obtina un timp de scurgere la conul lui Marsh egal cu "timpul de scurgere de referinta" (v.pct.3). cu cele trei tipuri de paste se stabilesc 3 compozitii de betoane cu inalte performante, avand grija ca la toate volumul de pasta sa fie constant cu volumul pastei de la betonul cu inalte performante de referinta. Rezistenta la compresiune a acestor betoane se poate estima cu legea lui Feret modificata [80], [81], [82], care are relatia:

$$R_b = \frac{k_g * R_c}{\left[1 + \frac{3,1 * A/C}{1,4 - 0,4 * e^{(-11S/C)}} \right]^2}$$

unde:

R_b – rezistenta medie la compresiune a betonului, in N/mm^2 ;

R_c – clasa reala a cimentului, in N/mm^2 ;

A – dozajul de apa, in kg/m^3 ;

C – dozajul de ciment, in kg/m^3 ;

S – dozajul de silice, in kg/m^3 ;

k_g – coeficient ce depinde de calitatea agregatelor; pentru agregate curense valoarea $k_g = 4,91$ conduce la rezultate satisfacatoare.

6. Se stabileste compozitia preliminara a betonului cu inalte performante alegand din cele 3 compozitii rezultate la pct. 5 pe aceea care conduce, conform relatiei anterioare, la o rezistenta la compresiune apoiata de cea dorita.
7. Se definitiveaza compozitia betonului cu inalte performante. Pentru aceasta se face un amestec de proba pe baza compozitiei de la pct.6, urmarind la introducerea apei obtinerea lucrabilitatii dorite. Rezulta eventual o mica modificare a dozajului de apa. De asemenea se confectioneaza epruvete de proba pentru verificarea realizarii rezistentei dorite. Exemple de compozitii de betoane cu inalte performante, realizate in Franta, sunt prezentate in tabelul 3.6.21. Se constata, din compozitiile prezentate, ca scheletul

granular al betoanelor este aproape identic; variaza dozajul de ciment, raportul A/C, dozajul de superplastifiant si dozajul de silice ultrafina.

Tipul betonului	Agregate, kg/m ³			Ciment CPA 55 HTS kg/m ³	Silice ultrafina kg/m ³	Apa kg/m ³	A/(C+SUF)	Super- plastifiant kg/m ³
	0-5 mm	5-12,5 mm	12,5-20 mm					
Beton de inalte performante $R_c^{28}=70$ N/mm ²	652	411	854	415	-	132	0,32	6,4
Beton de foarte inalte performante $R_c^{28}=110$ N/ mm ²	638	402	854	421	24,1	112	0,25	9,3

Tabel 3.6.21

Compozitii de betoane cu inalte performante

Concluzii

Stabilirea compozitiei unui beton cu inalte performante necesita un demers riguros, din cauza unui numar mare de parametri care intervin.

Metoda prezentata se bazeaza, in principal, pe urmatoarele:

- rezistenta betoanelor este influentata mai ales de natura pastei lor liante;
- lucrabilitatea pastelor pentru un anume schelet granular depinde de volumul de pasta si de fluiditatea intrinseca a acestei paste.

Ponind de la aceste premise, metoda prezentata permite determinarea compozitiei unui beton de rezistenta si lucrabilitate dorite, pe baza unui numar redus de incercari si avand totodata luati in considerare parametrii cei mai importanti. Testele utilizate in metoda sunt simple si pot fi practicate in toate laboratoarele de materiale de constructii.

In urma studiilor si a probelor preliminare efectuate s-au elaborat urmatoarele retete de betoane C40/50(B600) si C45/55(B650).

RETETA NR. R 1y C40/50(B600)

Tip beton	Marca Clasa	Ciment		Aditiv		\emptyset_{max}	Zona gran.	A/C	ρ_b kg/m ³	Tasare (mm)	Conditii suplimentare	
		Tip	dozaj	tip	dozaj							
Grinzi capriate	C40/50	1	52,5	420	chryso	7 l	16	III NE 012	0,44	2400	210	Beton tratat termic

Sortul	Umiditatea	0.2	1	3	5	7.1	10	16	20	31	40
0 - 3	5,3	7,0	67,8	90,1		100					
3 - 7	3,4	0,5	6,98	18,6		80,4		100			
7 - 16	1,7	0,41	1,83	2,44		10,4		80,1		100	
16 - 31											

Procentaj											
29% din sort 1		2,03	19,7	26,1		29		29		29	
19% din sort 2		0,09	1,33	3,53		15,3		19		19	
52% din sort 3		0,21	0,95	1,26		5,4		44,8		52	
TOTAL		2,33	21,98	30,90		49,7		92,8		100	

CANTITATI LA UN mc BETON

APA=A=185 kg	Sol.aditiv(plastifiant)	Agregate uscate(total in kg)
A=C*a/c	Ad=C.Pad/100= 7 litri CHRYSO	Ag= ρ_b -(C+CT+A+Ad)=2400- 420- 185- 7 = 1788 Kg

CANTITATI LA UN m³ BETON

CANTITATI / O SARJA DE 1 m³

Sortul	Uscate		Umiditate ag.		Ag.umed	Ag.umed	Tolerante (±) kg
	%	(kg)	%	(kg)	(kg)	(kg)	
1: (0-3)	29	518	5,3	27	545		<p>S-a emis reteta</p> <p>Nr. R 1 y 600 /07.02.2001</p> <p>Intocmit, Ing.FRATUT SUZANA</p> <p>Semnatura.</p> <p>Se va reface calculul retetei ori de cite ori ρ_b a betonului proaspat variaza cu mai mult de ± 40 kg .</p>
2: (3-7)	19	340	3,4	12	352		
3: (7-16)	52	930	1,7	16	946		
Total	Σ	1788	Σ	55	1843		
Ciment					420		
A-(Aog+Ad)					130		
Ad (aditiv)					7		
TOTAL					2400		

RETETA NR. - GRINZI CAPRIATE C 45/55(B650)

Tip beton	Marca Clasa	Ciment		Aditiv		\varnothing_{max}	Zona gran.	A/C	ρ_b kg/m ³	Tasare (mm)	Conditii suplimentare
		Tip	dozaj	tip	dozaj						
Grinzi capriate	C45/55	1	52,5	chryso	7 l	16	III NE 012	0,41	2420	210	Beton tratat termic
			460								

Sortul	Umiditatea	0.2	1	3	5	7.1	10	16	20	31	40
0 - 3	5,3	7,0	67,8	90,1		100					
3 - 7	3,4	0,5	6,98	18,6		80,4		100			
7 - 16	1,7	0,41	1,83	2,44		10,4		80,1		100	
16 -31											

Procentaj											
29% din sort 1		2,03	19,7	26,1		29		29		29	
19% din sort 2		0,09	1,33	3,53		15,3		19		19	
52% din sort 3		0,21	0,95	1,26		5,4		44,8		52	
TOTAL		2,33	21,98	30,90		49,7		92,8		100	

CANTITATI LA UN mc BETON

APA=A=189 kg	Sol.aditiv(plastifiant)	Agregate uscate(total in kg)
A=C*a/c = 460 X 0,41	Ad=C.Pad/100= 7 litri CHRYSO	Ag=pb-(C+CT+A+Ad)=2420- 460- 189- 7 = 1764 Kg

CANTITATI LA UN m³ BETON

CANTITATI / O SARJA DE 1 m³

Sortul	Uscate		Umiditate ag.		Ag.umede	Ag.umede	Tolerante (±) kg
	%	(kg)	%	(kg)	(kg)	(kg)	
1: (0-3)	29	512	5,3	27	539		
2: (3-7)	19	335	3,4	12	347		
3: (7-16)	52	917	1,7	16	933		
Total	Σ	1764	Σ	55	1819		
Ciment					460		
A-(Aog+Ad)					134		
Ad (aditiv)					7		
TOTAL					2420		

S-a emis reteta

Nr. R G.CAPR./19.07.2001

Intocmit,
Ing.FRATUT SUZANA

Semnatura.

Se va reface calculul retetei ori de cite ori pb a betonului proaspat variaza cu mai mult de ± 40 kg .

3.6.4. Interpretarea statistica a rezultatelor pentru statia de betoane a S.C. EUROPREFABRICATE S.R.L. pe trimestrul III, anul 2001

Societate: S.C. EUROPREFABRICATE SRL											
Statia: TIMISOARA											
Trim III											
Anul 2001											
Beton Preparat			Nr. Probe	Nr. Probe Sub clasa		Parametrii realizati				Clasa efectiva	Grad de omogenitate
Clasa	Volum mc	%	n	nr.	%	X_{min}	X_n	fck-K (fck-1)	fck+Sn (fck+5)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
C20/25	16	0,7	2	0	0	51	51,8	30		C35/45	
C25/30	25	1,1	4	0	0	42	48,5	27	45,2	C25/30	
C28/35	18	0,8	3	0	0	53,1	58,03	40		C40/50	
C32/40	1484	64,1	103	0	0	40,4	52,86	36	48,03	C32/40	1
C35/45	600	25,9	81	0	0	50,2	55,2	41	50,12	C40/50	1
C35/45Y	113	4,9	14	0	0	46,4	48,72	41	45,11	C35/45	
C45/55	58	2,5	9	0	0	64	66,87	51	58,46	C50/60	
TOTAL	2314	100	217								

Tabel 3.6.22

BETOANE ARMATE CU FIBRE DE OTEL

MATERIALE COMPONENTE SI EVALUAREA DOZAJELOR

La prezentarea materialelor componente cat si la stabilirea dozajelor acestora, s-au avut in vedere, in principal, recomandarile Raportului Comitetului 544 al ACI [82], cat si ale *Indrumatorului pentru folosirea betonului armat cu fibre de otel* [83].

Fibrele de otel se obtin prin taierea sarmelor laminate, a benzilor subtiri sau direct din topitura, pe baza unor tehnologii specifice.

Sarmele de otel trebuie sa fie de calitate tare, cu rezistenta de rupere la intindere de circa 1000 N/mm^2 ; sarmele moi, cu rigiditate mica, conduc la o repartitie neuniforma a lor in elementul de beton si la rezistente scazute, ceea ce face ca imbunatatirea proprietatilor betoanelor armate cu fibre sa nu fie sensibile.

Este recomandabil ca diametrele fibrelor de otel sa fie cuprinse intre $0.20 - 0.50 \text{ mm}$, iar lungimea intre $5 - 50 \text{ mm}$.

Alegerea diametrului si lungimii fibrelor se face astfel incat raportul geometric lg/g sa fie in jur de 100, iar raportul lungimea fibrei / dimensiunea minima a elementului de beton sa fie cuprins intre $0.4 - 0.6$.

Cimenturile folosite la prepararea betoanelor armate cu fibre sunt, in general, pe baza de ciment portland.

Agregatele care se folosesc la confectionarea acestor betoane sunt, de regula, agregate naturale grele de rau, cu densitatea in gramada in stare afanata si uscata de minimum 1200 kg/m^3 .

Aditivii plastifianti au un efect favorabil privind imbunatatirea lucrabilitatii betoanelor armate cu fibre de otel, intrucat adaosul de fibre inrautatestea aceasta caracteristica a betonului proaspat.

Raportul ACI limiteaza continutul de fibre de otel la un procent volumetric de maximum 2% si raportul geometric l/d la maximum 100, pentru a se preintampina segregarea si legarea fibrelor in ghemuri, in locul unui amestec uniform.

Dozajul de fibre de otel in kg/m^3 (F) se stabileste cu relatia:

$$F = (p/100) \rho_f = (p_g/100) \rho_b$$

in care:

$\rho_f = 7850 \text{ kg/m}^3$ – densitatea fibrelor de otel;
 $\rho_b = 2400 \text{ kg/m}^3$ – densitatea betonului proaspăt;
 p = procentul de armare volumetric;
 $p_g = (\rho_f/\rho_b) p$ 3,27. p – procentul de armare masiv.

Punerea în opera a betonului armat cu fibre de otel se face după aceleași procedee cu ale betonului obișnuit.

Compactarea trebuie să se facă mult mai atent, întrucât betonul cu fibre de otel are o lucrabilitate scăzută.

Vibrarea trebuie făcută energic, fără însă să conducă la segregarea materialelor componente.

Proprietățile betonului proaspăt, în care sunt înglobate fibre de otel, sunt, ca și pentru betonul obișnuit, densitatea, consistența, și conținutul de aer.

Rezistența la întindere

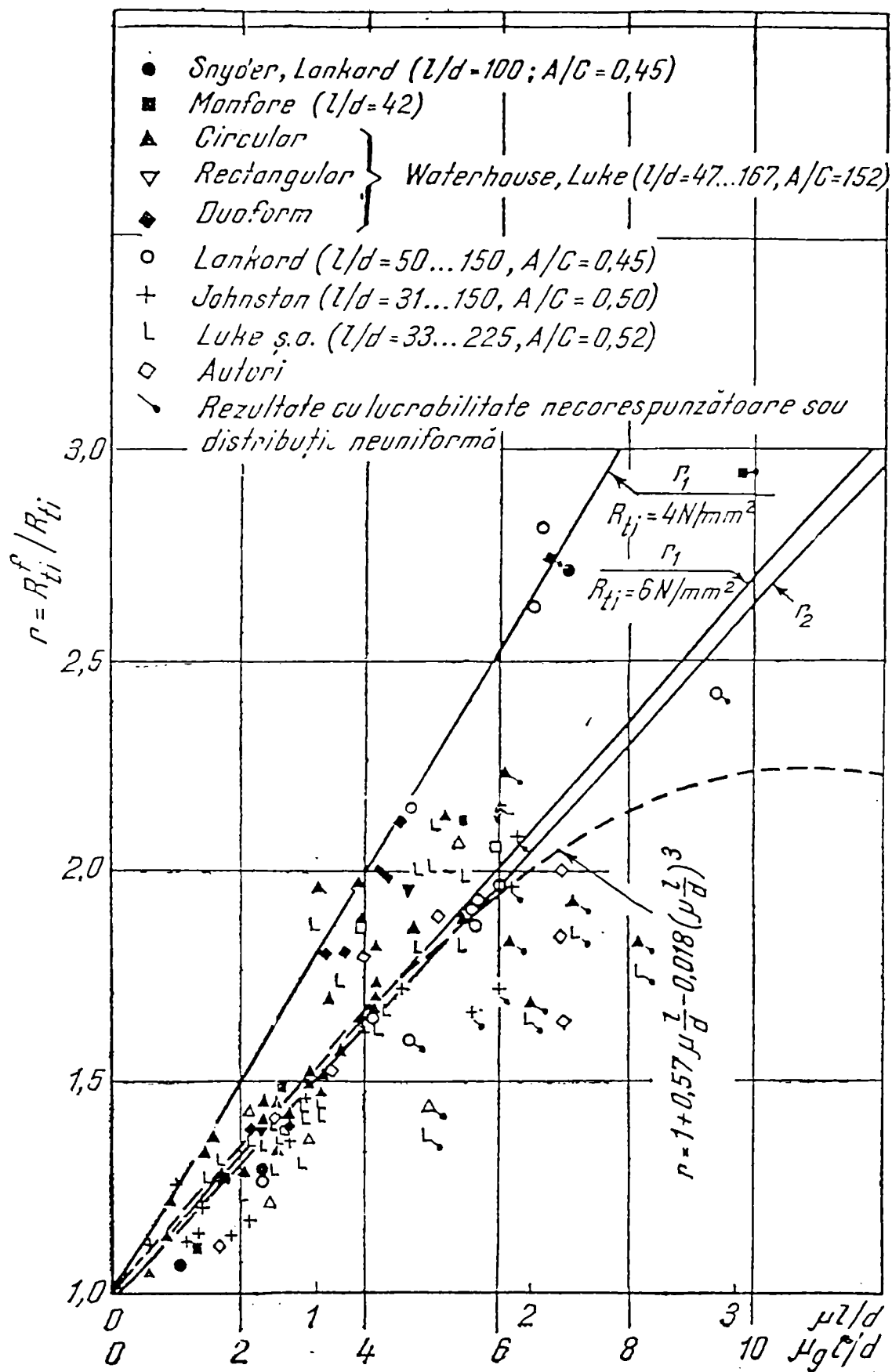
Această caracteristică a betonului este substanțial îmbunătățită datorită prezenței fibrelor de otel, fapt pentru care cele mai multe studii și determinări au fost făcute pentru a stabili valoarea rezistenței la întindere și pentru a se pune în evidență ponderea de influență a diversilor parametri asupra acestei mărimi.

Așa după cum este cunoscut, rezistența la întindere se poate determina prin încercări directe (întindere centrică), cât și prin încercări indirecte (încovoiere, despicare).

Rezistența la întindere din încovoiere

Încercările pentru stabilirea rezistenței la întindere din încovoiere a betoanelor armate cu fibre de otel sunt destul de numeroase, în comparație cu încercările pentru celelalte caracteristici mecanice.

Raportul dintre rezistența la întindere din încovoiere a elementelor armate cu fibre de otel și a elementelor nearmate, pentru stadiul limită, este reprezentat în funcție de parametrul μ/d (μ_g/d) în figura 3.6.24.



Rezistența relativă la întindere din încovoiere, pentru stadiul limită, a betoanelor armate cu fibre de oțel.

Fig. 3.6.24

Datele experimentale au fost preluate dupa Johston [84], Luke s.a. [85] si din experientele proprii ale catedrei de Materiale din cadrul Facultatii de Constructii Timisoara.

Rezistenta la intindere din incovoiere, ca de altfel si celelalte caracteristici mecanice, nu creste proportional cu parametrul μ/d , indiferent de valoarea acestuia; lucrabilitatea betonului armat cu fibre, cat si uniformitatea distributiei fibrelor, se inrautatesc considerabil si, ca urmare, cresterea rezistentelor mecanice se diminueaza.

Autorii propun urmatoarea relatie pentru calculul cresterii rezistentei la intinderea din incovoiere a elementelor liniare de beton armat cu fibre de otel:

$$r = 1 + 0,57\mu/d - 0,018(\mu/d)^3$$

sau:

$$r = 1 + 0,174 \mu_g/d - 0,00052(\mu_g/d)^3$$

in care

$$r = \frac{R^f_{ii}}{R_{ii}}$$

μ, μ_g – coeficientii de armare volumetric si masic

l, d – lungimea si diametrul fibrelor

Se constata din figura 3.6.24 ca imprastierile datelor experimentale sunt destul de mari deoarece, luand in considerare numai parametrul global μ/d , se pierde influenta unor parametri ca:

- valoarea si modul de distributie ale eforturilor unitare de aderenta
- modul de orientare a fibrelor
- distributia eforturilor unitare pe sectiunea transversala de beton
- omogenitatea betonului etc.

In cazul utilizarii unor fibre cu ciocuri la capete, de tipul celor folosite in Belgia de Dehouss, cresterea rezistentei la incovoiere se imbunatateast substantial dupa cum rezulta din datele de mai jos [87]:

μ/d :	0,5	1,0	1,5	2
r:	1,5	2,3	3,1	3,5

De asemenea, fibrele care au pe suprafata lor diverse neregularitati duc la amplificarea cresterii rezistentei la incovoiere.

Astfel, cercetarile facute la Timisoara [88] cu sarme amprentate au condus la o crestere a rezistentei la incovoiere cu 15-20% fata de cazul utilizarii sarmelor netede.

In cadrul firmei SC Euroconstruct SA s-a preparat beton cu fibre de otel pentru platforme industriale, beneficiar fiind SC Solectron SA Timisoara, conform Acordului Tehnic nr. 010-01/054-2000, elaborat de INCERC Timisoara si retetei elaborate.

RETETA - BETON CU FIBRE DE OTEL

Tip beton	Marca Clasa	Ciment		Adaos (CT)		Aditiv		ϕ_{max}	Zona gran.	A/C	ρ_b kg/m ³	Tasa re	Cond supl
		tip	dozaj	tip	doz aj	tip	doz aj						
Beton pentru platforme	B350 BCR3,5 BC 27,5	II/A S 32, 5R	400	Fibre Metalice	30	FORT ERA	5,6 l	31	II	0,43 0,44 max	2400/ 2410	80/ 100 mm	Beton cu fibre metalice

Sortul	Umiditatea	0.2	1	3	5	7.1	10	16	20	31	40
0-3	5.3	5.2	68.1	94.5		100					
3-7	3.5	0.5	9.3	20.2		84.5		100			
7-16	2.4	1.13	2.3	3.9		11.4		91.5		100	
16-31	1.8	0.6	1.8	2.4		5.5		15.5		96.8	100

Procentaj											
33% din sort 1		1.71	22.5	31.2		33		33		33	33
12% din sort 2		0.06	1.1	2.4		10.1		12		12	12
24% din sort 3		0.27	0.55	0.94		2.74		22		24	24
31% din sort 4		0.19	0.56	0.74		1.7		4.8		30	31
TOTAL		2.33	24.71	35.28		47.54		71.8		99	100

CANTITATI LA UN mc BETON

APA=A=166+6 kg	Sol.aditiv(plastifiant)	Agregate uscate(total in kg)
A=C*a/c=172 166+6 Fortera	Ad=C.Pad/100=5,6 l (6.5 Kg)	Ag=pb-(C+CT+A+Ad)=2405-(400+30+166+6)= 1803 Kg ~ 1800 Kg

CANTITATI LA UN m³ BETON

CANTITATI/ O SARJA DE 1 m³

Sortul	Uscate		Umiditate ag.		Ag.umede	Ag.umede	t o _ +1
	%	(kg)	%	(kg)	(kg)	(kg)	
1: (0-3)	33	594	5.3	32	626	500.8	501
2: (3-7)	12	216	3.5	8	224	179.2	179
3: (7-16)	24	432	2.4	10	442	353.6	353
4: (16-31)	31	558	1.8	10	568	454.4	455
Total	Σ	1800	Σ	60	1860		
		Ciment			400	320	
		Adaos CT			30	24	
		A-(Aog+Ad)			106	84.8	
		Ad (aditiv)			6	4.5	
		TOTAL			2402		

S-a emis reteta

Nr.

Intocmit,
Ing.FRATUT SUZANA

Semnatura.

Se va reface calculul retetei ori de cite ori pb a betonului proaspat variaza cu mai mult de ± 40 kg .

Fibrele de otel folosite (import Austria) au avut urmatoarele caracteristici:

$l = 50 \text{ mm}$; $b \times h = 2,2 \times 0,6 \text{ mm}$.

Valoarea rezistentei la intindere din incovoiere pentru un beton B300, armat cu fibre import Austria, functie de cantitatea de fibre la metru cub, determinata pe prisme $150 \times 150 \times 70$ este:

Cantitate fibre	kg/m ³	20	25	30
Rezistenta la intindere	N/mm ²	4,4	4,9	5,2

Cresterea in procente a raportului $r = \frac{R^f_n}{R_n}$ este redata in figura 3.6.25:

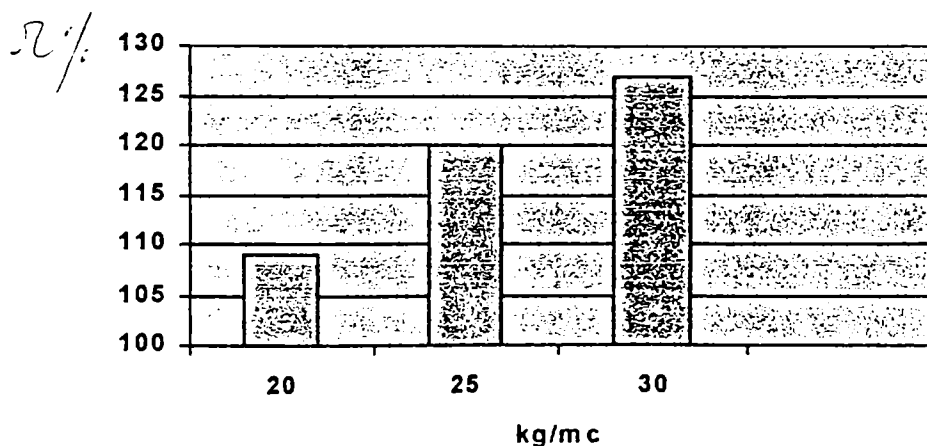


Fig. 3.6.25

In cazul betonului de marca B350 (BC27,5), preparat conform retetei, se guleaza μ_l/d si μ_g/d dupa cum urmeaza:

$$C = 400 \text{ kg/m}^3$$

$$F = 30 \text{ kg/m}^3$$

$$P_g = \frac{30 \cdot 100}{2400} = 1,25\%$$

$$\mu_g = 0,0125$$

$$p = \frac{P_g}{3,27} = \frac{1,25}{3,27} = 0,38\%$$

In cazul folosirii fibrelor de import Austria, pentru determinarea μ si μ_g se determina diametrul echivalent d_{echiv} din formula:

$$\frac{\pi d_{echiv}^2}{4} = b \cdot h$$

$$d_{echiv} = \sqrt{\frac{4b \cdot h}{\pi}} = 1,30 \text{ de unde rezulta:}$$

$$\mu_g/d = 0,0125 \cdot \frac{50}{1,30}$$

$$\text{rezulta } \mu_g/d = 0,48.$$

$$\mu_l/d = \frac{pl}{100d_{echiv}} = \frac{0,38}{100} \cdot \frac{50}{1,30}$$

$$\text{rezulta } \mu_l/d = 0,15.$$

Din figura 3.6.24 se scot valorile coeficientului α in functie de μ/d :

μ/d	0,1	0,5	1	1,5	2
α	1,2	1,2	1,53	1,75	1,75

Pentru determinarea raportului r se propune ca si contributie proprie urmatoarea formula de calcul[90] :

$$r = (1 + 0,57\mu/d)\alpha$$

Valorile raportului r calculate conform formulei, pentru diferitele valori ale lui α , si reprezentate grafic in figura urmatoare, se regasesc in tabelul urmator:

μ/d	0,1	0,5	1	1,5	2
r (pt. $\alpha=1.2$)	1,26	1,54	1,88	2,22	2,56
r (pt. $\alpha=1.53$)	1,62	1,97	2,4	2,83	3,3
r (pt. $\alpha=1.75$)	1,85	2,25	2,75	3,25	3,75

Reprezentarea grafica, conform formulei, a dependentei raportului r de μ/d pentru valori ale lui α : 1,2; 1,53 si 1,75 este redata in figura 3.6.26:

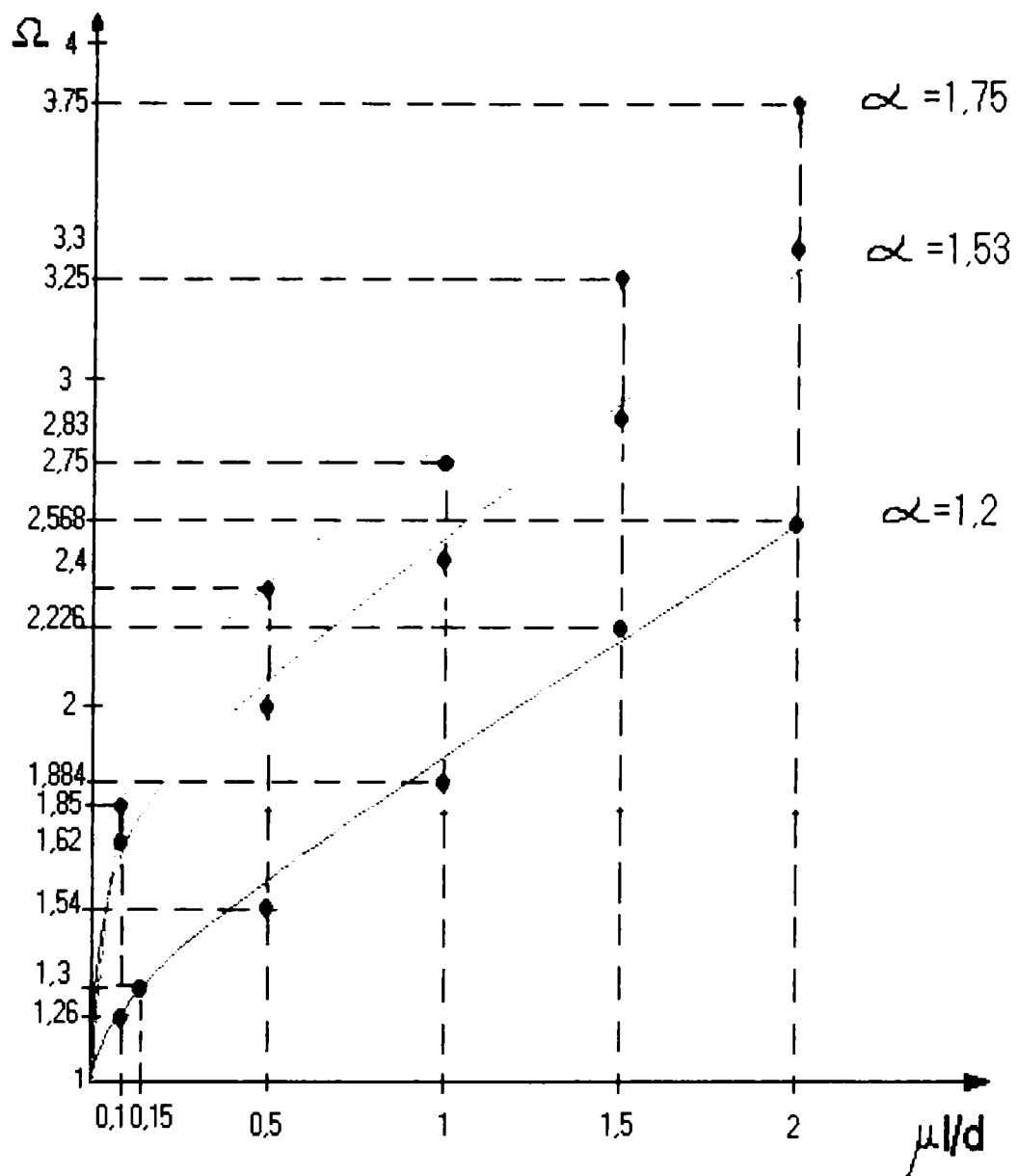


Fig. 3.6.26

Analiza rezultatelor obtinute pe probe de betoane armate cu fibre de otel

Betonul armat cu fibre de otel de clasa BC 27.5 a fost asimilat cu un beton rutier de clasa BCR 3.5.

Determinarea si interpretarea statistica a rezistentei la incovoiere s-a efectuat conform Normativului C 22 – 92.

I. Verificarea realizarii clasei betonului rutier

Verificarea realizarii clasei betonului rutier se efectueaza pe baza rezultatelor obtinute in urma determinarii rezistentei la incovoiere (R_{inc}) pe epruvete prismatice.

Epruvetele se confectioneaza din beton proaspat sub forma de prisme avand dimensiunile 150x150x600 mm.

Pentru verificarea rezistentei la incovoiere, o serie este constituita din minim 3 epruvete.

Rezistenta la incovoiere a betoanelor rutiere se determina pe epruvete prismatice prin aplicarea, in mod uniform si continuu, a doua forte egale si simetrice, amplasate la treimea deschiderii dintre cele doua reazeme circulare pe care se sprijina prisma.

Rezistenta la incovoiere a betonului rutier (R_{inc}) se calculeaza considerandu-se comportarea elastica a zonei intinse pana la rupere, pe epruvete prismatice de 150x150x600 mm, cu formula:

$$R_{inc} = PL / bh^2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

in care:

- P – forta de rupere, citita pe cadranul presei in N;
- L – distanta dintre reazeme (450 mm);
- b – latimea medie a sectiunii transversale (150 mm);
- h – inaltimea medie a sectiunii transversale (150 mm).

Rezistența caracteristică la încovoiere (R_{inc}^k) se calculează cu formula:

$$R_{inc}^k = \bar{R}_{inc} - tS_{inc}$$

în care:

\bar{R}_{inc} – media la încovoiere a celor “n” rezultate analizate;

t – parametrul statistic, a cărui valoare este indicată în tabel, în funcție de numărul “n” de rezultate analizate;

S_{inc} – abaterea medie pătratică a rezistențelor la încovoiere.

$$S_{inc} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (R_{inc} - \bar{R}_{inc})^2} \quad \text{sau}$$

$$S_{inc} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum R_{inc}^2 - \frac{1}{n} (\sum R_{inc})^2 \right]}$$

Valorile obținute au fost:

**6.0; 5.1; 5.7; 4.7; 6.2; 6.6; 6.4; 6.4; 6.1; 5.9; 5.7; 6.3;
5.5; 6.2; 5.6; 5.4; 5.3; 5.4; 5.7; 5.9; 6.9; 6.8.**

$$n = 22$$

$$R_{inc} = 5.9 \text{ N/mm}^2$$

$$S = 0.56$$

$$t = 1.72$$

$$R_{inc}^k = 5.9 - 1.72 \times 0.56 = 5 \text{ N/mm}^2$$

$R_{inc}^k > 3.5$ ($R_c R 3.5$) rezulta beton corespunzător

Verificarea realizarii clasei betonului rutier BCR 3.5, utilizand metodologia de prelucrare statistica cu intervale de clasare.

Se adopta marimea intervalului de clasare de 0.2 N/mm².

Medie interval R_{int}	Interval de clasare	Frecventa cazurilor	f	a	fa	fa ²
4.8	4.7 – 4.9	x	1	-1.5	-1.5	2.25
5.1	5.0 – 5.2	x	1	-1.2	-1.2	1.44
5.4	5.3 – 5.5	xxxx	4	-0.9	-3.6	3.24
5.7	5.6 – 5.8	xxxx	4	-0.6	-2.4	1.44
6.0	5.9 – 6.1	xxxx	4	-0.3	-1.2	0.36
6.3	6.2 – 6.4	xxxxx	5	0	0	0
6.6	6.5 – 6.7	x	1	0.3	0.3	0.09
6.9	6.8 – 7.0	xx	2	0.6	1.2	0.72

Se stabileste intervalul dominant in care se intalneste frecventa maxima, notandu-se valoarea medie a acestuia R_0 .

$$R_0 = 6.3$$

Se calculeaza parametrii m_1 si m_2 :

$$m_1 = \frac{\sum fa}{\sum f} = -0.38$$

$$m_2 = \frac{\sum fa^2}{\sum f} = 0.43$$

$$\bar{R}_{inc} = R_0 + m_1 = 6.3 - 0.38 = 5.92$$

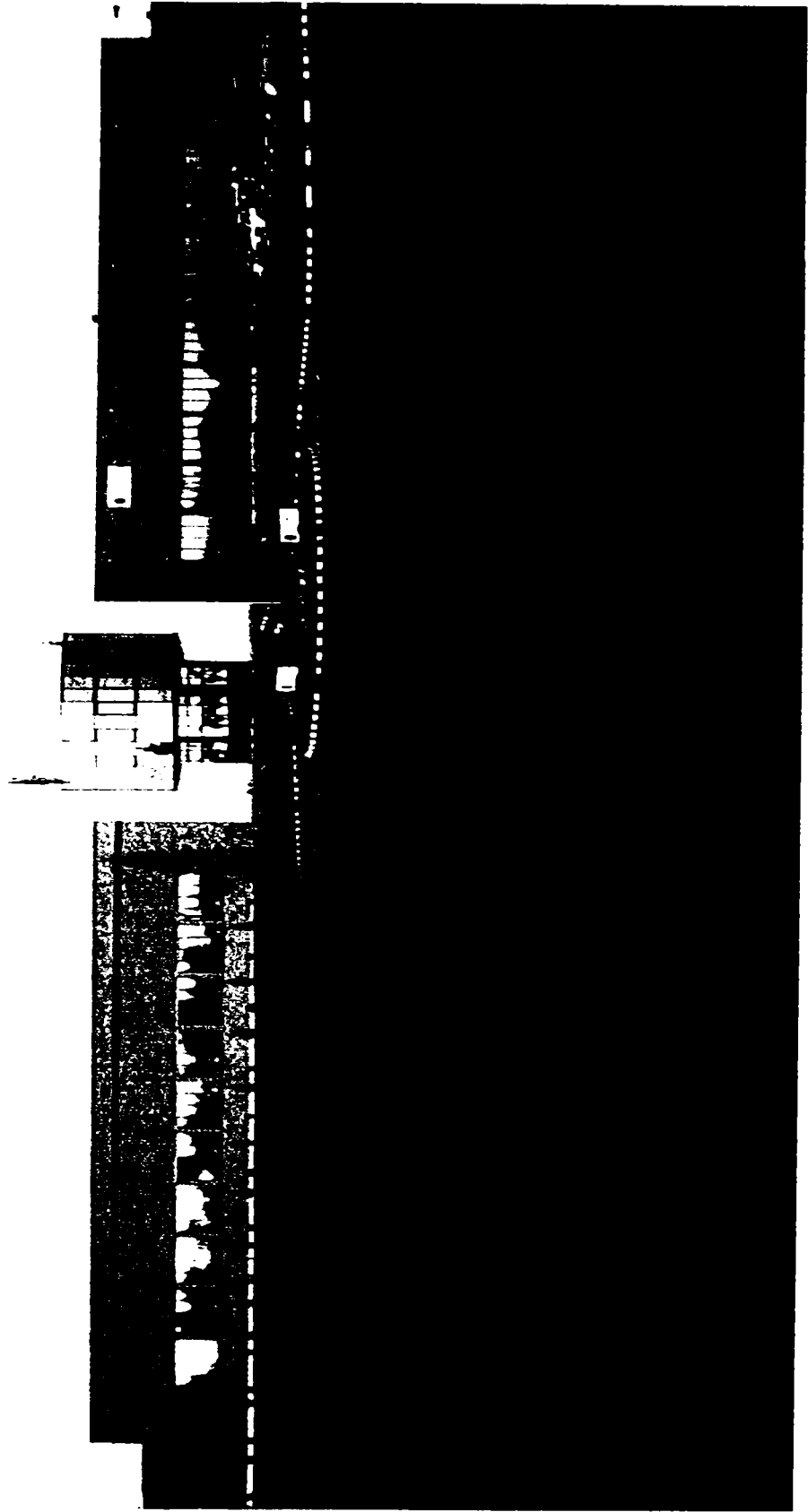
$$S_{inc} = \sqrt{m_2 - m_1^2} = 0.53$$

$$R_{inc}^k = \bar{R}_{inc} - tS_{inc} = 5.92 - 1.72 \times 0.53 = 5.01$$

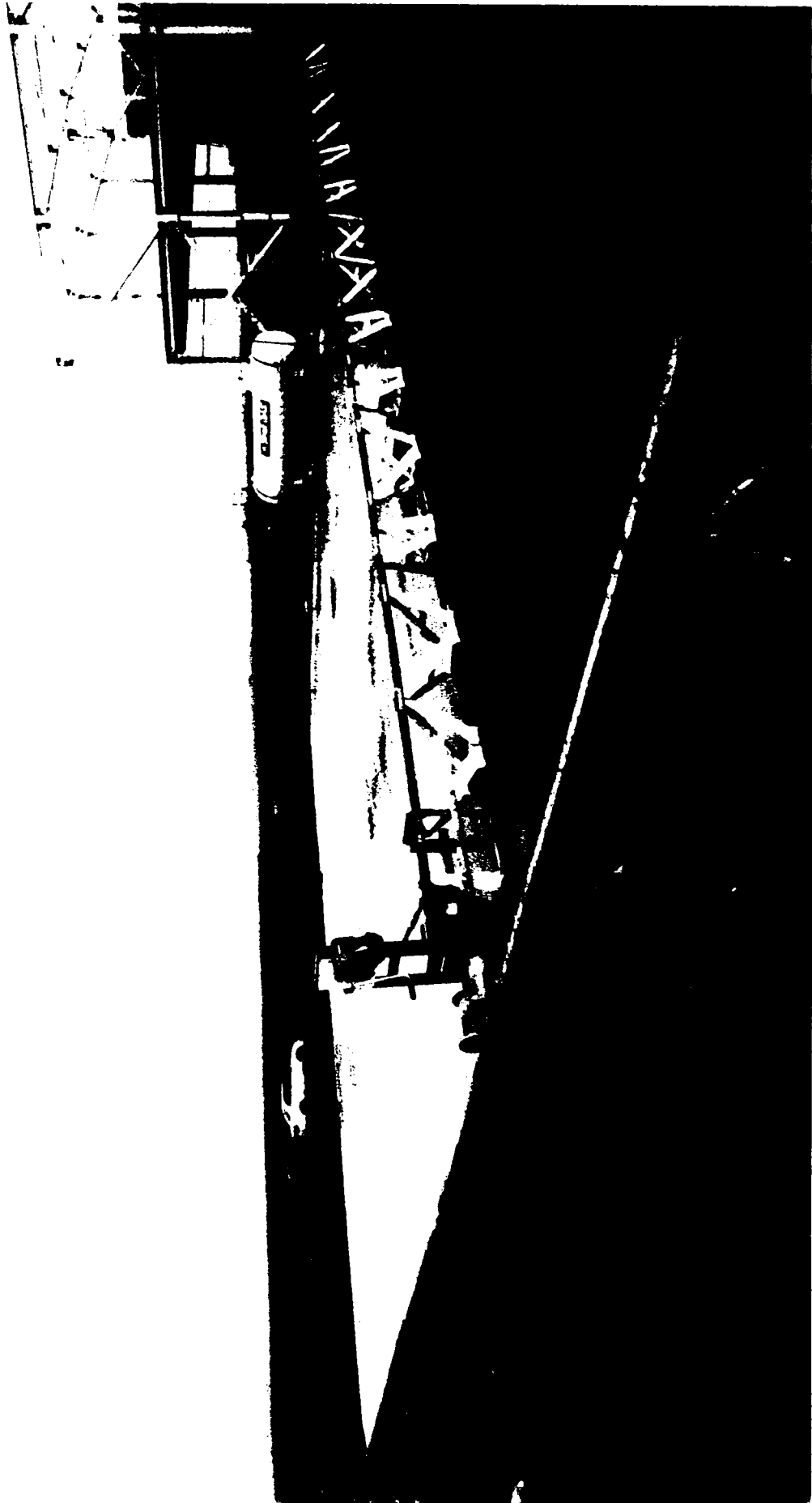
$$R_{inc} = 4.2 \text{ N/mm}^2 - \text{pe beton simplu}$$

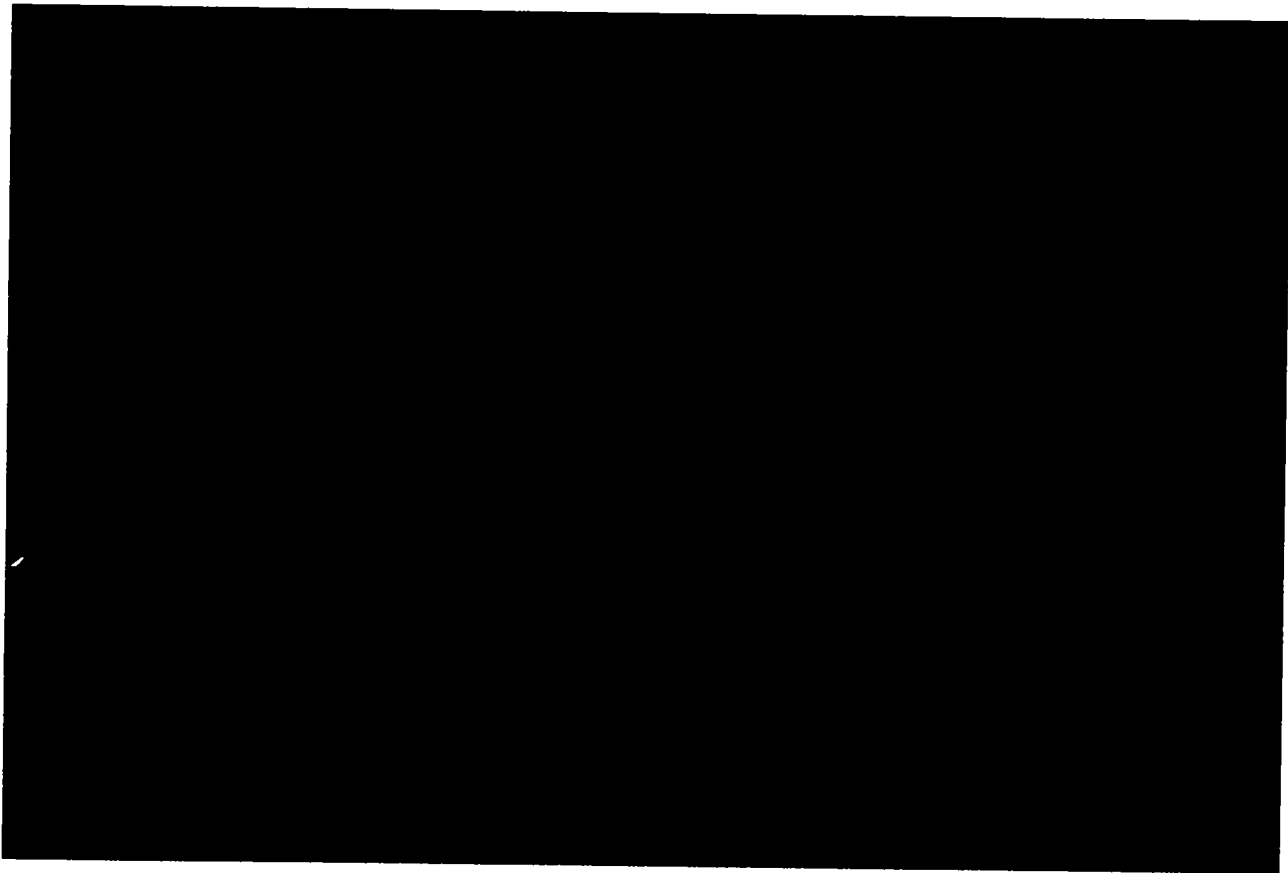
$$r = \frac{R_{inc}^k}{R_{inc}} = 5.9 / 4.2 = 1.40$$

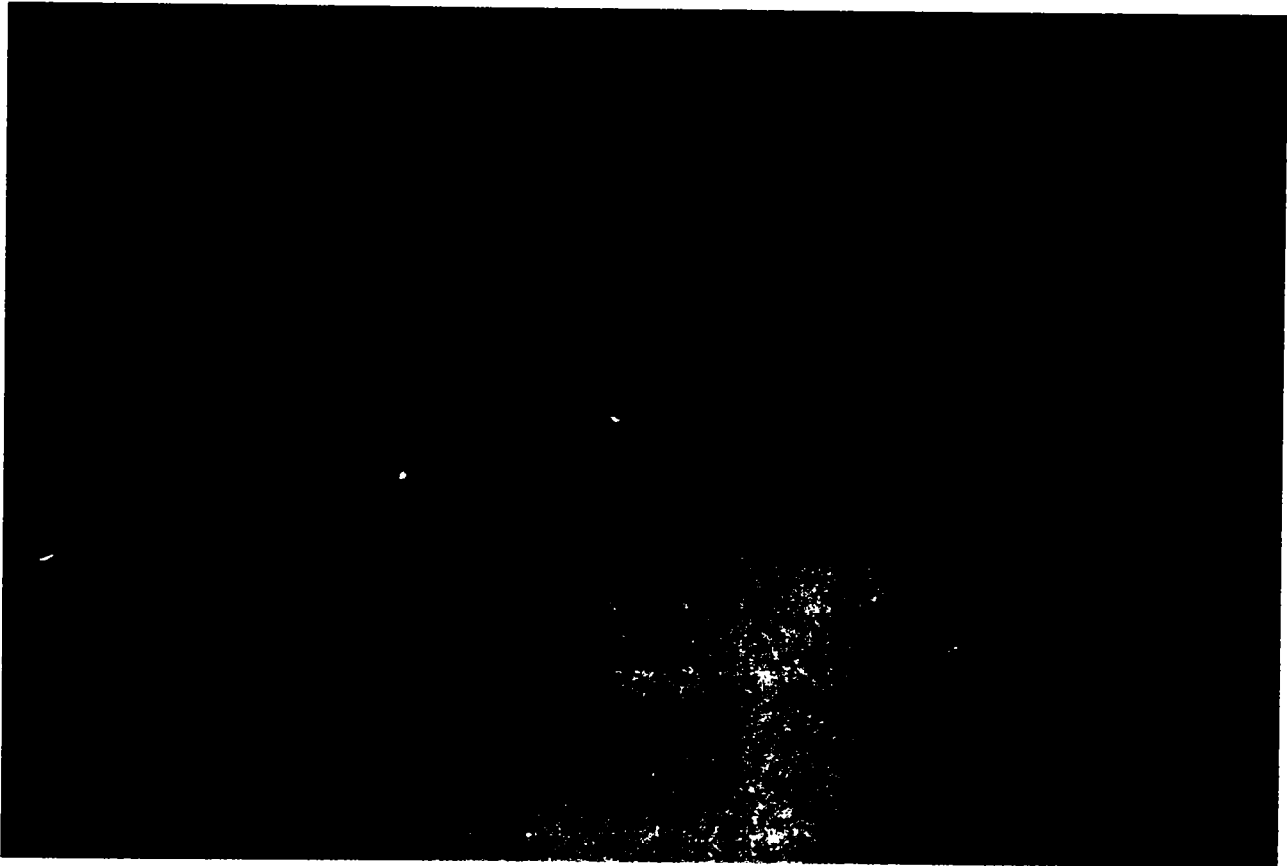
$$\mathbf{r = \frac{R_{inc}^k}{R_{inc}} = 1.40}$$



274











3.6.7. Concluzii

- La realizarea betoanelor de mare rezistentă, în special a rezistentelor la compresiune, un rol esențial îl au atât materiile prime de bază (cimenturi de clasă înaltă, agregate de calitate) cât și unii aditivi care să corecteze neajunsurile obișnuite ale betoanelor clasice.
- Prin folosirea aditivilor superplastifianți indigeni sau străini se pot realiza betoane cu performanțe ridicate, folosite la elemente prefabricate din beton precomprimat.
- Utilizarea fibrelor metalice în scopul armării disperse a betonului a dat posibilitatea înlocuirii armăturii flexibile obișnuite din pardoseli și platforme, ceea ce a condus la importante economii.
- Prin folosirea unor betoane cu rezistențe înalte la fabricarea traverselor din beton precomprimat se obțin elemente durabile cu largă aplicabilitate în domeniul căilor ferate

3.6.8. Contributii personale

- Sistematizarea bibliografiei referitoare la betoane de mare rezistenta
- Stabilirea retetei privind compozitia betonului, incercarea traverselor de cale ferata si stabilirea unor concluzii privind realizarea acestora
- Stabilirea retetelor si determinari experimentale in vederea agrementarii pe grinzi din beton precomprimat tip TT avand clasa de beton C32/40
- Stabilirea retetelor si determinari experimentale in vederea agrementarii pe grinzi din beton precomprimat cu doua pante, tip G5 si G10, avand clasa betonului C40/50 si C45/55
- Propunerea unei formule de calcul originala pentru determinarea raportului r dintre rezistenta la intindere din incovoiere in cazul betoanelor armate cu fibre metalice si a betoanelor simple:

$$r = (1 + 0,57\mu l/d)\alpha$$

Valorificarea rezultatelor obtinute in domeniul betoanelor de mare rezistenta este data prin realizarea grinzilor agrementate de INCERC Timisoara si montate la diferite investitii in tara si in strainatate, dupa cum o arata tabelul urmator:

Investitia	Element prefabricat TIP	Clasa de beton	Localitatea
BUTAN GAS	Elemente de acoperis TIP Π	C40/50	LUGOJ
ARTIMA	Element de acoperis tip Π Grinzi TIP I	C40/50 C40/50	PETROSANI, RESITA, BAIA MARE
ITAL-SOFA	Grinzi TIP I	C45/55	BAIA MARE
PRAKTIKER	Grinzi rectangulare	C40/50	TIMISOARA
SOLREX	Grinzi TIP I	C40/50	HUNEDOARA
IVECO	Grinzi capriate TIP K Grinzi TIP I Grinzi TIP L	C45/55 C40/50 C40/50	BUCURESTI, TIMISOARA
A.P.M.	Grinzi TIP I	C45/55	RESITA
ELBROMPLAST	Grinzi TIP K Grinzi pod rulant	C40/50 C45/55	TIMISOARA
VERNI&FIDA	Grinzi TIP I Grinzi TIP I Grinzi pod rulant	C40/50 C40/50 C40/50	TIMISOARA
CALCEDONIA	Elemente de acoperis tip Π	C45/55	ARAD
YAZAKI	Elemente de acoperis tip Π	C40/50	PLOIESTI
OCEANO TRADE ZALLI	Elemente de acoperis TIP Π	C40/50	GABROVO (BULGARIA)
VALVETEK	Elemente de acoperis TIP Π	C40/50	CURTICI

BIBLIOGRAFIE

1. Ionescu, I. si Ispas, T. *Practica actuala a betoanelor*. Bucuresti, Editura Tehnica, 1986.
2. Cerchinschi, In. S. *Betonul de ciment cu polimeri*. Bucuresti, Editura Tehnica, 1962.
3. Solomon, O., Ionescu, I. s.a. *Compusi macromoleculari in constructii hidrotehnice si lucrari speciale*. Bucuresti, Editura Tehnica, 1966.
4. Bob Corneliu, Iosif Buchman, Eugen Jebelean, Rosu Constanta, *Materiale de constructii*, vol.I, curs, Timisoara, 1995.
5. Juravliev, V. F. *Chimia liantilor* (trad. lb. rusa). Bucuresti, Editura Min. Constructiilor si a materialelor de constructii, 1953.
6. Dutron, P. *Cements standards of the world*. Paris, Editura Cembureau, 1980.
7. Butt, I. M. si colaboratorii *Tehnologia Viajuscih Vescestv*. Moscova, Editura Izd Visaia Scola, 1967.
8. Taylor, H. W. F. *The Chemistry of Ciments*. Londra, Ed. Academic Press, 1964.
9. Konovalov, P. F. si colaboratorii *Fizico-mehanicestkie, fizico-himicestkie isoledovania tementa*. Leningrad, 1960.
10. Bogue, R. H. *La chemie du ciment Portland*. Paris, Ed. Eyrolles, 1952.
11. Kuhl, H. *Zement Chemie*, vol.II. Berlin, Ed. V.E.B., 1958.
12. Lee, F. M. *Himia tementa I betona*. Moscova, 1961.
13. Solacolu, S. *Chimia fizica a silicatilor tehnici*. Bucuresti, Ed. Tehnica, 1957.
14. Steopoe, Al. *Materiale de constructii*. Bucuresti, Ed. Tehnica, 1964.
15. Teoreanu, I. *Bazele tehnologiei liantilor*. Bucuresti, Ed. Didactica si Pedagogica, 1993.
16. Avram, C. *Betonul armat*, vol.II. Timisoara, Ed. Institutului Politehnic Timisoara, 1957.
17. Venuat, M. *La pratique des ciments et des betons*. Paris, Ed. du Moniteur des travaux publics et du Batiment, 1976.
18. Lea, F. M. *The chemistry of cement and concrete*. Londra, Ed. Arnold, 1988.
19. Bogue, R. H. *Chemistry of portland cement*. New York, Ed. Reinhold, 1955
20. Jung, V. N. *Bazele tehnologiei liantilor*. Bucuresti, Ed. E.S.A.C. 1954.

21. Duriez, M. si Arambide, J. *Nouveau traite de materiaux de Construction*, vol.I. Paris, Ed. Dunod, 1961.
22. Ionescu, I. si Ispas, T. *Necesitati, posibilitati si realizari in domeniul proceselor de intarire a betoanelor*. Bucuresti, Revista Materialelor de Constructii, nr.1, pag. 3-16, 1982.
23. Bob, C. si Velica, P. *Materiale de constructii*. Bucuresti, Ed. Didactica si Pedagogica, 1978.
24. Neville, A. M. *Proprietatile betonului*. Bucuresti, Ed. Tehnica, 1979.
25. *Cod de practica pentru executarea lucrarilor din beton, beton armat si beton precomprimat*, indicativ NE 012-99.
26. Ionescu, I. si Enculescu, M. *Intrebuintarea maselor plastice pentru impermeabilizarea si protectia anticorrosiva a constructiilor hidrotehnice*. Bucuresti, Editura I.S.C.H., 1964
27. Petzold, A. si Röhrs, M. *Beton pentru temperaturi inalte*. Bucuresti, Ed. Tehnica, 1971.
28. Deica, N. *Betoane refractare*, Referat de sinteza vol III, Conferinta a 7-a de betoane , C. N. I. T., Cluj- Napoca, 1977.
29. Enescu, St. s.a. *Normativ pentru executarea lucrarilor de beton si beton armat*, indicativ C140-86. Bucuresti, Ed. I.N.C.E.R.C., 1987.
30. Ionescu, I. s.a. *Instructiuni tehnice si Tehnologice pentru utilizarea cenusii de termocentrala ca adaos la prepararea betoanelor simple si armate, utilizate la realizarea elementelor prefabricate*, indicativ CD 134-87.
31. Ionescu, I. s.a. *Instructiuni tehnice pentru prepararea si utilizarea betoanelor cu agregate usoare. Indicativ C 155-75. Buletinul de ordine si instructiuni pentru industria materialelor de constructii*, nr. 2, pag.2-51, 1976.
32. Ionescu, I. s.a. *Instructiuni tehnice si tehnologice pentru prepararea betoanelor utilizate la realizarea elementelor prefabricate. Indicativ CD 137/1-89. Buletinul de ordine si instructiuni pentru industria materialelor de constructii*, nr. 1, pag.3-90, 1989 si *Buletinul constructiilor*, nr.2, pag.71-165, 1989.
33. Teoreanu, I. *Materiale de constructii*, nr.3, 4/1973.
34. Kravcenco, I. V. s.a. *Visocoprocinie osobobistrotverdeiuscie Portlandement*. Moscova, Ed. Izd. Lit. po Stroit, 1971.
35. Talaber, J. *Epitoanyag* 9-1957.
36. Richard, P., Cheyrezy, M. *Les betons de poudres reactives. Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics*, nr. 532. Paris, mars-avril, 1955.

37. Krstulovic, N., Malaks, S., *Tensile Behaviour of Slurry Infiltrated Mat Concrete (SIMCON)*, *ACI, Materials Journal*. January-february, 1998.
38. *Betons Un B150 coule en place, Fiche tehnique, Maitre d'ouvrage*: EDF, CNEPE Tours. Franta, 1998.
39. *Les betons de poudres reactives, Prospect Bouyques*. Franta, 1997.
40. Malie, Y. *High performance concrete*. Londra, Ed. E & FN Spon, Chapman and Hall, 1992.
41. *CRC- Compact reinforced composite. Prospect AALBORG PORTLAND*. Danemarca, 1998.
42. Ionescu, I. si colaboratorii *Utilizarea betonului in constructii de masini*. *Revista Materiale de Constructii* (3) 127-132, 1985.
43. Ionescu, I. *proiect de terminologie si definitii pentru betoanele de inalta rezistenta*. Comisia internationala pentru bton RILEM, Paris, octombrie 1973.
44. Parrot, J. L. *The production and properties of High Strength Concrete* (11) 443-446, 1969.
45. Sumilin, F. C., Penkov, L.A. *Beton de inalta rezistenta in conditiile Uralului de sud*, *Rev. Beton i jelezobeton* (4) 41-42, 1970.
46. Behloul, M. *Definizione d'une loi de comportement du BPR*, *Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics*, nr. 532. Paris, mars-avril, 1995.
47. Dugat, J., Roux, N., Bernier, G. *Etude experimentale de la deformation sous contrainte et du comportement a la rupture du beton de poudres reactives*, *Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics*, nr. 532. Paris, mars-avril, 1995.
48. Cheyrezy, M., Maret, V., Frouin, L. *Analyse de la microstructure du beton de poudre reactives*, *Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics*, nr. 532. Paris, mars-avril, 1995.
49. Enescu, S., Tatu, D., Teslaru, S. *Cercetari privind influenta aditivului superplastifiant Flubert asupra proprietatilor si structurii betonului*. *Rev. Mat. de Constr.* nr. 1, Bucuresti, 1985.
50. Ionescu, I. *Aspecte actuale ale utilizarii superplastifiantilor in tehnologia betonului si prefabricatelor*. *Rev. Mat. de Constr.* nr. 1, Bucuresti, 1980.
51. Teoreanu, I. *Bazele tehnologiei liantilor*. Bucuresti, Ed. didactica si Pedagogica, 1993.
52. Buchman, I. *Betoane de ultra inalte performante*. Timisoara, Ed. Orizonturi universitare, 1999.

53. Jebeleanu, E., Gusatu, I., Maurer, E., Bob, C., Ilca, A., Marinescu, V., Koreck, I. *Compozitia aditiva superplastifianta pentru betoane si procedeul de obtinere al acesteia*. Brevet de inventie nr. 91423/ 25.09.1986.
54. *Silice thermique*. Specification technique SEPR SP ST01, Franta, februarie 1996.
55. Normativ C 140/86.
56. STAS 8116/1-86.
57. STAS 8116/2-86.
58. Instructiuni C 238/92.
59. Dragoi Ion *Tehnologia liantilor si betoanelor*, vol. 1, 1980.
60. Bob, C., Jebeleanu, E. *Contributii la stabilirea compozitiei betoanelor cu aditivi superplastifianti*, Rev. Mat. de Constr. nr. 2, 1992.
61. Jebeleanu, E. *Contributii la realizarea betoanelor si mortarelor cu aditivi superplastifianti*. Teza de doctorat. Timisoara, Univ. Tehnica Timisoara, 1991.
62. CD 116/78.
63. CD 137/1/89.
64. Prof. Dr. ing. Alexandru Toma *Studii si incercari experimentale asupra unor elemente prefabricate*.
65. STAS SR 388/95.
66. STAS 1667/76.
67. STAS 6482/4-80.
68. STAS 889/90.
69. STAS 790/84.
70. STAS 9528/2-86.
71. STAS 1275/81.
72. Ionescu, I. *Proiect de recomandare internationala. Definitii si tehnologie in domeniul betoanelor de inalta rezistenta*. Comisia permanenta pentru betoane RILEM- Paris, octombrie 1973.
73. Aitcin, P. *Les betons a tres haute resistance*. Buletin de liasion des laboratoires des ponts et chaussees, nr.162/1989, pag.55-59.
74. Ispas, I., Ionescu, I., *Betoane de inalta rezistenta si betoane speciale, realizari, preocupari actuale, perspective*. Revista Materialelor de Constructii nr.3, pag. 135-140, 1989.
75. Ionescu, I. si colaboratorii *Instructiuni tehnice provizorii pentru prepararea betoanelor de inalta rezistenta B600-B800 in unitatile de prefabricate*. Buletinul de ordine si Instructiuni pentru Industria Materialelor de Constructii nr.3, pag.3-30, 1978.

76. Ionescu, I. Aspecte actuale ale utilizarii superplastifiantilor in tehnologia betonului si prefabricatelor. *Revista Materialelor de Constructii* nr.1, pag.41-50, 1980.
77. Ionescu, I. si colaboratorii *Instructiuni tehnice si tehnologice pentru prepararea betoanelor utilizate la realizarea elementelor prefabricate*.indicativ CD 137/1-89. Buletinul de ordine si Instructiuni pentru Industria Materialelor de Constructii nr.1/1989 si Buletinul Constructiilor nr.2/1989.
78. Normativ NE 012/1999 *Cod de practica pentru executarea lucrarilor din beton, beton armat si beton precomprimat*.
79. Jebeleanu, E. *Contributii la realizarea betoanelor si mortarelor cu aditivi superplastifianti*. Teza de doctorat. Univ. Tehnica Timisoara, 1991.
80. De Larrard, F., Acker, P., Malier, Y *Betons a tres hautes performances du laboratoire au chantier*. Buletin de liasion des laboratoires des ponts et chaussees, nr. 149, pag.71-74, Paris, 1987.
81. De Larrard, F., Puch, C., *Formulation des betons a hautes performances; la methode des coulis* nr. 5, pag.51-59.
82. American Concrete Institute –ACI, *State of the art report on fiber reinforced Concrete*, Detroit, Journal of the American Concrete Institute ACI, Vol.40 Nov.1973, p. 729-744.
83. Avram, C., Filimon, I., Bob, C., Buchman, I. *Indrumator pentru folosirea betonului armat cu fibre de otel*, Bucuresti, Buletinul Constructiilor vol. 3/1977, p.120-127.
84. Johnston, C.D. *Steel fiber reinforced mortar and concrete, A review of mechanical properties- Fiber reinforced concrete*, Detroit, ACI SP-44,1974.
85. Luke, C.E, Waterhouse, B., L Wooldrige, J.F, *Steel fiber reinforced concrete optimization and applications*, V[3.2], p. 375-392.
86. Avram, C., Bob, C., *Noi tipuri de betoane speciale*, Ed. Tehnica 1980.
87. Dehousse, H.M, *Methodes d'essais et caracteristiques mecaniques des betons armes de fibres metalliques*, p.119-136.
88. Buchman, I., Bob, C., Avram, C. *Betoane armate cu fibre de otel*, Bucuresti, Revista materialelor de constructii nr. 4/1975.
89. Fratut, S., Bob, C., *Betoane de inalta performanta utilizate la traverse cai ferate si la elemente prefabricate precomprimate*, Buletinul Stiintific al Universitatii 'Politehnica' din Timisoara, TOM 47(61)-2002.
90. Fratut, S., Bob, C., *Efectul armarii cu fibre metalice asupra proprietatilor betoanelor*, Buletinul Stiintific al Universitatii 'Politehnica' din Timisoara, TOM 47(61)-2002.

CUPRINS

Capitolul I. Tipuri de lianti utilizati la obtinerea betoanelor de mare rezidenta.....	1
1.1. Istoric	1
1.2. Nomenclatura.....	5
1.3. Cimentul Portland.....	12
1.3.1 Compozitia clincherului de ciment.....	13
1.3.1.1 Compozitia chimica.....	13
1.3.1.2 Compozitia mineralogica a clincherului.....	14
1.3.1.3 Determinarea compozitiei mineralogice a clincherelor.....	17
1.3.1.4 Corespondenta intre metodele de determinare si compozitia reala a clincherelor.....	22
1.3.1.5 Relatiile intre compozitia oxidica si compozitia mineralogica a clincherelor.....	23
1.3.1.6 Calculul amestecului brut pentru clincher de ciment Portland.....	25
1.3.2. Materii prime.....	28
1.3.2.1 Varietati de materii prime	28
1.3.2.2 Condiitiile pe care trebuie sa le indeplineasca compozitia chimica a materiilor prime.....	30
1.3.2.3 Importanta tehnologica a naturii minerale si a proprietatilor fizice ale materiilor prime.....	31
1.3.2.4 Adaosuri.....	31
1.3.2.5 Extragerea si transportul materiilor prime.....	32
1.3.3. Procedee de fabricatie.....	32
1.3.3.1 Procesul tehnologic de obtinere a cimentului Portland.....	36
1.3.3.2 Pregatirea amestecului brut.....	37
1.3.3.3 Maruntirea grosiera (concasarea).....	38
1.3.3.4 Uscarea materiilor prime.....	39
1.3.3.5 Maruntirea fina.....	39
1.3.3.6 Capacitatea de productie a morilor.....	40
1.3.3.7 Transportul amestecului brut.....	41
1.3.3.8 Depozitarea si omogenizarea amestecului brut.....	41
1.3.3.9 Arderea amestecului brut si obtinerea clincherului.....	41
1.3.3.9.1 Influenta reactionabilitatii materiilor prime.....	43
1.3.3.9.2 Influenta gradului de dispersie a materiilor prime.....	43

1.3.3.9.3	Influenta compozitiei granulometrice a materialului de-a lungul cuptorului.....	43
1.3.3.9.4	Influenta fazei topite.....	44
1.3.3.9.5	Influenta mineralizatorilor.....	44
1.3.3.9.6	Influenta MgO.....	44
1.3.3.10	Procesul tehnologic de ardere a clincherului.....	44
1.3.3.11	Racirea clincherului.....	45
1.3.3.12	Macinarea clincherului.....	46
1.3.3.13	Insilozarea cimentului.....	46
1.3.3.14	Ambalarea si livrarea cimentului.....	46
1.3.4	Priza si intarirea cimentului.....	46
1.3.5	Hidratarea constituentilor mineralogici.....	54
1.3.5.1	Hidratarea silicatilor de calciu.....	54
1.3.5.2	Hidratarea aluminatilor de calciu.....	55
1.3.5.3	Hidratarea celorlalte faze din clincher.....	55
1.3.5.4	Formarea de combinatii complexe.....	55
1.3.5.5	Hidratarea pulberii de ciment.....	56
1.3.6	Proprietatile cimentului Portland.....	56
1.4	Tipuri de ciment Portland.....	65
1.4.1	Cimenturi cu rezistente initiale mari.....	66
1.4.2	Cimenturi cu rezistente finale mari.....	70

Capitolul II. Performantele materialelor componente pentru obtinerea		
	betonelor de mare rezistenta.....	73
2.1	Introducere.....	73
2.2	Betoane de inalta rezistenta.....	74
2.3	Betoane speciale de inalta rezistenta.....	76
2.4	Aspecte privind dezvoltarea tehnologiei betonelor de inalta performanta.....	78
2.4.1	Betoane din pudre reactive.....	89
2.4.1.1	Principiile obtinerii BPR.....	89
2.4.1.2	Microstructura betonelor din pudre reactive.....	98
2.4.2	Betoane cu aditivi superplastifianti.....	100
2.4.2.1	Materiale componente.....	100
2.4.2.2	Stabilirea compozitiei betonelor cu superplastifianti.....	158
2.4.2.3	Proprietatile betonelor cu superplastifianti.....	160
2.4.2.4	Domenii de utilizare a betonelor cu superplastifianti.....	166
2.4.2.5	Beton cu fibre de otel pentru platforme industriale.....	167

Capitolul III. Rezultate experimentale pe elemente de beton de mare	
rezistenta.....	182
3.1. Introducere.....	182
3.2. Clasificari.....	182
3.3. Forme si dimensiuni.....	183
3.4. Prevederi de baza pentru realizarea traverselor de cale ferata normala si industrial.....	190
3.4.1 Realizarea betonului de calitate prevazuta in STAS 9116/1,2- 88.....	190
3.4.2 Realizarea precomprimarii traverselor din beton.....	192
3.4.3 Verificarea la incovoiere statica a traverselor la unitatea de executie.....	194
3.4.4 Evitarea despicarii la capete a traverselor la montarea trifoarelor.....	195
3.5 Incercari experimentale asupra unor elemente prefabricate din beton precomprimat- traverse din beton precomprimat.....	195
3.6 Incercari experimentale asupra unor elemente prefabricate din beton precomprimat -grinzi din beton precomprimat.....	203
3.6.1 Elemente din beton de clasa C32/40(B500).....	203
3.6.1.1 Incercarea experimentală a unei grinzi TT.....	203
3.6.1.2 Incercarea experimentală a unei grinzi Y.....	212
3.6.2 Elemente din beton de clasa C45/55(B650)- grinzi cu doua pante, de tip G5 si G10.....	220
3.6.2.1 Acordul tehnic pentru cimentul Portland.....	220
3.6.2.2 Acordul tehnic pentru aditivul superplastifiant Chrysofluid GT.....	223
3.6.3 Retete privind prepararea betonului.....	246
3.6.3.1 Metoda pentru stabilirea compozitiei betoanelor inalt performante.....	253
3.6.4 Interpretarea statistica a rezultatelor pentru statia de betoane a S.C. EUROPREFABRICATE S.R.L. pe trimestrul III, anul 2001..	260
3.6.5 Betoane armate cu fibre de otel - determinarea raportului r printr-o formula contributie proprie.....	261
3.6.6 Analiza rezultatelor obtinute pe probe de betoane armate cu fibre de otel	270
3.6.7 Concluzii	280
3.6.8 Contributii personale.....	281
3.6.9 Bibliografie	283