



Baština Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

Metodi ubrzanog ispitivanja otpornosti vezivnih sredstava i betona

Fukarek, Pavle

1967

Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

<https://bastina.anubih.ba/items/0f09bcd5-aec3-45d3-b84f-ca7cc842a4df>

Preuzeto s Baštine Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

<https://bastina.anubih.ba/>

AKADEMIJA NAUKA I UMJETNOSTI BOSNE I HERCEGOVINE

POSEBNA IZDANJA

KNJIGA VIII

ODJELJENJE PRIVREDNO-TEHNIČKIH NAUKA

Knjiga 2.

JULIJE HAHAMOVIĆ

METODI UBRZANOG ISPITIVANJA OTPORNOSTI VEZIVNIH SREDSTAVA I BETONA

SARAJEVO

1967

ACADEMIE DES SCIENCES ET DES ARTS DE BOSNIE-HERZEGOVINE

PUBLICATIONS SPECIALES

TOME VIII

SECTION DES SCIENCES ECONOMIQUES ET TECHNIQUES

Livre 2.

Rédacteur

PAVLE FUKAREK,
membre de l'Académie des sciences et
des arts de Bosnie-Herzégovine.

JULIJE HAHAMOVIC

**METHODES POUR L'ESSAI ACCELERE CONCERNANT
LA RESISTANCE DES LIANTS ET DU BETON**



SARAJEVO
1967

S A D R Ž A J

	Strana
U V O D	5
1. CEMENT	8
1.1. Metod ispitivanja sa rastvorom NaOH	8
1.2. Vreme vezivanja	10
1.3. Ispitivanje »x«-zracima	12
1.3.1. Hidratisana mešavina portland-cement + kvareni pesak bez dodatka NaOH	12
1.3.2. Hidratisane mešavine portland-cement + kvarcni pesak sa dodatkom 10% NaOH	13
1.3.3. Diskusija o rezultatima	14
1.4. Rezultati mehaničkih ispitivanja	19
2. BETON I CEMENT	35
Metodi zaparivanja	35
2.1. Uvodne postavke	35
2.2. Uređaji za ispitivanje	36
2.3. Preliminarna ispitivanja	38
2.4. Rezultati glavnih ispitivanja	43
2.5. Zaključak	46
R E S U M E	47



U V O D¹

Pitanje ispitivanja kako cementa za građevinske potrebe, tako i betona predstavlja poseban problem unutar problematike građevinske kontrole. Dok se, s jedne strane, u cilju podizanja kvaliteta u građevinarstvu mora forsirati vršenje ovakvih ispitivanja u što češćim periodima, praktički permanentno u toku izvođenja nekog objekta, s druge strane, sam metod ispitivanja koji se u duhu standarda sprovodi kod nas ne pogoduje čestim ispitivanjima takvog karaktera, i to sa sledećih razloga:

Čvrstoća kako cementa, tako i betona kontinualno raste od momenta dodavanja vode pa dalje, i ovo povećanje traje danima i mesecima te, makar i u neznatnom obimu, i godinama. Zbog toga se kako u duhu naših, tako i u duhu stranih propisa kao standardni dan za čvrstoću uzima 28. dan računajući od dana spravljanja cementnog maltera, odnosno betona. Svakako, moguće je da se cement, odnosno beton, ispituju i nekog drugog dana, pa da se onda primenjujući neku empiričku formulu (kod nas je u poslednje vreme uobičajena formula Bechyněa) izvrši preračunavanje čvrstoće za standardni, tj. 28. dan. Međutim, i ovaj metod ima svoje slabosti. Tako je, npr., konstatovano u Zavodu za ispitivanje materijala i konstrukcija² da metalurški cementi ne očvršćavaju adekvatno portland-cementima, da, npr., procenatni priraštaj čvrstoće ovih cementa u prve četiri nedelje teče sporije nego priraštaj čvrstoće portland-cementa. Prema tome, ovakve i slične empirijske formule mogu u potpunosti da važe samo za određenu vrstu cementa, a ne za ma koju vrstu cementa. Sem toga, praktički se —

¹ Na ovom radu saradivali su: Šahzija Dreca, asistent; Nada Knežević, asistent; Džemal Sarajčić, stručni saradnik; dr Stojanka Stojadinović, vanredni profesor; Ranko Smiljanić, asistent; Anton Južnić, visokokvalifikovani mehaničar; svi na radu u Zavodu za ispitivanje materijala i konstrukcija Građevinskog fakulteta u Sarajevu.

Rad su finansirali: Republički fond za naučni rad Bosne i Hercegovine, Republička privredna komora i Zavod za ispitivanje materijala i konstrukcija Građevinskog fakulteta u Sarajevu.

² dr J. Hahamović i N. Knežević, »Osobine zgura iz bosanskih metalurških pogona od interesa pri izradi građevinskih konstrukcija«, Publikacija Tehničkog fakulteta u Sarajevu — knjiga VI, sveska 1. i 2; Sarajevo, 1965. godine.

izuzev kada su u pitanju cementi i betoni vrlo visokog kvaliteta — ne vrše ispitivanja pre 7. dana, pošto je do tog dana čvrstoća relativno niska i teško ju je usporediti sa čvrstoćom posle 28 dana. Iz toga proizlazi da je i sa naučnog i sa stručnog gledišta u potpunosti prihvatljivo samo ono ispitivanje koje se obavlja najmanje 28. dana posle spravljanja.

Međutim, ispitivanje koje se obavlja tek 28. dana, praktički dakle mesec dana posle spravljanja, krije u sebi mnoge slabosti. Naime, cilj ovakvog ispitivanja u građevinarstvu jeste kako omogućavanje utvrđivanja stvarnog kvalitativnog stepena proizvoda, tako i omogućavanje uticanja na one proizvode koji će se stvarati, na analogan način, u budućnosti. Ako se, međutim, mora da čeka najmanje oko mesec dana da bi se utvrdili, npr., izvesni nedostaci betona čiji su ugledi odabrani za ispitivanje pa se u toku ovih mesec dana, uz kontinualan rad na građevini, produžuje izrada lošeg betona (što znači da se tek posle mesec dana uopšte saznaje da beton nije odgovarajućeg kvaliteta), tada su se u međuvremenu, možda, pojavile i krupne greške koje je teško ili nemoguće ispraviti, a u svakom slučaju je beton u celom tom periodu kvalitativno podbacio.

Slično je, takođe, i u vezi s ispitivanjem cementa. Tako je, npr., i ovaj naš istraživački rad utvrdio da kvalitet cementa nije uvek onakav kakav fabrika cementa deklariše, već da je, štaviše, znatno ispod garantovanog kvaliteta. Prema tome je u najvećem interesu poručio cementa da odmah nakon isporuke, objektivnim ispitivanjem materijala, utvrdi njegov stvarni kvalitet. Ali, ako će on u ovom cilju stvarno morati da čeka najmanje oko mesec dana a cement će mu biti ranije potreban, tada ovo ispitivanje, post festum, neće imati više svog bitnog kontrolnog i orijentacionog značaja.

S izloženih razloga već se odavno traga za ubrzanim ispitivačkim metodima, za cement i beton, kao vrlo bitnim i korisnim metodima u interesu kvalitativnog unapređivanja građevinskog rada. Ovom zadatku posvećen je i ovaj istraživački rad.

Pošto se, načelno, postupci u ispitivanju cementa mogu razlikovati od postupaka u ispitivanju betona, to ćemo u ovom radu odvojeno tretirati stvar ispitivanja cementa, odnosno betona.

Zajednički cilj i jednog i drugog ispitivanja jeste da se pronađu metodi pomoću kojih će se orijentaciono, ali za praktične potrebe dovoljno ubedljivo, već za kratko vreme posle spravljanja cementnog maltera, odnosno betona, tj. za jedan dan, pa i u toku prvog dana, moći utvrditi odgovarajuće cifre koje će nioći korisno da služe. Reč, dakle, nije o metodu koji bi na bolji način utvrdio naučno fundiranu istinu o kvalitetu materijala, nego o metodu koji bi za vrlo kratko vreme omogućio da se dođe do takvih saznanja koja su u interesu pravilnog i bržeg odvijanja građevinskih radova od velikog značaja.

U celom ovom radu težilo se da se, po mogućstvu, primene dva postupka, i to:

- postupak ispitivanja bez specijalne aparature,
- postupak koji metodski zavisi od određene aparature.

Dok se u drugom postupku, tj. postupku koji se zasniva na primeni aparature, potpuno uspelo i u slučaju cementa i u slučaju betona, prvonavedeni princip ispitivanja imao je uspeha samo u slučaju cementa. Ipak, smatramo da je potrebno da se prikaže i ovaj ispitivački metod, sa kojim smo imali samo polovičan uspeh, pošto se i on, u određenim slučajevima (kada se, npr., zbog relativno male potrošnje cementa ne raspolaže odgovarajućom aparaturom) racionalno može da primeni u terenskoj praksi.



1. CEMENT

1. 1. *Metod ispitivanja sa rastvorom NaOH*

Imajući u vidu ono što je rečeno na kraju uvodnog dela, o težnji da se postupci ubrzanog ispitivanja, ukoliko je to moguće, sprovede i bez specijalne aparature, naročito na terenu, pošlo se od namere da se izvesnim dodacima koji dejstvuju na fizičko-hemijskom osnovu ubrza tok vezivanja i očvršćavanja cementa u tolikoj meri da se već u kratkom roku, tj. posle jednog dana, može postići neka čvrstoća na savijanje i na pritisak koja bi stajala u korelaciji sa standardnom čvrstoćom ovog materijala.

Kao dodaci u navedenom smislu mogli bi doći u obzir materijali koji se mogu primeniti u građevinarstvu, a čijim se dodavanjem postiže ubrzano vezivanje. Kao takvi smatraju se, notorno, sledeći dodaci:

- a) aluminatni (boksitni) cement u količini 5—8%,
- b) mleveni portlandcementni klinker.

Posle detaljnijeg razmatranja, odustali smo od ovog, ne očekujući da bi ti dodaci za izloženu svrhu mogli biti od koristi, i to sa sledećih razloga:

- ad a) što domaći aluminatni cement po svom hemijskom sastavu jako varira, a ta činjenica ima bitnog uticaja i na njegovo ponašanje u toku perioda vezivanja i prvog očvršćavanja; prema tome, ovaj metod mogao bi praktički biti primenjiv jedino u slučaju ako bi se proizvela neka vrsta aluminatnog cementa hemijski potpuno uniformnog sastava, što je, međutim, praktički gotovo nemoguće postići;
- ad b) što portlandcementni klinker po svom hemijskom sastavu takođe, pa i znatnije od aluminatnog cementa, oscilira, a sem toga praktički se teško dobija čisti portlandcementni klinker (koji bi se morao specijalno pripremati), pošto se u našim tvornicama prilikom pečenja sirovina i stvaranja klinkera već dodaje izvesna količina mlevenog gipsa.

Prema tome, ostalo je, kao jedino preporučljivo, dodavanje takve supstancije koja na osnovi svog potpuno određenog hemijskog sastava može doći u obzir za uspoređivanje u ma kojim uslovima. O jednom takvom dodatku govori Feret,³ koji je, u cilju ispitivanja stepena hidrauličnosti topioničke zgure, pripremio ispitivačke ugleda od jednog dela mlevene zgure, dva dela normnog peska i 11³/₁₀ rastvorom NaOH. Trebalo je najpre pokazati da li je ovaj metod primenjiv i kao dodatak cementu ma kojih karakteristika.

U iznetom smislu najpre su izvršeni prethodni opiti sa cementnim kolačićima, standardnih karakteristika, sa dodatkom od 11³/₁₀NaOH. Svi ovakvi kolačići pravilno su očvrsnuli, pa je na osnovi toga doneta odluka da se pristupi ispitivanju vremena vezivanja uz dodavanje rastvora NaOH u različitim koncentracijama.

Za ovaj prethodni rad upotrebljeni su uzorci raznih vrsta i marki cemenata (uzeti su u obzir kako portland-cementi, tako i cementi sa dodatkom zgure, te sa dodatkom pucolana, tj. opalske breče, onoga tipa koji se upotrebljava u izgradnji objekta HE »Trebišnjica«) navedeni u tabelarnom pregledu br. 1.

TABELA BR. 1

Redni broj	Vrsta cementa	Oznaka	Poreklo cementa	Datum meljave
1.	Portland-cement	PC-450	»Dalmacija« Split	7. VIII 63.
2.	Portland-cement	PC-450	»Dalmacija« Split	11. XII 63.
3.	Portland-cement	PC-450	»Dalmacija« Split	24. XI 63.
4.	Portland-cement	PC-350	»Dalmacija« Split	11. XI 63.
5.	Portland-cement	PC-350	»Dalmacija« Split	17. XII 63.
6.	Portland-cement	PC-250	Beočinska fabrika cementa	30. XI 63.
7.	Portland-cement sa dodatkom zgure	PC-25 Z-350	Beočinska fabrika cementa	25. XI 63.
8.	Portland-cement sa dodatkom zgure	PC-8Z-250	»Novi Popovac« Paraćin	30. XI 63.
9.	Portland-cement sa dodatkom zgure	PC-10 Z-350	»Novi Popovac« Paraćin	—
10.	Portland-cement sa dodatkom pucolana	PC-250	»Dalmacija« Split	21. X 63.
11.	Portland-cement sa dodatkom opalske breče	PC-20 OB-350	»Prvoborac« Solin	5. XII 63.

³ Feret: Additions des Matières pulvérulantes aux Liants hydrauliques, Paris, 1925.

1. 2. Vreme vezivanja

Vreme vezivanja utvrđivano je Vikatovom aparaturom, najpre načelno za PC-450, a za sledeće procentualne koncentracije NaOH:

- 0% NaOH
- 3% NaOH
- 5% NaOH
- 8% NaOH
- 9% NaOH
- 11% NaOH
- 12% NaOH
- 15% NaOH
- 20% NaOH

Ovo je sadržano u tabeli br. 2.

TABELA BR. 2

Redni broj	Cementna kaša	Prosečno vreme vezivanja	
		početak	kraj
		nastupio posle časova, minuta	
	PC-450	3,10	5,23
	PC-450 sa 20% rastvorom NaOH	0,10	0,18
	PC-450 sa 15% rastvorom NaOH	0,12	0,20
	PC-450 sa 12% rastvorom NaOH	0,13	0,21
	PC-450 sa 11% rastvorom NaOH	0,13	0,22
1.	PC-450 sa 10% rastvorom NaOH	0,14	0,23
	PC-450 sa 9% rastvorom NaOH	0,15	0,25
	PC-450 sa 8% rastvorom NaOH	0,17	0,30
	PC 450 sa 3% dodatkom boksitnog cementa	1,02	1,48
	PC-450 sa 5% dodatkom boksitnog cementa	0,52	1,36
2.	PC-450	3,01	4,22
	PC-450 sa 10% rastvorom NaOH	0,14	0,22
3.	PC-450	3,20	5,28
	PC-450 sa 10% rastvorom NaOH	0,14	0,24
4.	PC-450	3,32	4,53
	PC-450 sa 10% rastvorom NaOH	0,15	0,24

Iz ovog tabelarnog pregleda proizlazi da se vreme početka vezivanja čistog PC-450 koje je iznosilo 3h i 10' već uz dodavanje svega 8% rastvora NaOH smanjilo na 17', a uz uvećanu koncentraciju od 20% smanjilo u proseku na svega 10'. Adekvatno ovome je i vreme proteklo do kraja vezivanja spalo od 5h 23', za čisti cement, na 18' prilikom davanja rastvora NaOH. Proces vezivanja koji je kontrolisan Vikatovom

aparaturom, a koji je u slučaju čistog cementa iznosio 2h i 13', trajao je uz dodavanje rastvoa NaOH u krajnjem slučaju svega 8', dakle minimalno.

Na osnovu iznetog odlučeno je da se u daljem opitima uniformno primeni dodatak od 10% rastvora NaOH; rastvaranje je vršeno u destilovanoj vodi.

U daljem toku rada izvođene su konstatacije o početku i kraju vezivanja sledećih cemenata:

- portland-cementa: PC-450
- portland-cementa: PC-350
- portland-cementa: PC-250
- portland-cementa: sa dodatkom zgure: PC-25 Z-350
- portland-cementa sa dodatkom zgure: PC-8 Z-250
- portland-cementa sa dodatkom zgure: PC-10 Z-350
- portland-cementa sa dodatkom opalske breče: PC-20 OB-350 (tip za branu »Grančarevo«)
- portland-cementa sa nepoznatim dodatkom pucolana (inostrani cement)

Rezultati ovog ispitivanja sadržani su u tabelarnom pregledu br. 3.

TABELA BR. 3

Redni broj	Cementna kaša	Prosečno vreme vezivanja	
		početak	kraj
		nastupio posle časova, minuta	
1.	PC-450	3,01	4,22
	PC-450 sa 10% rastvorom NaOH	0,14	0,22
2.	PC-450	3,20	5,28
	PC-450 sa 10% rastvorom NaOH	0,14	0,24
3.	PC-350	3,32	4,53
	PC-350 sa 10% rastvorom NaOH	0,15	0,24
4.	PC-250	3,32	4,42
	PC-250 sa 10% rastvorom NaOH	0,15	0,20
5.	PC-250	3,35	4,38
	PC-250 sa 10% rastvorom NaOH	0,15	0,21
6.	PC-25 Z-350	—	—
	PC-25 Z-350 sa 10% dodatkom NaOH	0,18	0,26
7.	PC-8 Z-250	—	—
	PC-8 Z-250 sa 10% rastvorom NaOH	0,17	0,26
8.	PC-10 Z-350	—	—
	PC-10 Z-350 sa 10% rastvorom NaOH	0,18	0,26
9.	PC-250 sa dodatkom pucolana	—	—
	PC-250 sa dodatkom pucolana sa 10% rastvorom NaOH	0,16	0,23
10.	PC-20 OB-350	2,55	4,28
	PC-20 OB-350 sa 10% rastvorom NaOH	0,17	0,24

Rezultati ukazuju na to da je nezavisno od primenjene vrste cementa, pa čak i nezavisno od toga da li je u pitanju čisti cement ili cement sa dodatkom metalurške zgure, ili pak pucolana, redovno postignuto gotovo identično ubrzanje vezivanja. Početak vezivanja se kretao 14'—18', a kraj vezivanja 20'—26'. U tom pogledu postignuta je, prema tome, vrlo dobra saglasnost u svih vrsta cementa.

1. 3. Ispitivanje »X«-zracima

Da bi se mogle, bar unekoliko, objasniti promene koje su nastale u materijalu usled dodatka NaOH, uključujući ovamo i hemijske procese koji su doveli do ovih promena, sprovedeno je ispitivanje odgovarajućih uzoraka sa dodatkom i bez dodatka 10% rastvora NaOH putem rendgenografske analize. Ovo je učinjeno za smeše portland-cement + standardni kvarcni pesak + voda, dakle sa takvim ugledima koji će stvarno biti uzeti u obzir prilikom ispitivanja cementa s ubrzanom hidratacijom.

Ispitivanju pomoću rendgenografske analize bile su podvrgnute sledeće vrste cementa:

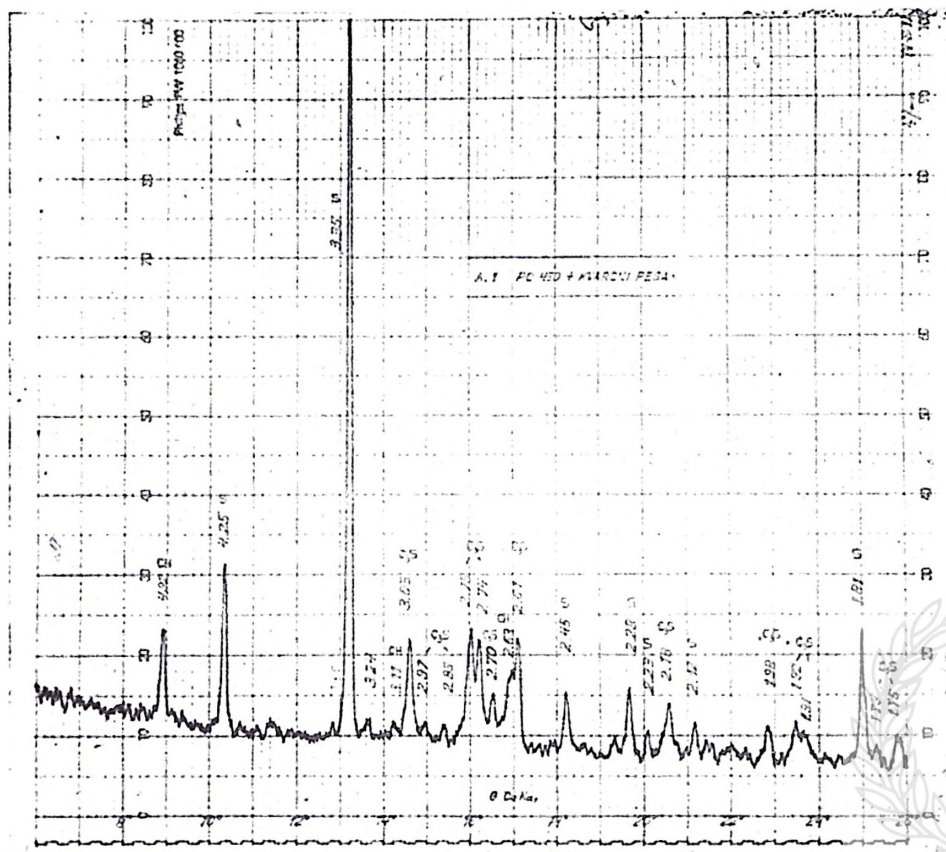
- | | |
|---------------------------|---------------------|
| — portland-cement: PC-450 | } bez dodatka NaOH |
| — portland-cement: PC-350 | |
| — portland-cement: PC-250 | |
| — portland-cement: PC-450 | } sa dodatkom NaOH. |
| — portland-cement: PC-350 | |
| — portland-cement: PC-250 | |

Cilj ovih ispitivanja bio je da se vidi kakva razlika postoji u strukturi pojedinih mešavina portland-cement + kvarcni pesak bez dodatka NaOH i — pojedinih mešavina sa dodatkom NaOH i da se utvrdi kako utiče dodatak NaOH na ubrzano vezivanje navedenih mešavina.

1. 3. 1. Hidratisana mešavina portland-cement + kvarcni pesak bez dodatka NaOH

Najmanji sadržaj portlandita je u probi 1.3.1.1, tj. mešavini PC-450 + kvarcni pesak, gde je portlandit označen skraćeno sa »CH«. Sadržaj kvarca, prema intenzitetu linija, je u ovoj probi najviši; označen je na rendgenogramu sa »S«; isti je kao u probi 1.3.1.2, tj. mešavini PC-350 + kvarcni pesak, a najniži u probi 1.3.1.3, tj. u PC-250 + + kvarcni pesak. Linije kreča CaO su slabe i jedva se zapažaju; označene su na dijagramu sa »C«.

Rendgenogrami hidratizanih mešavina portland-cement + kvarcni pesak bez dodatka NaOH predstavljeni su na slikama od 1.3.1.1. do 1.3.1.3.



Sl. 1.3.1.1

1.3.2. Hidratizane mešavine portland-cement + kvarcni pesak sa dodatkom 10% NaOH

Ove probe u celini pokazuju niži sadržaj portlandita, u odnosu prema probama hidratizanih mešavina portland-cement + kvarcni pesak bez dodatka 10% NaOH. U probi 1.3.2—3, tj, mešavini PC-250 + kvarcni pesak + 10% NaOH, intenziteti linija kvarca (S), rutila i plagioklasa (Pl) su najjače izraženi. Navedena linija 3,18 Å plagioklasa ne odgovara reakcionim proizvodima.

Na dijagramu je C_3S jasno registrovan linijama različitog intenziteta, dok su linije ostalih klinkernih minerala veoma slabe.

Zatim su prisutni kvarc — označen sa »S«; CaO — označen sa »C«; portlandit, $Ca(OH)_2$, označen sa »CH«; kalcit, »C«, i minerali — uneti sa kvarcnim peskom (rutil, plagioklas i rutil — TiO_2). Linija 2,10 Å odgovara periklasu — MgO. Faza NaOH rendgenski nije registrovana, niti neki reakcioni proizvod.

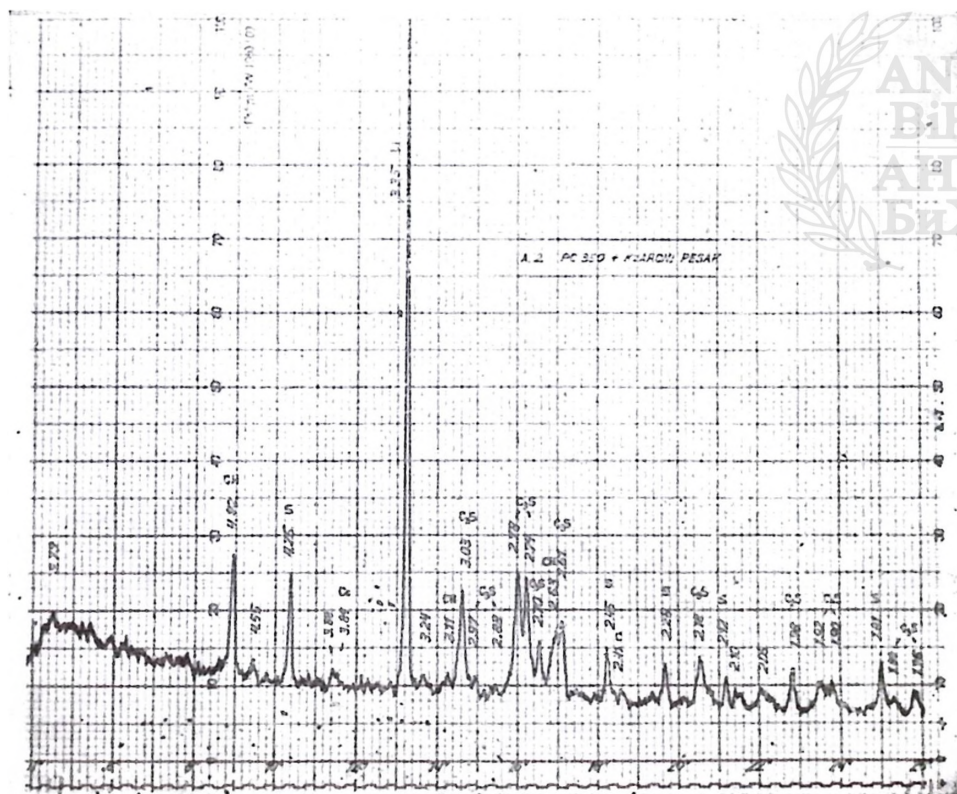
Određeno se može konstatovati da probe sa dodatkom NaOH pokazuju niži sadržaj portlandita.

Napomena: Iako su mešavine pravljene od istih količina PC + + kvareni pesak, ipak se primećuju neke oscilacije u intenzitetu linija, u zavisnosti od primenjene marke cementa.

Radiogrami hidratizanih mešavina portland-cement + kvareni pesak sa dodatkom 10% NaOH predstavljeni su na slikama: od 1.3.2.1, do 1.3.2.3.

1.3.3. Diskusija o rezultatima

Iz rendgenskih difraktograma može se zaključiti da, u slučaju relativno male količine vode, hidrelizi (nepotpunoj) podleže samo mineral trikalcijum silikat. Ovaj mineral različito se ponaša u hidratizanim mešavinama sa 10% rastvora NaOH, i bez njega. Naime, ako posmatramo najjaču liniju C_3S u sredini bez 10% NaOH, vidimo da intenzitet ove linije u difraktogramu varira od vrednosti 22 do 25, dok



Sl. 1.3.1.2

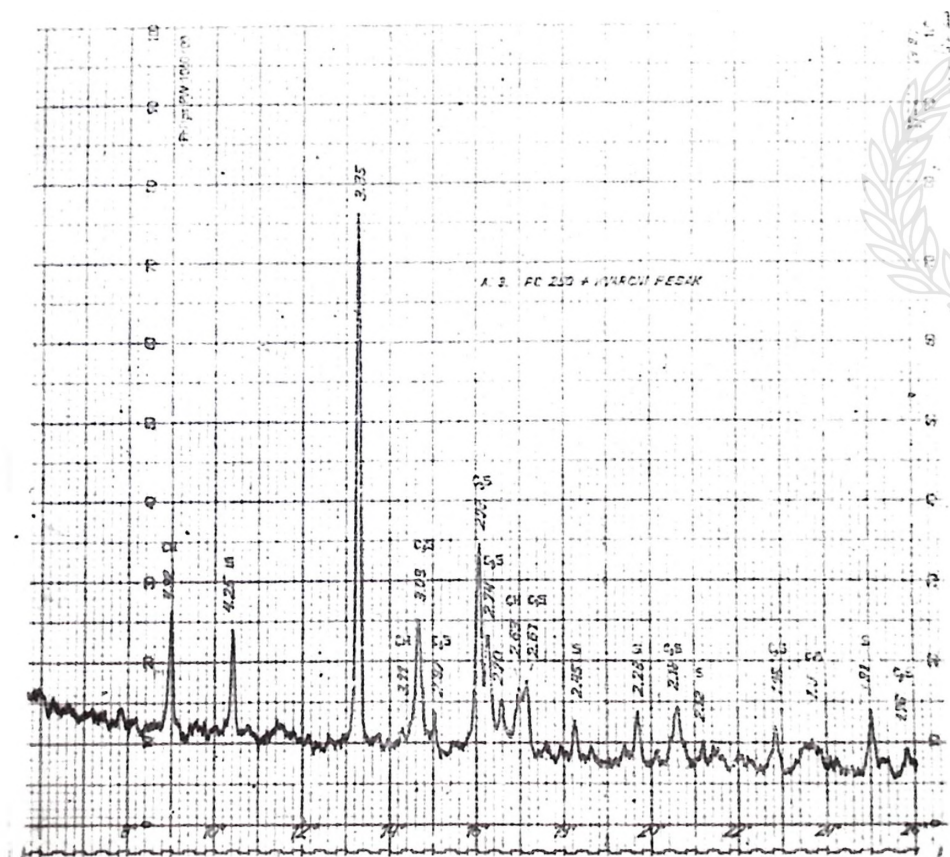
je u sredini sa 10% NaOH ovaj intenzitet znatno veći i kreće se u granicama od 28,5 do 30,5. Intenzitet linije C_3S dat je u tabelarnom pregledu broj 4.

Intenzitet linije C_3S

TABELA BR. 4

Sredina	C_3S PC-250 + kvareni pesak	C_3S PC-350 + kvareni pesak	C_3S PC-450 + kvareni pesak
bez NaOH	22	23	25
sa 10% NaOH	29	28,5	30,5

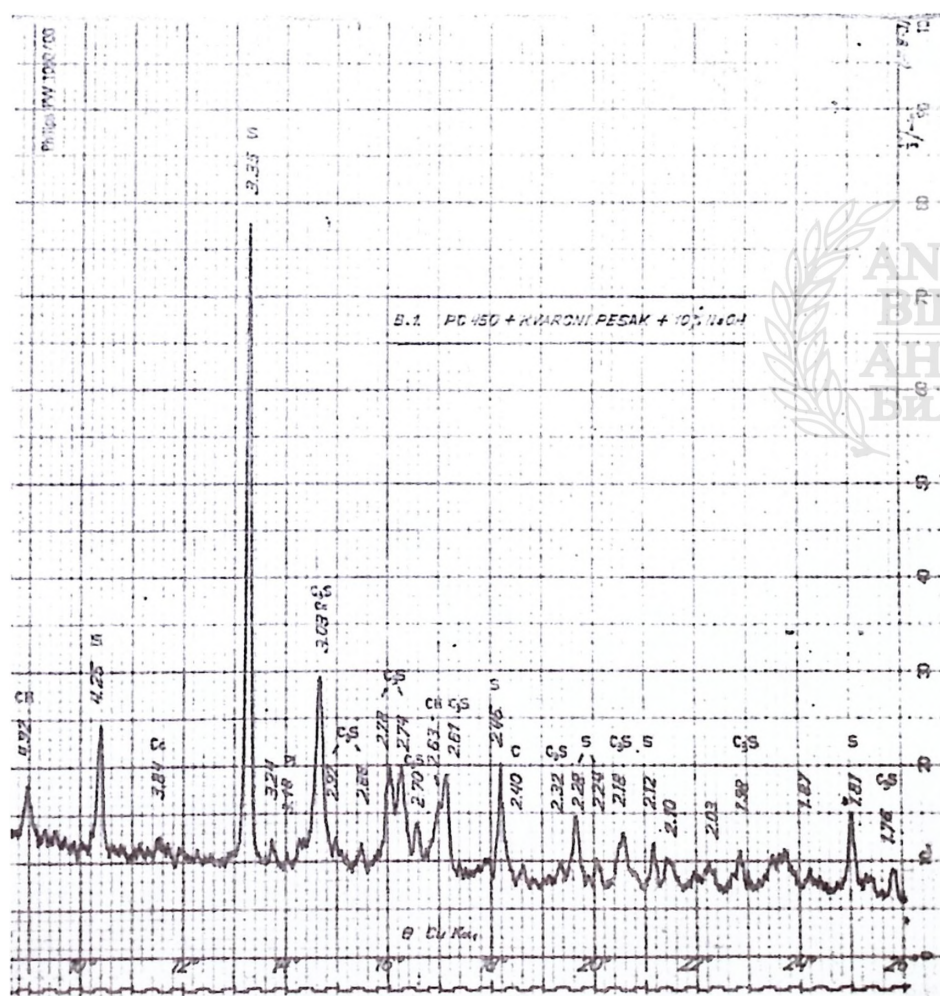
Što se tiče dikalcijum silikata i trikalcijum aluminata, njihova glavna masa se hidratiše, tj. vezuje vodu, ne smanjujući bazičnost, i samo mali deo ovih minerala može podleći delimičnoj hidrolizi u po-



Sl. 1.3.1.3

četnom intervalu vremena, dok koncentracija kreča u tečnoj fazi još nije dostigla graničnu koncentraciju za dati mineral.

Jasno je da ako mi na dati klinkerski mineral (s izuzetkom 3 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ne bismo delovali čistom vodom, nego vodom koja sadrži rastvoreni NaOH, tada bi se u slučaju njegove koncentracije, jednake ili veće od granične, proces ograničio na hidrataciju bez hidrolize, pošto bi u tom slučaju uslovi za ravnotežu bili stvoreni ranije. Da bismo ovo potvrdili, posmatrali smo intenzitet linije portlandita — CH, tj. $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Naime, intenzitet ove linije je različit za sredinu bez dodatka NaOH i za sredinu sa dodatkom 10% NaOH. Intenzitet ove linije u hidratizanim mešavinama bez dodatka NaOH kreće se 23—27. Međutim, u hidratizanim mešavinama za 10% NaOH ovaj intenzitet linije portlandita je znatno slabiji i iznosi 18—19.



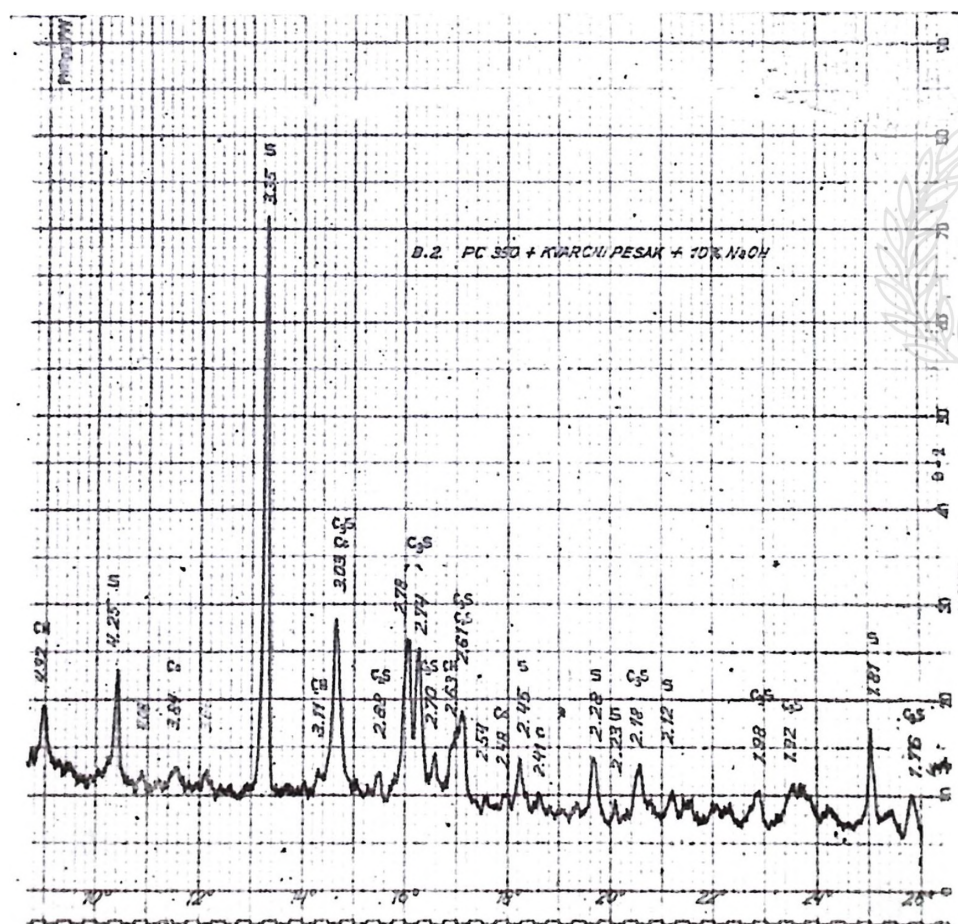
Sl. 1.3.2.1

Intenzitet linije $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dat je pregledno u tabelarnom pregledu br. 5.

TABELA BR. 5

Sredina hidratacije	Ca (OH) PC-450 + kvarcni pesak	Ca (OH) PC-350 + kvarcni pesak	Ca (OH) PC-250 + kvarcni pesak
bez NaOH	23	27	27
sa 10% NaOH	18	19	19

Dakle, u hidratisanim mešavinama sa 10% NaOH nastali gašeni kreč je rezultat procesa hidratacije, dok je u hidratisanim mešavinama bez NaOH nastali gašeni kreč proizvod hidrolize.



Sl. 1.3.2.2

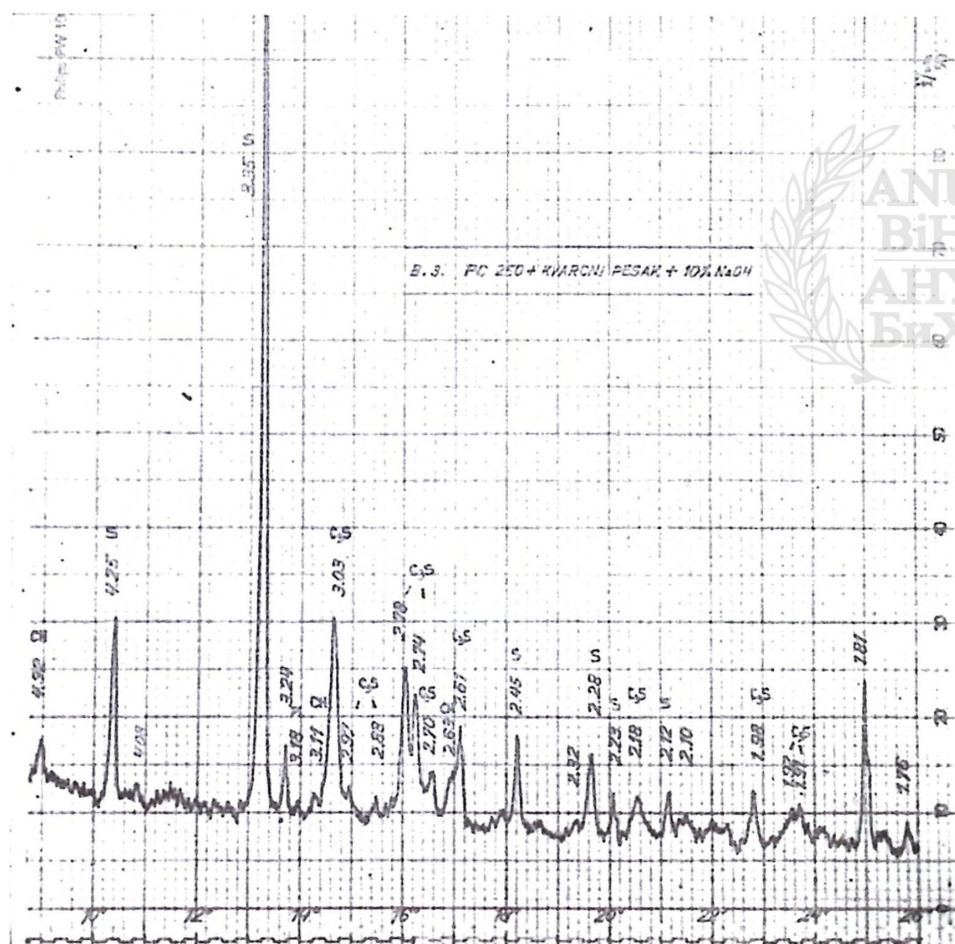
U sredini hidratizane mešavine sa znatno većim procentom od 10% NaOH vrši se hidroliza: H_2SiO_3 , $Al(OH)_3$ i $Fe(OH)_3$, pa se ne može da stvori čvrsta struktura, pošto ova jedinjenja sama po sebi predstavljaju manje ili više nezvanu pihijastu masu.

Zaključak

Kao osnovno postavili smo proučavanje strukture hidratizanih mešavina portland-cementa uz dodatak 10% NaOH i bez njega.

Na osnovi rezultata rendgenskih ispitivanja datih u rendgenogramima (vidi sl. 1.3.1.1, 1.3.1.2, 1.3.1.3 i 1.3.2.1, 1.3.2.2, 1.3.2.3) može se konstatovati:

- da su u hidratizanim mešavinama portland-cementa spravljenim sa čistom vodom intenziteti linija C_3S slabiji od intenziteta analognih linija u hidratizanim mešavinama spravljenim sa 10% NaOH;



Sl. 1.3.2.3

— da su intenziteti linija $\text{Ca}(\text{OH})_2$ u hidratizanim mešavinama bez NaOH jači nego u hidratizanim mešavinama sa 10% NaOH.

Ovo se može objasniti time što je u hidratizanim mešavinama sa 10% NaOH klinkerski mineral, trikalcijum silikat, u manjoj meri hidrolizovan, jer se unošenjem hidroksilnog jona »OH« iz alkalnog hidroksida NaOH postižu uslovi za ranije postignutu ravnotežu. Posledica ovog hemijskog procesa je ubrzano stvaranje granične koncentracije kreča, što dovodi do ubrzanog vezivanja i očvršćavanja celokupne mase.

Sem toga, prisustvo alkalnog hidroksida, tj. NaOH, znatno snižava rastvorljivost $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Očigledno je da je u ovom slučaju dodatak 10% NaOH ubrzavajuće delovao na celokupni proces vezivanja i očvršćavanja mase.

Naša istraživanja sa koncentracijama NaOH znatno većim od 10% pokazala su da one negativno utiču na proces vezivanja i očvršćavanja hidratizanih mešavina, što se može objasniti nagomilavanjem NaOH u rastvoru, tj. povećavanjem bazičnosti tečne faze u porama očvrsele mase.

Najzad može se konstatovati da se na osnovi rendgenskih ispitivanja može zaključiti da se uz dodatak od 10% NaOH hidratizanoj mešavini portland-cementa ne menja strukturni sastav osnovnog materijala i da se relativno najveća čvrstoća postiže sa dodatkom veličine ovog procenta, jer je popunjavanje pora sa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ u ovom slučaju najpovoljnije.

Na kraju se napominje da su istraživanja talijanskog hemičara Ferrari Fabija, objavljena 1965. godine⁴, utvrdila ubrzano stvrdnjavanje pucolanskih veziva dodavanjem alkalnih hidroksida KOH i NaOH u koncentracije od 1%. Ferrari, međutim, ne daje objašnjenje ovog fenomena.

1.4. Rezultati mehaničkih ispitivanja

Imajući u vidu napred navedene rezultate prethodnih i dopunskih ispitivanja, pristupili smo radu na efektivnom ispitivanju čvrstoće na savijanje i na pritisak, sa različitim dodacima rastvora NaOH.

U tom cilju izrađeni su standardni ugledi u vidu prizmi $4 \times 4 \times 16$ cm od cementa + standardni pesak, u težinskoj razmeri 1 : 3, od čega je uz dodatak određenog procenta vode spravljen cementni malter.

Ovi ugledi rađeni su kako sa čistom vodom, tako i s izvesnim dodacima NaOH; ovaj dodatak kretao se od 3%—20%.

U ovim ispitivanjima upotrebljeni su sledeći cementi:

— PC-450;

— PC-450 + 3% aluminatnog cementa;

⁴ Accelerazione dell'indurimento dei legami pozzolanici per mezzo di alcali (Il Cemento, Milano, 1965. vol. 1).

- PC-450 + 5% aluminatnog cementa;
- PC-350;
- PC-250;
- PC-25 Z-350;
- PC-8 Z-250;
- PC-250 sa nepoznatim dodatkom pucolana;
- PC-20 OB-350.

Ispitivanje je izvedeno, najpre, na Michaelisijevoj aparaturi u cilju utvrđivanja čvrstoće na savijanje, a docnije u Amslerovoj presi kapaciteta 12 tona, u cilju utvrđivanja čvrstoće na pritisak.

Ugledi sa dodatkom rastvora NaOH ispitivani su u svakom slučaju 24h posle spravljanja, ali su neki ugledi ispitani i posle manjeg broja časova (5 h ili 10 h).

Ugledi bez NaOH ispitivani su redovno posle 28 dana, ali je velik broj njih ispitan posle 3, 7, pa i 14 dana, sve sa ciljem da bi se što bolje mogao da prati razvoj čvrstoće na savijanje, odnosno na pritisak.

1.4.1. *Rezultati ispitivanja ugleda na čvrstoću na savijanje* prikazani su pregledno u tabelarnim pregledima br. 6-1 i 6-2.

TABELA BR. 6-1

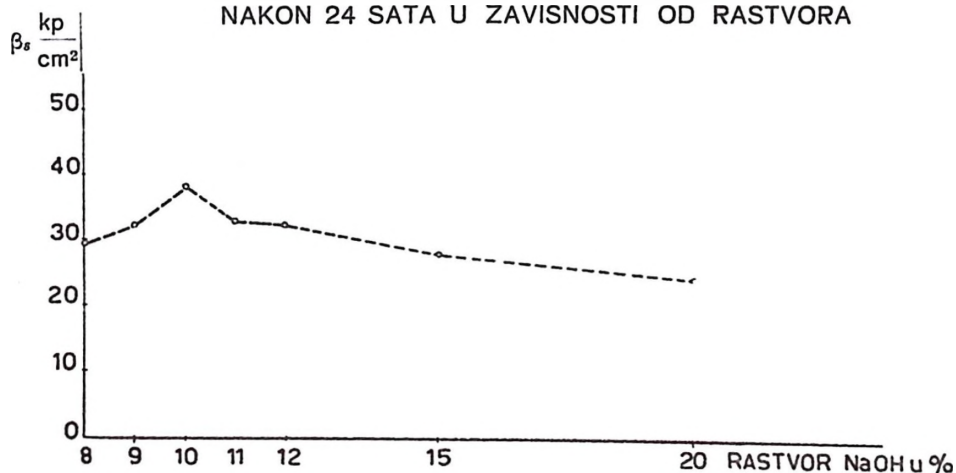
Redni broj	Vrsta cementa	Prosečna čvrstoća na savijanje posle:								
		3 sata	5 sati	10 sati	24 sata	3 dana	7 dana	14 dana	28 dana	90 dana
	PC-450	—	—	—	—	46,8	63,3	—	74,2	—
	PC-450 sa 20% NaOH	0,0	9,7	21,1	24,7	28,3	29,2	30,6	30,8	37,2
	PC-450 sa 15% NaOH	—	—	—	27,8	32,6	32,9	33,0	33,2	—
	PC-450 sa 12% NaOH	—	—	—	32,8	43,6	—	—	—	—
	PC-450 sa 11% NaOH	—	—	—	33,0	41,0	—	—	—	—
1.	PC-450 sa 10% NaOH	—	—	—	38,0	49,4	—	—	—	—
	PC-450 sa 9% NaOH	—	—	—	31,6	42,4	—	—	—	—
	PC-450 sa 8% NaOH	—	—	—	29,1	41,9	—	—	—	—
	PC-450 sa 3% dodatkom boksitnog cementa	0,0	—	—	11,8	42,4	57,7	73,0	78,6	—
	PC-450 sa 5% dodatkom boksitnog cementa	0,0	0,0	—	27,3	—	61,1	70,8	72,6	86,0
2.	PC-450	—	—	—	—	41,8	59,2	—	74,6	—
	PC-450 sa 10% NaOH	—	0,0	—	31,0	—	48,8	—	54,0	—
3.	PC-450	—	—	—	—	31,0	47,7	—	72,6	—
	PC-450 sa 10% NaOH	—	0,0	—	28,1	43,9	48,0	—	52,8	—

TABELA BR. 6-2

Redni broj	Vrsta cementa	Prosečna čvrstoća na savijanje posle:								kp/cm ²
		3 sata	5 sati	10 sati	24 sata	3 dana	7 dana	14 dana	28 dana	90 dana
4.	PC-350	—	—	—	—	—	52,8	—	67,2	—
	PC-350 sa 10% NaOH	—	0,0	—	30,9	—	38,5	—	47,3	—
5.	PC-250	—	—	—	—	—	43,6	—	57,6	—
	PC-250 sa 10% NaOH	—	0,0	—	13,3	—	22,7	—	33,4	—
6.	PC-250	—	—	—	—	—	37,6	—	56,2	—
	PC-250 sa 10% NaOH	—	0,0	—	18,9	—	35,3	—	35,7	—
7.	PC-25 Z-350	—	—	—	—	—	43,6	—	—	—
	PC-25 Z-350 sa 10% NaOH	—	0,0	—	27,5	41,2	44,7	—	—	—
8.	PC-8 Z-250	—	—	—	—	—	27,0	—	45,3	—
	PC-8 Z-250 sa 10% NaOH	—	0,0	—	16,6	—	20,3	—	30,0	—
9.	PC-10 Z-350	—	—	—	—	—	38,3	—	—	—
	PC-10 Z-350 sa 10% NaOH	—	0,00	—	23,9	41,9	41,9	—	—	—
10.	PC-250 sa pucolanom	—	—	—	—	—	44,4	—	—	—
	PC-250 sa pucolanom i 10% NaOH	—	0,0	—	23,1	41,3	44,7	—	—	—
11.	PC-20 OB-350	—	—	—	—	—	—	—	54,3	—
	PC-20 OB-350 sa 10% NaOH	—	—	—	24,2	26,9	—	—	—	—

Iz tabelarnih pregleda, kao i dijagrama, vidi se, u skladu sa ranijim konstatacijama (u pogledu brzine vezivanja), da je najveća čvrstoća na savijanje postignuta posle 24h sa rastvorom 10% NaOH.

DIJAGRAM ČVRSTOĆE NA SAVIJANJE PC—450
NAKON 24 SATA U ZAVISNOSTI OD RASTVORA



1.4.2. Rezultati ispitivanja ugleda na čvrstoću na pritisak prikazani su pregledno u tabelarnim pregledima br. 7-1 i 7-2.

TABELA BR. 7-1

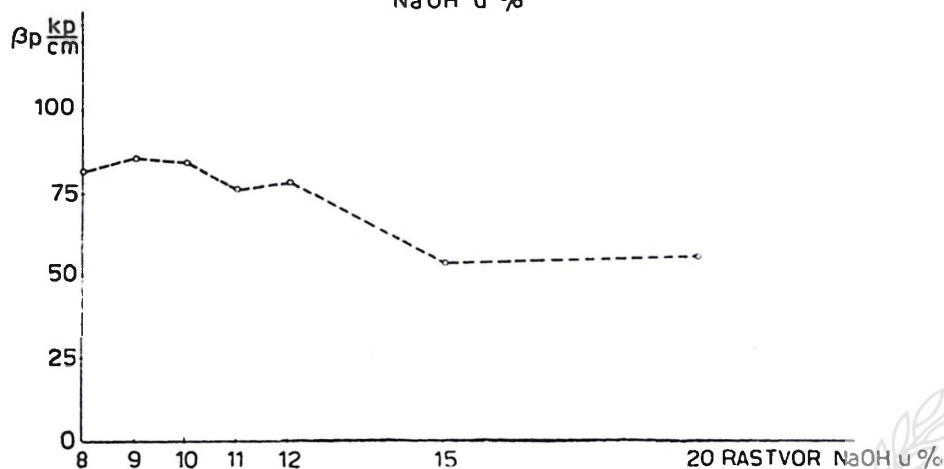
Redni broj	Vrsta cementa	Prosečna čvrstoća na pritisak posle: _____ kp/cm ²								
		3 sata	5 sati	10 sati	21 sata	3 dana	7 dana	14 dana	28 dana	90 dana
	PC-450	—	—	—	—	259,0	368,0	—	489,0	—
	PC-450 sa 20% rastvorom NaOH	8,3	25,0	54,0	56,0	66,0	85,0	100,0	184,0	206,0
	PC-450 sa 15% rastvorom NaOH	—	—	—	54,0	72,0	107,0	112,0	140,6	—
	PC-450 sa 12% rastvorom NaOH	—	—	—	78,0	100,0	—	—	—	—
	PC-450 sa 11% rastvorom NaOH	—	—	—	76,0	95,0	—	—	—	—
1.	PC-450 sa 10% rastvorom NaOH	—	—	—	84,0	118,0	—	—	—	—
	PC-450 sa 9% rastvorom NaOH	—	—	—	85,0	96,0	—	—	—	—
	PC-450 sa 8% rastvorom NaOH	—	—	—	81,0	95,0	—	—	—	—
	PC-450 sa 3% dodatkom boksitnog cementa	0,0	—	—	46,0	208,0	314,0	472,0	479,0	—
	PC-450 sa 5% dodatkom boksitnog cementa	1,0	3,0	102,0	104,0	—	352,0	452,0	480,0	573,0
2.	PC-450	—	—	—	—	266,0	292,0	—	464,0	—
	PC-450 sa 10% NaOH	—	8,9	—	76,0	—	138,3	—	207,0	—
3.	PC-450	—	—	—	—	122,0	257,0	—	445,0	—
	PC-450 sa 10% NaOH	—	—	—	79,4	96,0	107,0	—	190,0	—

TABELA BR. 7-2

Redni broj	Vrsta cementa	Prosečna čvrstoća na pritisak posle: _____ kp/cm ²								
		3 sata	5 sati	10 sati	24 sata	3 dana	7 dana	14 dana	28 dana	90 dana
4.	PC-350	—	—	—	—	—	292,0	—	384,0	—
	PC-350 sa 10% NaOH	—	14,0	—	56,0	—	130,0	—	140,0	—
5.	PC-250	—	—	—	—	—	243,1	—	322,0	—
	PC-250 sa 10% NaOH	—	11,2	—	32,9	—	76,9	—	118,5	—
6.	PC-250	—	—	—	—	—	197,0	—	346,0	—
	PC-250 sa 10% NaOH	—	7,3	—	39,2	—	79,0	—	129,0	—
7.	PC-25-Z-350	—	—	—	—	—	240,0	—	—	—
	PC-25-Z-350 sa 10% NaOH	—	14,4	—	62,8	84,3	103,0	—	—	—
8.	PC-8-Z-250	—	—	—	—	—	141,9	—	216,0	—
	PC-8-Z-250 sa 10% NaOH	—	16,8	—	35,6	—	68,9	—	110,9	—
9.	PC-10-C-350	—	—	—	—	—	200,0	—	—	—
	PC-10-Z-350 sa 10% NaOH	—	13,7	—	56,1	94,9	111,0	—	—	—
10.	PC-250 sa pucolanom	—	—	—	—	—	227,0	—	—	—
	PC-250 sa pucolanom sa 10% NaOH	—	14,68	—	49,5	82,5	108,0	—	—	—
11.	PC-20-OB-350	—	—	—	—	—	—	331,0	—	—
	PC-20-OB-350 sa 10% NaOH	—	—	—	51,1	66,4	—	—	—	—

Iz tabelarnih pregleda, kao i dijagrama, vidi se, u skladu sa ranijim konstatacijama (u pogledu brzine vezivanja), da je najveća čvrstoća na pritisak postignuta posle 24 h sa rastvorom 10% NaOH.

DIJAGRAM ČVRSTOĆE NA PRITISAK PC- 450
NAKON 24 SATI U ZAVISNOSTI OD RASTVORA
NaOH u %



Ovi rezultati ukazuju ponovno na to da je maksimalna čvrstoća postignuta s oko 10% rastvora NaOH.

Na osnovi svih navedenih rezultata, kako u pogledu brzine vezivanja cementa, tako i u pogledu dostignute čvrstoće, *definitivno smo utvrdili dodatak od 10% rastvora NaOH kao merodavan.*

1.4.3. Postignute čvrstoće sa dodatkom 10% rastvora NaOH.

Polazeći sa stanovišta da bi ubrzano ispitivanje čvrstoće cementa na savijanje i pritisak trebalo izvoditi 24 h posle spravljanja, mi smo pristupili izradi i ispitivanju većeg broja serija ugleda, kako bez dodatka NaOH, tako i sa dodatkom NaOH. Pri ovome su iskorištavani sledeći cementi, dati u tabelarnom pregledu br. 8.

TABELA BR. 8

Redni broj	Vrsta cementa	Oznaka	Poreklo cementa	Datum meljave
1.	portland-cement	PC-450/1	»Dalmacija« Split	12. 10. 1965.
2.	portland-cement	PC-450/2	»Dalmacija« Split	22. 10. 1965.
3.	portland-cement	PC-450/3	»Dalmacija« Split	26. 10. 1965.
4.	portland-cement	PC-450/4	»Dalmacija« Split	1. 11. 1965.
5.	portland-cement	PC-350/1	»Dalmacija« Split	23. 8. 1965.
6.	portland-cement	PC-350/2	»Dalmacija« Split	17. 7. 1965.
7.	portland-cement	PC-250/1	»Dalmacija« Split	27. 9. 1965.
8.	portland-cement	PC-250/2	»Dalmacija« Split	4. 10. 1965.

TABELA BR. 9

Redni broj	Vrsta cementa	Serijski broj	Čvrstoća na savijanje posle kp/cm ²								
			1 d a n a			7 d a n a			28 d a n a		
			a	b	odnos b/a %	a	b	odnos b/a %	a	b	odnos b/a %
1	PC-450	1.	18.62	20.80	112.2	42.3	22.5	53.3	54.0	24.9	46.2
			14.10	18.20	129.0	40.7	22.0	54.0	56.9	25.8	45.5
			15.18	20.90	138.0	40.2	20.9	50.0	60.9	28.3	46.6
		2.	18.12	18.20	100.4	39.4	21.2	53.8	68.1	25.6	37.7
			16.61	22.80	138.8	44.2	23.5	53.2	68.1	29.5	43.2
			17.12	21.60	114.5	44.0	24.0	54.0	70.8	31.3	44.2
		3.	19.50	20.40	105.0	42.1	21.9	52.0	64.0	25.3	39.6
			18.62	21.40	114.4	41.2	22.1	53.8	67.5	26.9	39.7
			17.00	18.30	107.8	44.1	23.9	54.1	66.0	27.5	41.6
		prosek:	17.10	20.30	118.0%	43.1	22.4	51.9%	65.3	27.5	42.0%
2.	PC-350	1.	—	17.1	—	37.6	31.0	82.4	54.1	31.2	57.5
			—	16.6	—	39.4	23.0	58.4	60.8	26.0	42.8
			—	16.2	—	40.2	25.2	22.7	55.5	23.2	41.7
		2.	—	15.6	—	37.5	29.3	78.0	55.7	27.1	48.7
			—	16.6	—	41.5	31.2	70.2	58.8	26.7	45.5
			—	17.2	—	38.8	26.8	69.2	54.5	26.6	48.8
		3.	—	18.4	—	40.6	33.5	82.3	52.0	30.4	58.4
			—	15.9	—	37.3	29.2	78.2	51.2	27.1	53.0
			—	16.3	—	38.4	26.1	68.2	46.2	30.0	65.0
		prosek:	—	16.6	—	38.8	28.3	73.0%	54.3	27.5	50.5%
3.	PC-250	1.	—	10.64	—	23.5	21.3	90.6	39.7	24.5	61.8
			—	10.20	—	23.7	19.0	80.4	40.0	26.2	65.5
			—	9.10	—	22.8	17.5	76.5	39.0	25.6	65.8
		2.	—	11.44	—	23.6	17.8	75.4	36.2	26.7	73.7
			—	10.30	—	23.5	20.4	85.5	38.8	27.2	70.0
			—	7.78	—	25.2	17.5	69.5	33.7	26.8	79.5
		3.	—	12.90	—	25.8	19.3	74.8	36.8	25.6	69.7
			—	11.50	—	23.5	19.0	81.0	35.0	28.1	83.5
			—	12.90	—	25.0	17.8	71.2	39.8	26.8	69.2
		prosek:	—	10.75	—	24.0	18.8	78.2%	37.7	26.3	70.0%

Napomena: a — PC čisti
b — PC + NaOH

TABELA BR. 10

Redni broj	Vrsta cementa	Serija broj	Čvrstoća na pritisak posle _____ kp/cm ²								
			1 d a n a			7 d a n a			28 d a n a		
			a	b	odnos b/a %	a	b	odnos b/a %	a	b	odnos b/a %
1.	PC-450	1.	70	45.6	65.2	268	61.5	22.8	411	116.8	28.5
			59	43.4	73.5	255	82.0	32.2	399	136.8	33.4
			50	42.5	85.0	239	66.8	27.8	405	122.0	30.2
		2.	64	39.0	61.0	312	82.8	26.5	371	117.0	31.5
			62	43.4	70.0	286	61.9	21.7	390	115.0	29.5
			62	41.0	66.2	310	61.3	19.8	384	109.6	28.6
		3.	51	37.8	74.0	259	66.3	25.7	386	124.5	32.2
			62	51.0	82.2	251	59.0	23.5	400	113.7	28.4
			61	48.4	78.3	286	74.1	26.0	392	84.3	21.7
		prosek:	60	43.5	71.2%	274	68.4	24.0%	392	115.4	29.4%
2.	PC-350	1.	—	36.2	—	205.5	54.8	26.6	298.0	74.8	25.0
			—	28.5	—	190.5	55.3	29.0	293.0	67.0	22.8
			—	34.7	—	198.5	65.0	32.7	303.2	79.5	26.2
		2.	—	33.0	—	212.5	60.5	28.7	306.0	73.2	24.8
			—	46.0	—	209.0	60.5	28.9	304.5	72.0	23.6
			—	34.7	—	194.5	63.5	30.4	313.2	80.9	25.7
		3.	—	39.7	—	232.0	72.0	31.0	266.2	89.4	33.5
			—	40.4	—	210.5	61.7	28.7	248.0	86.0	34.6
			—	34.4	—	203.0	53.5	26.4	262.2	78.1	29.8
		prosek:	—	36.4	—	206.1	60.7	28.4%	288.2	77.8	29.8%
3.	PC-250	1.	—	22.7	—	100.0	40.6	40.6	137.0	88.0	64.2
			—	21.5	—	112.0	47.8	42.6	146.0	84.5	57.8
			—	23.2	—	102.0	47.3	46.4	156.0	74.8	47.8
		2.	—	23.7	—	125.0	46.6	37.2	165.0	85.0	51.4
			—	22.2	—	112.5	47.8	42.5	179.0	73.4	41.0
			—	22.2	—	106.8	48.7	45.5	175.0	76.8	43.8
		3.	—	25.0	—	110.6	44.2	39.7	176.0	75.8	43.0
			—	25.6	—	102.0	47.8	46.8	164.0	83.8	51.0
			—	26.3	—	106.7	53.5	49.8	164.0	80.8	49.3
		prosek:	—	23.5	—	108.5	47.1	43.4%	126.3	80.3	49.5%

Napomena: a — PC čisti
b — PC + NaOH

Napomena: U toku ispitivanja utvrđeno je da deklarisanе marke cementa stvarno nisu odgovarale, i da je stvarna prosečna čvrstoća portland-cementa iznosila prema sledećem:

a) čvrstoća na savijanje:

- za marku PC-450 od 62,7 kp/cm² — 71,9 kp/cm²;
- za marku PC-350 od 45,9 kp/cm² — 54,3 kp/cm²;
- za marku PC-250 od 37,7 kp/cm² — 48,7 kp/cm²;

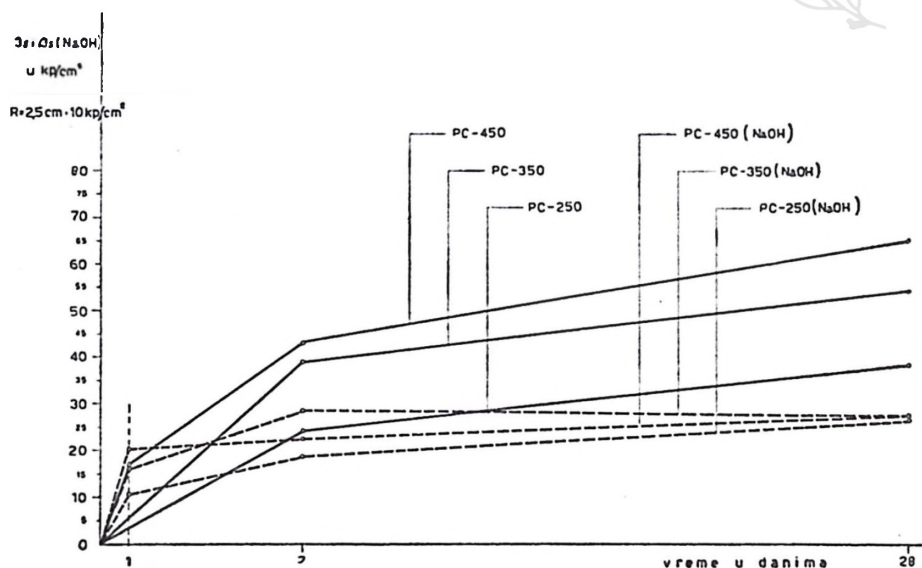
b) čvrstoća na pritisak:

- za marku PC-450 od 359,0 kp/cm² — 404,0 kp/cm²;
- za marku PC-350 od 222,0 kp/cm² — 288,0 kp/cm²;
- za marku PC-250 od 162,3 kp/cm² — 204,0 kp/cm².

U tabelarnom pregledu br. 9 pregledno su prikazani podaci o čvrstoći na savijanje ugleda pripremljenih bez dodatka, odnosno sa dodatkom, NaOH, pri čemu su ispitivanja vršena po pravilu posle 24 h, te posle 7 i 28 dana.

Napominjeno da se ispitivanje cementa bez dodatka NaOH posle jednog dana moglo da izvede samo u slučaju najbolje marke cementa,

PORAST ČVRSTOĆE NA SAVIJANJE SA I BEZ
DODATKA NaOH ZAVISNO OD VREMENA



Sl. 1.4.3.1

pošto je u slučaju ostalih marki za to vreme postignuta sasvim neznatna čvrstoća, te su se ugledi lomili već prilikom stavljanja u ispitivačku aparaturu. *Nasuprot tome, ugledi sa dodatkom NaOH mogli su se, u svakom slučaju, ispitati posle 24 h.*

U tabelarnom pregledu br. 10, na adekvatan način kao u slučaju savijanja, prikazani su podaci o čvrstoći na pritisak.

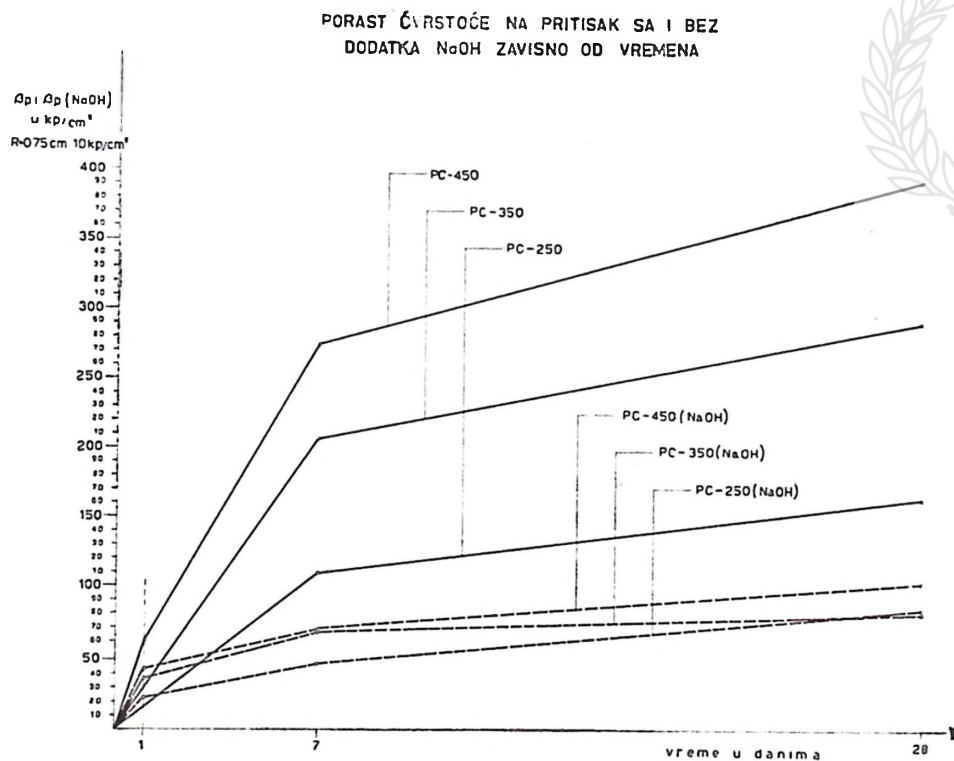
Podaci iz tabelarnih pregleda br. 9 i 10 prikazani su u dijagramima predstavljenim na slikama 1.4.3-1. i 1.4.3-2.

U daljim tabelarnim pregledima br. 11 i 12 prikazani su odnosi između čvrstoće na savijanje, odnosno čvrstoće na pritisak, sa dodatnim NaOH, ugleda ispitanih 24 h posle spravljanja, i odnosi čvrstoća ugleda bez NaOH ispitanih 28 dana posle spravljanja.

1.5. Zaključak

Izvedeno istraživanje pokazalo je sledeće:

1.5.1. Utvrđeno je da se sa dodavanjem rastvora natrijevog hidrokida (NaOH) u optimalnoj količini od 10% postiže maksimalno ubrzanje vezivanja cementa; praktički se postiže momentano vezivanje ma koje vrste ispitanih cemenata u roku od nekoliko minuta (oko 8,).



Sl. 1.4.3.2

TABELA BR. 11-1

Redni broj	Vrsta cementa	Serija broj	Čvrstoća na savijanje posle _____ kp/cm ²		
			28 dana	1 dana	odnos b/a
			a	b	%
1.	PC-450	1.	54.0	20.8	38.6
			56.9	18.2	32.1
			60.9	20.9	34.4
		2.	68.1	18.2	26.7
			68.1	22.8	33.5
			70.8	21.6	30.6
		3.	64.0	20.4	31.8
			67.5	21.4	30.2
			66.0	18.3	27.7
		prosek	65.3	20.3	31%
2.	PC-450	1.	71.5	17.10	23.9
			72.5	17.20	23.7
			71.8	20.50	28.6
		2.	—	17.80	24.4
			—	17.90	24.7
			—	16.40	23.8
		3.	—	17.50	24.4
			—	16.80	23.2
			—	19.10	26.6
		prosek	71.9	18.10	25.3%
3.	PC-450	1.	71.3	15.60	21.8
			68.6	15.40	22.4
			69.0	17.10	24.8
		2.	—	14.20	19.9
			—	16.40	23.8
			—	14.90	21.7
		3.	—	14.60	20.4
			—	14.58	21.3
			—	16.90	24.5
		prosek	69.6	14.40	22.2%
4.	PC-450	1.	58.0	17.85	30.9
			61.7	19.10	31.0
			68.6	17.85	26.0
		2.	—	18.70	32.1
			—	18.10	29.5
			—	17.40	25.3
		3.	—	18.60	32.1
			—	17.40	28.2
			—	18.10	29.9
		prosek	62.7	18.10	29.9%

TABELA BR. 11-2

Redni broj	Vrsta cementa	Serija broj	Čvrstoća na savijanje posle _____ kp/cm ²		
			28 dana	1 dana	odnos b/a %
			a	b	
5.	PC-350	1.	54.1	17.1	31.5
			60.8	16.6	27.3
			55.5	16.2	29.2
		2.	55.7	15.6	28.2
			58.8	16.6	28.3
			54.5	17.2	31.5
		3.	52.0	18.4	35.4
			51.2	15.9	31.0
			46.2	16.3	35.3
		prosek:	54.3	16.6	30.4%
		1.	45.5	10.2	22.4
			47.2	—	—
			45.0	11.5	24.6
6.	PC-350	2.	—	—	—
			—	—	—
			—	—	—
		3.	—	—	—
			—	—	—
			—	—	—
		prosek:	45.9	10.85	23.7%
		1.	39.7	10.64	26.8
			40.0	10.20	25.5
			39.0	9.10	23.3
		2.	36.2	11.44	31.7
			38.8	10.30	26.7
			33.7	7.78	23.1
7.	PC-250	3.	36.8	12.90	34.9
			35.0	11.50	32.8
			39.8	12.90	32.4
		prosek:	37.7	10.75	28.6%
		1.	50.1	15.2	30.2
			46.4	18.6	40.0
			49.7	15.0	30.2
		2.	—	14.0	27.8
			—	12.1	26.2
			—	12.1	24.4
		3.	—	18.4	36.7
			—	18.4	39.7
			—	17.0	34.3
		prosek:	48.7	15.60	32.0%
8.	PC-250	1.	50.1	15.2	30.2
			46.4	18.6	40.0
			49.7	15.0	30.2
		2.	—	14.0	27.8
			—	12.1	26.2
			—	12.1	24.4
		3.	—	18.4	36.7
			—	18.4	39.7
			—	17.0	34.3
		prosek:	48.7	15.60	32.0%

Napomena: a — PC čisti
b — PC + NaOH

TABELA BR. 12-1

Redni broj	Vrsta cementa	Serija broj	Čvrstoća na pritisak posle _____ kp/cm²				
			28 dana	1 dana	odnos b/a %		
			a	b			
1.	PC-450	1.	411	45.6	11.1		
			399	43.4	10.9		
			405	42.5	10.5		
		2.	371	39.0	10.5		
			390	43.4	11.5		
			384	41.0	10.7		
		3.	386	37.8	9.3		
			400	51.0	12.7		
			392	48.4	12.5		
		prosek:	392	43.5	11.5%		
		2.	PC-450	1.	407	35.6	8.75
					419	39.4	9.40
					368	42.8	11.60
				2.	—	37.4	9.18
—	40.3				9.60		
—	43.7				11.90		
3.	—			43.1	11.90		
	—			34.7	8.30		
	—			40.0	10.85		
prosek:	404			38.8	9.64%		
3.	PC-450			1.	363.0	41.5	11.40
					373.0	39.2	10.50
					342.0	40.3	11.80
				2.	—	33.2	9.15
		—	34.9		9.34		
		—	37.2		10.90		
		3.	—	43.1	11.90		
			—	36.6	9.80		
			—	36.3	10.70		
		prosek:	359.0	38.0	10.60%		
		4	PC-450	1.	357.0	26.8	7.5
					380.0	40.0	10.5
					366.0	42.6	11.6
				2.	—	32.3	9.05
—	41.8				11.00		
—	39.3				10.70		
3.	—			34.3	9.40		
	—			43.2	11.40		
	—			40.0	10.90		
prosek:	367.0			37.7	10.30%		

TABELA BR. 12-2

Redni broj	Vrsta cementa	Serijski broj	Čvrstoća na pritisak posle _____ kp/cm ²		
			28 dana	1 dana	odnos b/a
			a	b	%
5.	PC-350	1.	298.0	36.2	12.1
			293.0	28.5	9.3
			303.0	34.7	11.4
		2.	306.0	33.0	10.8
			304.0	46.0	15.0
			313.2	34.7	11.1
		3.	266.2	39.7	14.8
			248.0	40.4	16.2
			262.2	34.4	13.1
		prosek:	288.8	36.4	12.2%
		1.	242.0	15.0	6.20
			228.0	17.2	7.54
			198.0	17.5	8.84
6.	PC-350	2.	—	20.0	8.30
			—	20.3	8.84
			—	22.8	11.50
		3.	—	22.5	9.33
			—	21.3	9.33
			—	22.2	11.20
		prosek:	222.0	19.83	8.95%
		1.	137.0	22.7	16.5
			146.0	21.5	14.7
			156.0	21.5	14.7
		2.	165.0	23.7	14.1
			179.0	22.2	12.4
			175.0	22.2	12.6
7	PC-250	3.	176.0	25.0	14.3
			164.0	25.6	15.6
			164.0	26.3	16.0
		prosek:	162.3	23.5	14.5
		1.	212.0	30.6	14.44
			218.0	30.3	13.90
			184.0	32.2	17.50
		2.	—	35.6	16.80
			—	34.7	15.90
			—	34.7	18.80
		3.	—	29.7	14.00
			—	24.7	11.30
			—	27.7	15.00
8.	PC-250	prosek:	204.0	31.1	15.30%

Napomena: a — PC čisti
b — PC + NaOH

1.5.2. Uz naveden dodatak od 10% rastvora NaOH postignuto je i to da je posle jednog dana (tj. 24 h posle spravljanja cementne kaše) dobijena maksimalna čvrstoća na savijanje i pritisak u odnosu prema adekvatnoj čvrstoći postignutoj uz ma koji drugi procentualni dodatak NaOH.

1.5.3. Zahvaljujući ovom brzom očvršćavanju, uspelo je da se 24 h posle spravljanja standardnih ispitivačkih ugleda (u vidu prizama $4 \times 4 \times 16$ cm) i njihovog čuvanja u standardnom ambijentu postignu dovoljne čvrstoće da bi se već posle jednog dana, računajući od momenta spravljanja, mogla da ispita čvrstoća na savijanje, a zatim i čvrstoća na pritisak na standardni način.

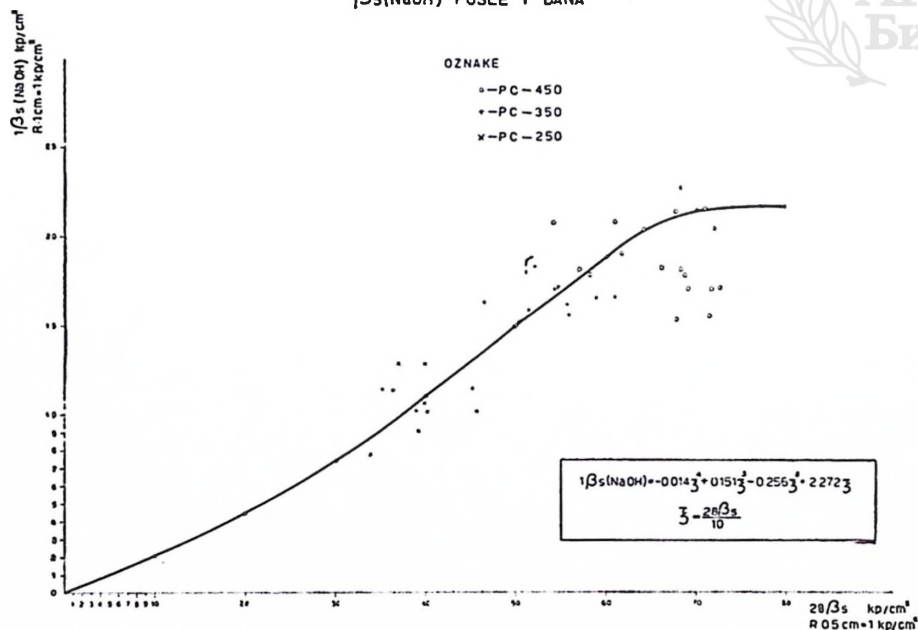
Ukoliko nije primenjen NaOH, ovakvo, rano, ispitivanje načelno nije bilo moguće sem u slučaju najbolje marke cementa (PC-450). Ipak i u slučaju ove najbolje marke primenom NaOH dobijena je posle jednog dana čvrstoća koja je u proseku bila za 18% veća od čvrstoće ugleda pripremljenih bez NaOH, a maksimalno je bila veća za 38,8%.

U daljem toku očvršćavanja ispitivački ugledi sa NaOH nisu više očvršćavali u onoj meri i do one vrednosti koja je karakteristična za ugled bez dodatka NaOH.

1.5.3.1 Ovaj porast čvrstoće na savijanje bio je relativno najmanji u slučaju najbolje marke PC-450, za koju je, posle 28 dana, postignuto u proseku svega 42% od analogne čvrstoće ugleda bez NaOH, dok je u slučaju PC-350 postignuto 55,0%, a u slučaju PC-250 čak 70%.

DIJAGRAM ODNOSA β_s POSLE 28 DANA I

$\beta_s(\text{NaOH})$ POSLE 1 DANA

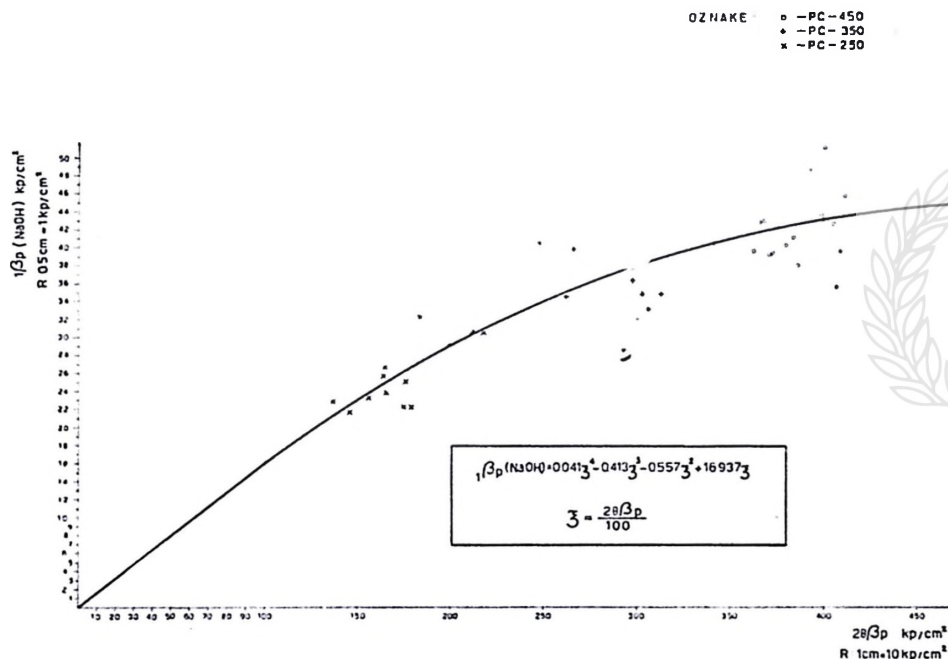


1.5.3.2. Konstatovani porast čvrstoće na pritisak bio je znatno manji od porasta čvrstoće na savijanje i kretao se od 29,4%, u slučaju marke PC-450, do 49,5%, u slučaju marke PC-250.

Ovde treba primetiti da stvarno uopšte nisu bile postignute one čvrstoće na pritisak koje je deklarirala fabrika cementa, već redovno niže, pa i znatno niže od deklariranih čvrstoća.

Gore navedene činjenice omogućile su da se na empiričkoj osnovi utvrde odnosi između postignute čvrstoće na savijanje, odnosno na pritisak, sa dodatkom NaOH, jedan dan posle spravljanja ($_{1\beta}$ s NaOH, odnosno $_{1\beta}$ p NaOH), i standardnih čvrstoća cementa na savijanje, odnosno na pritisak, 28 dana posle spravljanja ($_{28\beta}$ s, odnosno $_{28\beta}$ p).

DIJAGRAM ODNOSA β_p POSLE 28 DANA I
 β_p (NaOH) POSLE 1 DANA



1.5.4. Sprovedena ispitivanja pokazuju da postoji funkcionalna veza između čvrstoće standardnog cementnog maltera i cementnog maltera pripremljenog na analogan način, ali sa dodatkom 10% rastvora NaOH; taj odnos, međutim, može se izraziti samo jednačinom visokog stepena.

1.5.4.1. Navedeni odnos može se za čvrstoću na savijanje izraziti empiričkim obrascem, dobijenim primenom Lagrangeovog interpolacionog obrasca. Ova funkcija izražena je polinomom:

$$(1) \quad {}_1\beta_3(\text{NaOH}) = -0.014 \xi^4 + 0.151 \xi^3 - 0.256 \xi^2 + 2.272 \xi$$

$$(2) \quad \xi = \frac{{}_2\beta_3}{10}$$

Odgovarajuća funkcija predstavljena je na slici broj 1.5.4.1.

1.5.4.2. Na sličan način mogu se odnosi o kojim je reč izraziti empiričkim obrascem i za *čvrstoću na pritisak*.

Ova funkcija izražena je polinomom:

$$(3) \quad {}_1\beta_p(\text{NaOH}) = 0.041 \xi^4 - 0.413 \xi^3 - 0.557 \xi^2 + 16.937 \xi$$

$$(4) \quad \xi = \frac{{}_2\beta_p}{100}$$

Odgovarajuća funkcija predstavljena je na slici 1.5.4.2. Proširivanjem ovog istraživačkog rada moći će se navedeni odnosi i empiričke formule proveravati, pa i poboljšati, pa i uopštiti i za druge cemente, koji ovde nisu uzeti u obzir.

Ovim istraživanjem, međutim, dokazano je, doduše samo u načelu, da postoji korelacija višeg stepena u ranije izloženom smislu, tj. korelacija između standardne čvrstoće cementa posle 28 dana i čvrstoće postignute ubrzanim očvršćavanjem uz dodavanje rastvora NaOH.

1.5.4.3. Pomenuti postupak može se, kao orijentacioni postupak, preporučiti samo ukoliko se ne raspolaže aparaturama u duhu drugog dela ovog rada, tj. aparaturama namenjenim za zaparivanje pod vrlo malim pritiskom.

2. BETON I CEMENT

METODI ZAPARIVANJA

2.1. Uvodne postavke

Ma koliko da je pitanje ubrzanog ispitivanja cementa u građevinskoj praksi, jednako kao i u industriji cementa, vrlo značajno, pitanje ubrzanog ispitivanja betona ima prvorazredan značaj pošto se ovde radi o vidu ispitivanja koji se na gradilištima masovno vrši, a koji u kvalitativnom pogledu vrlo mnogo doprinosi unapređivanju rada na terenu i koji može bitno da utiče kako na ekonomiku gradnje, tako i na bezbednost konstrukcija.

2.1.1. Normalni metodi ispitivanja koji se primenjuju kako u našoj, tako i u inostranoj praksi ne pogoduju bitno svrsi ispitivanja onako kako smo ga gore opisali, ovo naročito iz razloga što beton, po svojoj prirodi, sporo očvršćava, što on svoju karakterističnu čvrstoću i druge kvalitativne osobine dobija tek posle nekoliko nedelja (u duhu našeg standarda 28 dana posle spravljanja), te se, prema tome, njegova karakteristična čvrstoća, bez obzira na metod ispitivanja koji se primenjuje (sa razaranjem ili bez razaranja), može da utvrdi tek posle određenog roka.

2.1.2. Cilj ovog istraživačkog rada bio je da se utvrdi da li bi se nekim metodom ubrzanog očvršćavanja — praktički takvim metodom koji bi već posle jednog dana dao merodavne, uporedne rezultate — moglo da postigne i ubrzano ispitivanje i utvrđivanje kvaliteta materijala za najviše 24 h računajući od vremena spravljanja betona.

2.1.3. Među metodima koji omogućuju ubrzano očvršćavanje betona, po svojoj prirodi, nesumnjivo je najznačajniji metod zaparivanja, na koji je još 1926. godine ukazao Freyssinet u svom epohalnom delu,⁵ u kome je on, sem toga, izložio i postavku o izradi prednapregnutog betona. U ovom svom radu Freyssinet, između ostalog, spominje očvršćavanje betona »quasi instantané«, praktički dakle, govori o momentanom očvršćavanju.

⁵ Freyssinet: Une révolution dans les technique du béton, Paris, 1926.

Trebalo je priličan broj godina da praksa zaparivanja betona dobije širu primenu u stvaralačkom građevinarstvu, ali su u međuvremenu vršeni brojni opiti s ovim metodom, koji počiva na osnovnoj činjenici da se na višoj temperaturi vezivanje i očvršćavanje cementa dešava znatno brže. U očvršćavanju pod normalnim pritiskom i uz povišene temperature od 100° C uspeva i povećanje standardne završne čvrstoće, tj. čvrstoće 28. dana posle spravljanja.

Još 1932. godine dokazali su Amerikanci Bates i Blaine⁶ da su ugledi nekog betona koji je u normalnom odležavanju u toku 28 dana postigao čvrstoću na pritisak $\beta_p = 484 \text{ kp/cm}^2$, ukoliko su jedan sat posle spravljanja stavljeni u ključalu vodu u kojoj su ležali 16 h, posle jednog dana postigli čvrstoću od oko $\beta_p = 170 \text{ kp/cm}^2$, koja se praktički održavala sve do 28. dana. Ukoliko su, pak, ovi ugledi biti stavljeni u paru iznad ključale vode, oni su postigli adekvatnu čvrstoću od oko $\beta_p = 200 \text{ kp/cm}^2$.

Mnogim docnijim opitima, npr. velike nemačke firme Wayss und Freitag A. G., sprovedenim u Štuttgartu, utvrđeno je kao nesumnjivo da se uz zaparivanje pod pritiskom znatnijim od atmosferskog (7—9 atm.) mogu postići vrlo visoke čvrstoće; ovakva zaparivanja izvođena su u roku od više časova, sve do 16 časova. Ovakvim postupcima omogućeno je i dostizanje rekordnih čvrstoća od preko $\beta_p = 1000 \text{ kp/cm}^2$. Pri tom je, naime, utvrđeno da u toku hidratacije cementa, uz povećan atmosferski pritisak, nastaju izvesne promene hemijskog i strukturalnog karaktera cementa koje izazivaju poboljšanje osobina betona (npr. pretvaranje kalcijum hidrosilikata u vidu gela u kristalinično stanje i dr.). Kao veliki uspeh zaparivanja treba smatrati i to da se dalje skupljanje betona praktički svodi na nulu, ili pak na neznatnu meru.

2.1.4. Misao vodilja u ovom radu bila je da se jednom relativno jednostavnom aparaturom, koja bi se mogla nabaviti na svakom gradilištu, primeni metod zaparivanja u što je moguće kraćem roku; prema tome, ovde ne može biti reči o dugotrajnom zaparivanju i visokom očvršćavanju betona, već o postizanju neke optimalne čvrstoće, u vrlo kratkom vremenu, koja bi dozvolila uspoređivanje sa standardnom čvrstoćom betona. Svakako, ovde je u pitanju samo orijentaciono ispitivanje čvrstoće betona, ali treba imati u vidu da, najzad, celokupno ispitivanje betona, kako ono sa razaranjem, tako i ono bez razaranja, ima u suštini, u građevinskoj praksi, samo orijentacioni karakter.

2.1.5. Utvrđujući primenljivost ovog metoda za beton, samim tim utvrdili bismo i mogućnost analogne primene za maltere i, naravno, na ispitivanje vezivnih sredstava, cemenata i drugih.

2.2. Uredaji za ispitivanje

2.2.1. U prvim opitima ovo je rađeno uz pomoć jedne improvizirane aparature, koja je omogućavala ispitivanje samo po jedne probne kooke, što je, svakako, otežalo i odužilo ovaj istraživački rad. Ovim

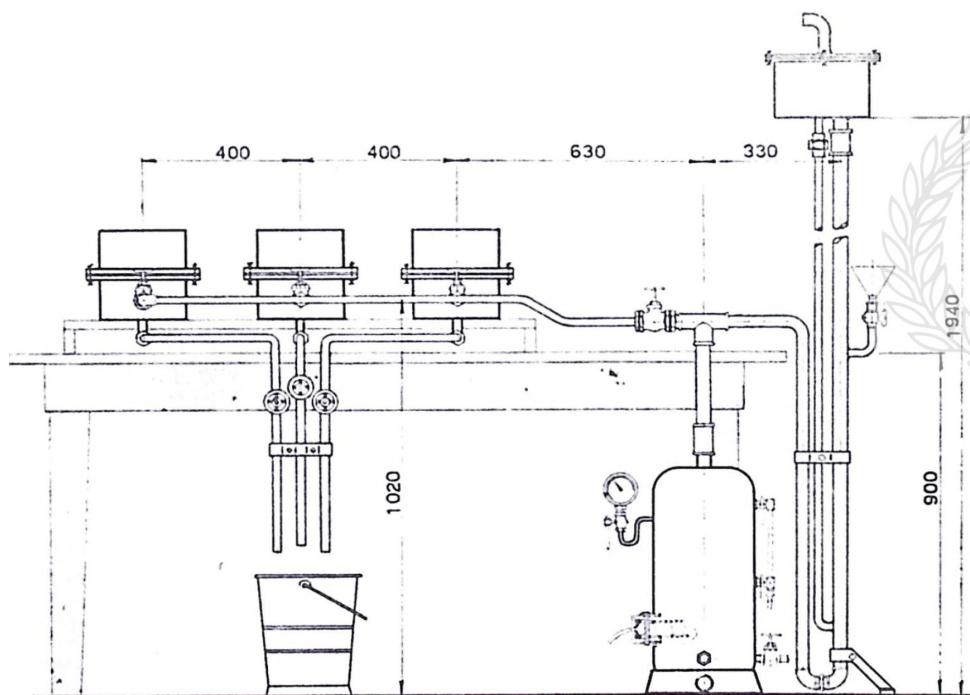
⁶ Bates and Blaine: Proc. Americ. Concrete institute 28 (1932).

postupkom utvrdili smo najpre načelnu podesnost primene postupka zaparivanja prilikom rešavanja naših zadataka, a zatim optimalno vreme potrebno za zaparivanje uz malo uvećan atmosferski pritisak.

Pošli smo, pri tom, od postavke da atmosferski pritisak ne sme biti suviše velik, pošto bi to bitno poskupljavalo izradu odgovarajuće aparature, a s druge strane, prepostavili smo da će već malo uvećan atmosferski pritisak (od oko 0,2 atm.) moći da zadovolji naše potrebe. Ova postavka pokazala se kao ispravna u daljem toku istraživačkog rada.

2.2.2. Posle preliminarnih ispitivanja ranije navedenom improviziranom aparaturom, konstruisali smo jedan bolji uređaj, koji omogućava jednovremeno ispitivanje tri betonske kocke $20 \times 20 \times 20$ cm. dakle, jedne kompletne ispitivačke serije.

2.2.3. Karakteristike ovog uređaja vide se iz slike br. 2.2.3 1.



Uređaj ima tri glavna dela: kotao za razvijanje pare, ekspanzivni sud, razvodni uređaj za paru sa tri ogranka, koji vode do tri metalne kutije u koje se stavljaju betonske kocke.

⁷ U Zavodu za ispitivanje materijala i konstrukcija Građevinskog fakulteta u Sarajevu izrađen je posebni elaborat u kome se vide svi potrebni mašinski nacrti s odgovarajućim detaljima.

2.3. Preliminarna ispitivanja

2.3.1. Za preliminarna ispitivanja upotrebljen je za izradu betonskih ugleda »Dalmacija-cement« PC-350, sledećih glavnih karakterista:

- početak vezivanja: prosečno nakon 3 h 07';
- kraj vezivanja: prosečno do 4h 25';
- čvrstoća na savijanje posle 7 dana: prosečno $7 \beta_s = 38,1 \text{ kp/cm}^2$;
- čvrstoća na savijanje posle 28 dana: prosečno $28 \beta_s = 46,9 \text{ kp/cm}^2$;
- čvrstoća na pritisak posle 7 dana: prosečno $7 \beta_p = 181 \text{ kp/cm}^2$;
- čvrstoća na pritisak posle 27 dana: prosečno $28 \beta_p = 239 \text{ kp/cm}^2$.

2.2.3. Kao agregat uzeta je smeša rečnog peska i šljunka granulometrijskog sastava prikazanog u tabelarnom pregledu broj 13.

TABELA BR. 13

Otvor sita mm	Ostalo na situ				Prošlo kroz sita %
	I	II	I + II	I : II	
	g			%	
40	—	—	—	—	100
30	210	230	440	4,40	95,6
15	1 250	1 260	2 510	25,10	70,5
8	1 210	1 310	2 520	25,20	45,30
4	1 010	975	1 985	19,85	25,45
2	385	235	620	6,20	19,25
1	260	250	510	5,10	14,15
0,5	205	210	415	4,15	10,00
0,223	260	310	570	5,70	4,30
0	210	220	430	4,30	—
	5 000	5 000	10 000	100%	—

2.3.3. U toku prethodnih ispitivanja upotrebljavane su smeše betona sa sledećim količinama cementa na kubni metar ugrađenog betona:

- 300 kg/m³,
- 250 kg/m³,
- 200 kg/m³,
- 150 kg/m³.

Ovo su odnosi koji se najčešće susreću u gradilišnoj praksi.

2.3.4. Prvi cilj preliminarnih ispitivanja predstavljao je iznalaženje optimalnog trajanja zaparivanja, tj. vremena posle koga postupak zaparivanja nema više bitnog uticaja na povećavanje čvrstoće betona.

2.3.5. Betonski ugledi, ranije navedene dozaže, rađeni su na standardni način u železnim kalupima.

Ugrađivanje je vršeno pervibratorom, pod jednakim uslovima, s tim što je vodocementni faktor prilagođen potrebama pervibriranja.

Vodocementni faktor $\frac{V}{C}$ kretao se od 0,50 u slučaju smeša sa 300 kg/m³ do 0,75 u slučaju smeša sa 150 kg/m³ cementa.

Redovno su rađeni ugledi koji su ispitivani paralelno: sa zaparivanjem, odnosno bez zaparivanja.

Ugledi namenjeni zaparivanju držani su 18h u vlažnom stanju, a zatim su podvrgnuti zaparivanju. Posle sprovedenog zaparivanja, koje je, u toku preliminarnih ispitivanja trajalo 1, 2 i 3h, a izuzetno i 2h 30', ugledi su na vazduhu hladjeni do sobne temperature i na toj temperaturi (od 20° C) držani u vodi u toku 1h, posle koga vremena su ispitani u hidrauličnoj ispitivačkoj mašini.

Ugledi namenjeni uporednom ispitivanju, pod normalnim uslovima, negovani su na uobičajen standardni način i držani u vodi sobne temperature do dana ispitivanja; samo ispitivanje vršeno je 7, odnosno 28. dana posle spravljanja.

Rezultati preliminarnih ispitivanja prikazani su u tabelarnom pregledu br. 14. U ovom tabelarnom pregledu vide se, za razne dozaže betona, kako čvrstoće betonskih ugleda postignute posle zaparivanja u

TABELA BR. 14

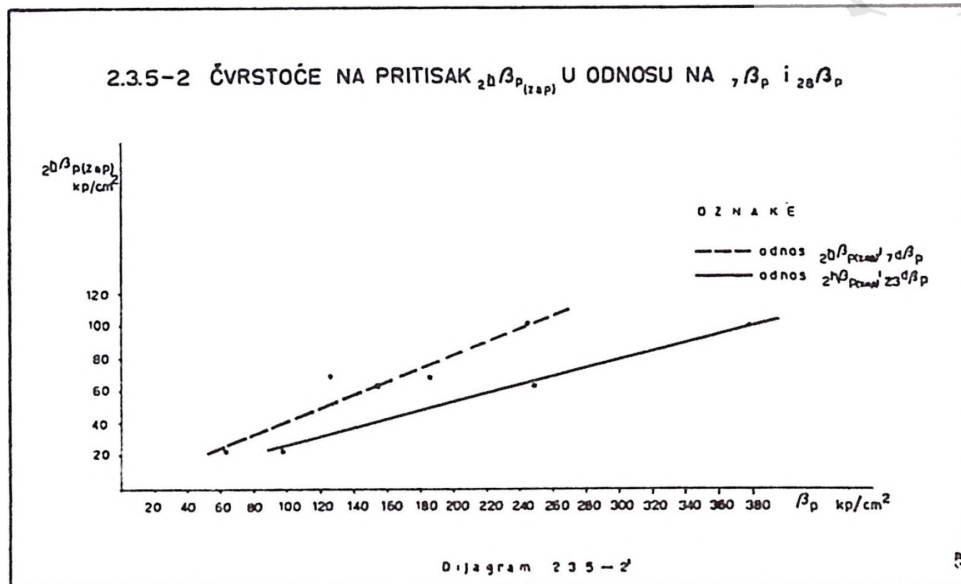
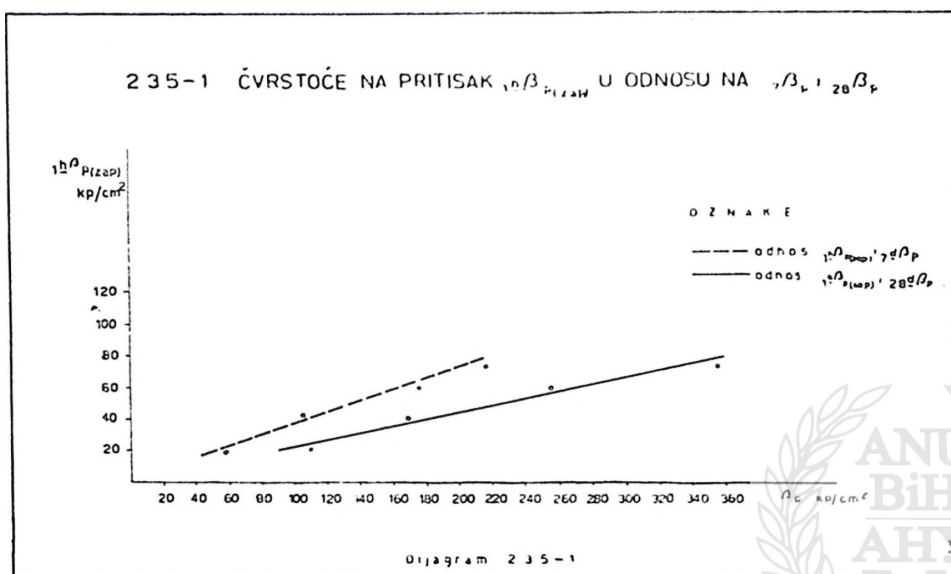
Rezultati uporednog ispitivanja čvrstoće na pritisak betonskih ugleda, ugrađenih sa zaparivanjem, kao i bez zaparivanja, na standardni način

Oznaka serije	Količina cementa kg/m ³ ugrad. betona	$\frac{V}{C}$	Čvrstoća nakon zaparivanja				Standardna čvrstoća (normalno očvršćav.) posle:		Procentualni odnosi n βp (zap) / 7 βp				Procentualni odnosi n βp (zap) / 28 βp			
			1 h	2 h	2 ³⁰	3 h	7 dana	28 dana	1 h	2 h	2 ³⁰	3 h	1 h	2 h	2 ³⁰	3 h
			kp/cm ²				kp/cm ²		%				%			
I	C = 300 kg/m ³	0.50	73	102	136	102	217 245 256 214	347 377 431 320	33.4	41.7	53.1	47.7	20.8	27.1	31.5	31.9
II	C = 250 kg/m ³	0.55	60	64	77	78	175 154 180 161	257 249 238 283	34.3	41.4	43.0	48.4	23.1	25.7	32.3	27.5
III	C = 200 kg/m ³	0.60	41	69	52	53	103 126 119 105	169 189 175 162	39.8	54.7	43.5	50.0	24.2	36.5	29.8	32.4
IV	C = 150 kg/m ³	0.75	20	22	24	23	56 63 57 43	108 97 84 77	35.2	34.4	42.2	54.2	18.2	22.3	28.5	30.0

određenom vremenu, tako i čvrstoće utvrđene posle 7, odnosno 28 dana, na betonskim ugledima negovanim na standardni način.

Uzajamni odnosi čvrstoća betona utvrđeni su zaparivanjem i bez zaparivanja betona vide se na dijagramima br. 2.3.5-1, 2.3.5-2, 2.3.5-3. i 2.3.5-4.

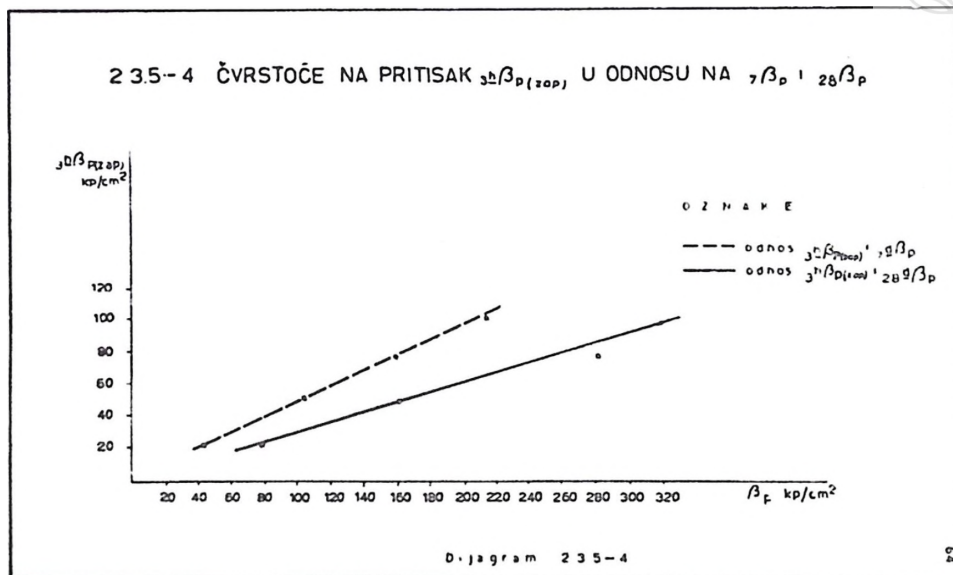
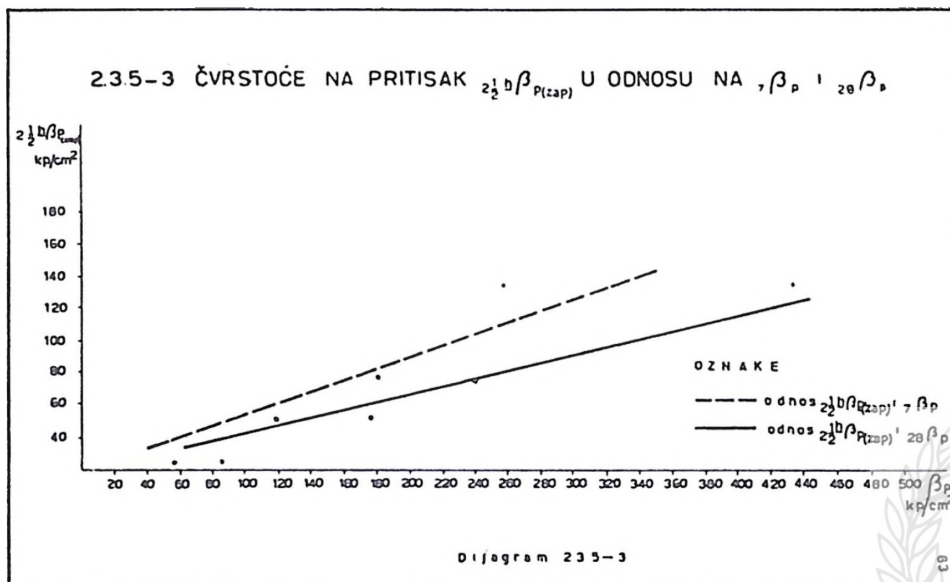
2.3.6. Ovi, preliminarni, opiti pokazali su da posle dva časa zaparivanja ne nastupa dalje bitno očvršćavanje betona; postignuta čvrstoća



iznosila je približno 40—50% standardne čvrstoće posle 7 dana, kao i približno 25—30% standardne čvrstoće 28. dana posle spravljanja.

Orijentaciono je utvrđeno da postoji približno linearan odnos između čvrstoće posle zaparivanja i standardne čvrstoće.

2.3.7. Paralelno sa preliminarnim ispitivanjem betona sprovedeno je i uporedno ispitivanje cementa na ugledima obrađenim zapariva-



njem. U tu svrhu upotrebljeni su ugledi u vidu prizmi $4 \times 4 \times 16$ cm, spravljeni od cementa PC-350 i standardnog kvarcnog peska. Količina cementa kretala se, međutim, prema sledećim: izrađeno je šest vrsta prizmi, s tim što je prva vrsta imala 400 kg/m^3 , druga 350 kg/m^3 , treća 300 kg/cm^3 , četvrta 250 kg/m^3 , peta 200 kg/m^3 i šesta 150 kg/m^3 cementa.

Postignute čvrstoće i odgovarajući odnosi prikazani su u tabelarnim pregledima br. 15 i 16, te u dijagramima 2.3.7-1. i 2.3.7-2.

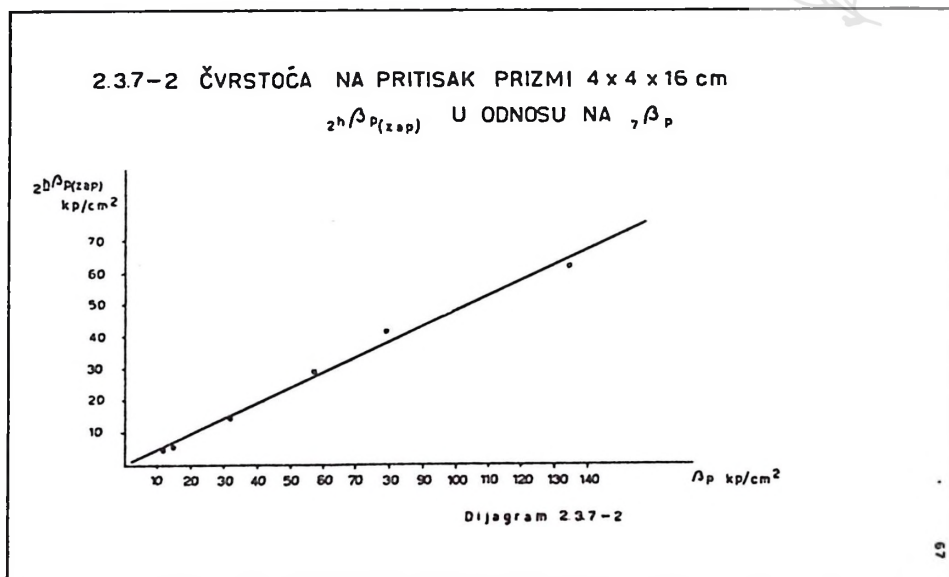
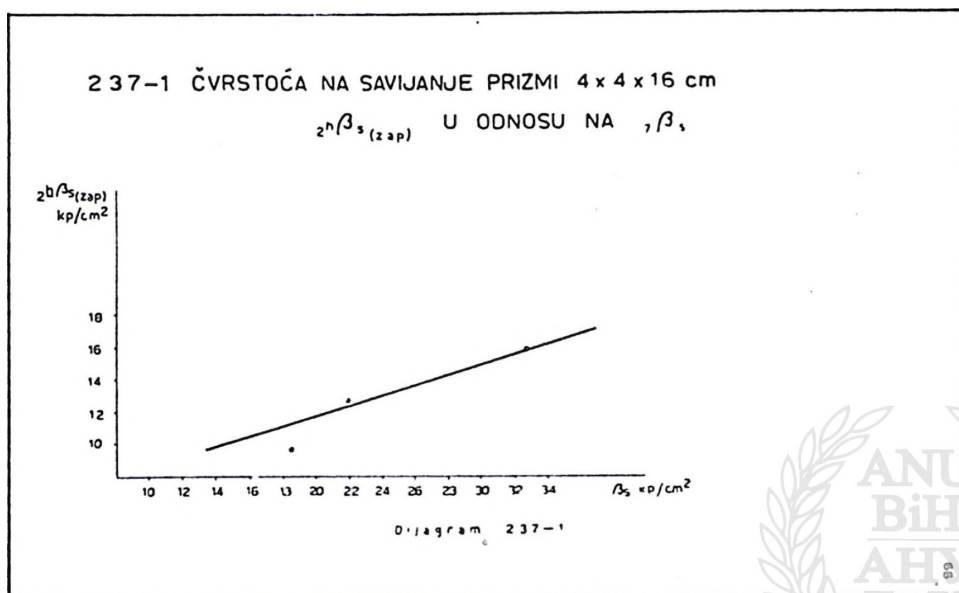


TABELA BR. 15

Oznaka	Količina cementa kg/m ³	A			B	Odnos A/B %
		Čvrstoća na savijanje nakon 2 h zaparivanja kp/cm ²			Čvrstoća na savijanje nakon 7 dana	
		I prizma	II prizma	prosek		
I	C = 400 kg/m ³	15,89	14,82	15,35	32,69	46,8
II	C = 350 kg/m ³	12,72	—	12,72	22,04	57,7
III	C = 300 kg/m ³	9,60	10,22	9,91	18,44	53,8
IV	C = 250 kg/m ³	—	—	—	13,41	—
V	C = 200 kg/m ³	—	—	—	9,50	—
VI	C = 150 kg/m ³	—	—	—	—	—

Napomena: A = 2h βs (zap.)

B = 7 βp

TABELA BR. 16

Oznaka	Količina cementa kg/m ³	A			B	Odnos A/B %
		Čvrstoća na pritisak nakon 2 h zaparivanja kp cm ²			Čvrstoća na pritisak nakon 7 dana	
		I prizma	II prizma	prosek		
I	C = 400 kg/m ³	62,5	65.9	64,2	134,7	47,6
II	C = 350 kg/m ³	41,8	—	41,8	79,7	52,5
III	C = 300 kg/m ³	28,7	34,7	31,7	57,5	55,2
IV	C = 250 kg/m ³	15,0	12,5	13,7	32,5	42,2
V	C = 200 kg/m ³	5,6	7,5	6,5	15,0	43,3
VI	C = 150 kg/m ³	5,0	4,4	4,7	11,8	40,0

Napomena: A = 2 hβp (zap.)

B = 7 βs

I ovo ispitivanje pokazalo je da postoji približno linearan odnos između čvrstoća postignutih zaparivanjem i onih čvrstoća postignutih normalnim načinom očvršćavanja.

2.4. Rezultati glavnih ispitivanja

2.4.1. Ova ispitivanja izvedena su sa betonskim ugledima u vidu kocki, standardnih dimenzija 20 × 20 × 20 cm. Agregat je odgovarao agregatu navedenom pod tačkom 2.3.2. Vodocementni faktor kretao se 0,48—0,75, sve sa namerom da se postigne isti stepen ugradivosti. Ugrađivanje je sprovedeno pervibriranjem.

Rađeno je svega pet vrsta betona koje su se uzajamno bitno razlikovale prema količini cementa. Ova količina iznosila je:

— u vrsti I	350 kg/m ³ ;
— u vrsti II	300 kg/m ³ ;
— u vrsti III	250 kg/m ³ ;
— u vrsti IV	200 kg/m ³ ;
— u vrsti V	150 kg/m ³ .

2.4.2. Kvalitet upotrebljenog cementa nije odgovarao ranije upotrebljenom, te se ovde iznose karakteristike stvarno upotrebljenog cementa PC-350:

- početak vezivanja:
prosečno 5h 45';
- kraj vezivanja:
prosečno 6h 37';
- čvrstoća na savijanje posle 7 dana:
prosečno 7 β_s = 39,9 kp/cm²;
- čvrstoća na savijanje posle 28 dana:
prosečno 28 β_s = 51,8 kp/cm²;
- čvrstoća na pritisak posle 7 dana:
prosečno 7 β_p = 190 kp/cm²;
- čvrstoća na pritisak posle 28 dana:
prosečno 28 β_p = 289 kp/cm².



2 4 2 - 1 ČVRSTOĆA NA PRITISAK $z^n \beta_{p(zap)}$ U ODNOSU NA $7\beta_p$ I $28\beta_p$

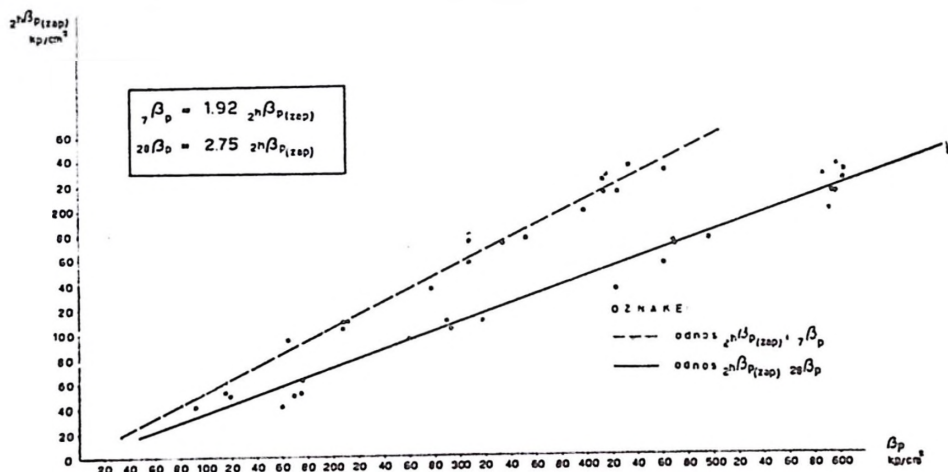


diagram 2 4 2 - 1

2.4.3. Postupak zaparivanja betonskih ugleda, a isto tako i postupak nege ugleda, u potpunosti je odgovarao izloženom u tački 2.3.5. Rezultati ispitivanja prikazani su u tabelarnom pregledu br. 17.

TABELA BR. 17

Oznaka	Količina cementa kg/m ³ ugrađenog betona	V C	Čvrstoća nakon zaparivanja	Standardna čvrstoća (normalno odleža- vanje) poslije:		Procentualni odnosi	
			2 h	7 dana	28 dana	2hβp(zap)/7βp	2hβp(zap)/28βp
			kp/cm ²	kp/cm ²		‰	
I	C = 300 kg/m ³	0.48	226	413	582	54.7	38.8
			223	412	598	54.1	37.3
			234	432	593	54.1	39.5
			230	459	598	50.1	38.4
			prosek:	228	429	593	53.2
II	C = 350 kg/m ³	0.50	212	423	591	50.1	35.9
			197	396	587	49.8	33.6
			212	412	589	51.4	36.0
			175	350	492	50.0	35.5
			prosek:	199	395	565	50.3
III	C = 250 kg/m ³	0.55	172	306	465	56.2	37.0
			170	332	466	51.3	36.5
			154	306	458	50.3	33.6
			133	276	420	48.1	31.7
			prosek:	157	305	452	51.4
IV	C = 200 kg/m ³	0.60	102	207	290	49.3	35.2
			109	210	287	51.9	38.0
			107	208	314	51.5	34.1
			94	163	258	57.6	36.4
			prosek:	103	197	287	52.5
V	C = 150 kg/m ³	0.75	49	119	167	41.2	29.3
			51	115	173	44.3	29.3
			60	115	174	52.2	34.5
			40	90	167	44.4	23.9
			prosek:	50	109	170	45.5

2.4.4. Podaci o čvrstoćama sadržatim u tabelarnom pregledu br. 17, ukoliko se odnose na standardnu čvrstoću, postignutu posle sedam dana, prikazani su u dijagramu predstavljenom na sl. 2.4.2—1.

2.4.5. Iz prethodno navedenog dijagrama br. 2.4.2-1 jasno proizlazi da između čvrstoće betona postignute zaparivanjem u toku dva sata, u prikazanim uslovima, kao i čvrstoće postignute posle sedam dana u standardnim uslovima očvršćavanja, postoji linearan odnos izražen obrascem:

$$(5) \quad {}_7\beta_p = 1,92 \cdot {}_{2h}\beta_p(zap).$$

Standardna čvrstoća betona posle sedam dana je prema tome približno dvostruke veličine one čvrstoće koja je dobijena uz zaparivanje u toku dva sata.

2.5. Zaključak

Sprovedena istraživanja pokazala su sledeće:

2.5.1. Zaparivanjem u određenim uslovima može se uz pritisak malo veći od atmosferskog postići u vrlo kratkom roku znatno očvršćavanje betona, što ga posle hlađenja čini podesnim za neposredno ispitivanje čvrstoće na pritisak.

Para upotrebljena u našim uslovima imala je pritisak od oko 0,2 atm., što odgovara temperaturi zaparivanja od oko 105° C. Zaparivanje je trajalo dva sata, a vršeno je posle normalnog očvršćavanja u trajanju od 18h. Po završenom zaparivanju, ugledi su bili hlađeni na vazduhu, a zatim u vodi sobne temperature. Ukupno je hlađenje trajalo oko 4h. Celokupni postupak, od spravljanja betonskih ugleda do njihovog ispitivanja, trajao je prema tome oko 24h.

2.5.2. Postoji vrlo dobar linearni odnos između čvrstoće postignutih na ranije navedeni način i standardnih čvrstoća, nezavisno od marke betona i od količine upotrebljenog cementa. Ovo se može izraziti u odnosu prema standardnoj čvrstoći posle sedam dana empiričkim obrascem:

$$(5) \quad {}_7\beta_p = 1,92 \cdot {}_{2h}\beta_p(zap).$$

U odnosu prema standardnoj čvrstoći 28 dana posle spravljanja obrazac bi glasio:

$$(6) \quad {}_{28}\beta_p = 2,75 \cdot {}_{2h}\beta_p(zap).$$

Napominjemo da su disperzije rezultata kako posle sedam, tako i posle 28 dana minimalne i da u krajnjim slučajevima ne prevazilaze 5—8‰, što prema tome ne samo da nije veće nego je čak i manje od normalne disperzije rezultata u slučaju standardnog tretiranja ispitivačkih ugleda.

2.5.3. U ovim ispitivanjima disperzija rezultata je vrlo mala, u svakom slučaju nije veća od one disperzije koja nastaje unutar normalnih ispitivačkih serija, u standardnim ispitivanjima.

2.5.4. U cilju sprovođenja postupka zaparivanja, konstruisan je u Zavodu za ispitivanje materijala i konstrukcija Građevinskog fakulteta u Sarajevu odgovarajući uređaj: u pitanju je jednostavan uređaj koji bi i na gradilištima mogao vrlo korisno da služi i omogućio brzo, orijentaciono postizanje definitivnih podataka o kvalitetu betona; svakako, moguće je dalje usavršavanje, eventualno i pojednostavljivanje, ovakvog uređaja, a time i potpunije prilagođavanje njegove konstrukcije uslovima na terenu.

2.5.5. Obrasci korelacije koje smo dobili mogu se sa dovoljnom tačnošću, orijentaciono, primenjivati u praksi. Oni u suštini važe i za cementni malter uobičajenog sastava, pa i za malter koji se upotrebljava u standardnom ispitivanju cementa.

2.5.6. Masovnije izvođenje ovih ispitivanja daće posle izvesnog vremena, možda, i bolje podatke ukoliko se bude vodilo računa o specifičnim uslovima u pogledu sastojaka betona, kao i vrste i količine cementa, a eventualno i o drugim uslovima.

Bitno je, međutim, što je ovde dokazano da se problem ubrzanog ispitivanja betona i cementa može rešiti na zadovoljavajući način. Ovim, ipak, neće biti dezavuisan princip standardnog ispitivanja čvrstoće betona i cementa posle okončanja glavne faze njegovog očvršćavanja, tj. posle 28. ili nekog drugog dana.

JULIJE HAHAMOVIC

MÉTHODES POUR L' ESSAI ACCÉLÉRÉ CONCERNANT LA RÉSISTANCE DES LIANTS ET DU DÉTON

R E S U M E

Les données standardisées se rapportant à la résistance du béton reposent régulièrement sur l'état obtenu 28 jours après la confection. C'est semblable avec les liants. Ce fait entraîne un certain freinage des travaux au chantier car, indépendamment de la méthode recommandée, quand la valeur de la résistance obtenue est moindre de la valeur exigée, les données parviennent trop tard pour qu'elles puissent être employées d'une façon efficace. Ici on donne deux méthodes qui, d'une façon accélérée, servent à l'essai informatif du béton et des ciments.

Le premier procédé, applicable seulement aux ciments, peut être employé dans le but d'obtenir des données informatives quand on ne dispose pas d'appareillage nécessaire. Ce procédé prévoit l'addition de la solution NaOH au mortier de ciment. Il ne dispose pas d'une précision suffisante mais peut bien satisfaire dans beaucoup de cas de la pratique. On obtient deux fonctions corrélationnaires: une, au quatrième

degré, qui présente les rapports pour la résistance à la flexion et une autre, également au quatrième degré, pour les rapports de la résistance à la pression. Ces deux fonctions sont représentés dans les figures 1.5.4.1 — 1 et 1.5.4.2.—1.

L'autre procédé, qui peut être appliqué aussi bien au béton qu'au ciment, procure de très bonnes données, mais exige un appareillage spécial qui a été construit au cours de cette étude. Les résultats sont obtenus 24 heures après la confection du béton. On tient d'abord les échantillons, pendant 18 heures, dans l'état humide et, ensuite, on les soumet, pendant deux heures, à la vapeur en augmentant légèrement la pression atmosphérique seulement de 0,2 atm. Les corrélations obtenues par les essais d'un grand nombre d'éprouvettes ont donné des résultats concordants, presque identiques, qui sont exprimés par une fonction simple linéaire dans le digramme de la figure 2.4.2 — 1 On constate que la résistance réelle à la pression, après 7 jours, est 1,92 fois plus grande que celle obtenue directement après la soumission à l'action de la vapeur et le refroidissement de l'échantillon, et 2,75 fois plus grande après 28 jours. Ceci démontre une bonne application de la méthode mentionnée dans les cas de la pratique courante.

