

UNIVERSITATEA “OVIDIUS” CONSTANȚA

Școala Doctorală de Științe Aplicate

Domeniul de Doctorat INGINERIE CIVILĂ

***„STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND INFLUENȚA MEDIULUI
MARIN ASUPRA PARAMETRILOR DE COMPORTAMENT
SPECIFICI BETONULUI AUTOCOMPACTANT, ÎN VEDEREA
UTILIZĂRII LUI LA CONSTRUCȚIILE AMPLASATE ÎN ZONA
MĂRII NEGRE”***

- Rezumatul tezei de doctorat-

Conducător de doctorat,

Prof. Univ. Dr. Ing. Grănescu Ana-Maria

Student-doctorand,

Ing. Cîinoiu-Marian Nicolae

CONSTANȚA, 2016

CUVÂNT ÎNAINTE

Acum, la finalul programului de cercetare desfășurat în vederea obținerii titlului științific de Doctor, adresez respectuoase mulțumiri îndrumătorului meu științific , prof.univ. dr. ing. Grănescu Ana-Maria, care a crezut în mine încă din timpul facultății, fiindu-mi și coordonator al lucrării de licență și ale cărei sfaturi îmi călăuzesc și astăzi cariera profesională.

Aduc mulțumiri întregului corp profesoral al Facultății de Construcții de la Universitatea Ovidius Constanța, domnilor profesori din comisia de îndrumare care cu răbdare, pasiune și dăruire s-au aplecat asupra tuturor rezultatelor obținute pe parcursul derulării programului de cercetare.

Mulțumesc domnilor profesori din comisia de susținere pentru amabilitatea, dăruirea și profesionalismul în care mi-au analizat lucrările elaborate și prezenta teză de doctorat, aducându-mi observații valoroase care mă vor călăuzi în continuare în activitatea mea profesională, domnilor profesori: prof. univ. dr. Popa Constantin, prof. univ. dr. ing. Văcăreanu Radu, prof. univ. dr. ing. Bratu Polidor și prof. univ. dr. ing. Bărbuță Marinela.

Mulțumesc colegilor mei de la SC Lafarge România, actuala organizație SC CRH România pentru sprijinul acordat în derularea efectivă a etapelor de cercetare, în realizarea încercărilor practice, a determinărilor de laborator, a coordonării primite dar și a oportunităților oferite în cadrul parteneriatului încheiat între SC Lafarge Agregate Betoane SA și Universitatea Ovidius din Constanța, colegilor de la SC Lafarge Marea Britanie unde am avut oportunitatea de a analiza comparativ rezultatele cercetărilor din România cu cele obținute de cercetători din Marea Britanie, în acest mod corelându-mi atât metodele cât și tehnicile de realizare a unor soluții optime, performante.

Nu în ultimul rând vreau să mulțumesc familiei mele, soției mele pentru sprijinul moral acordat și susținere pe întreaga perioadă de cercetare. Mulțumesc copiilor mei Dana și Mihai pentru înțelegerea acordată de a mă dedica activității de cercetare, poate câteodată în detrimentul clipelor de bucurie de a fi lângă ei, cu speranța că atunci când vor fi mari vor înțelege pe deplin sacrificiul făcut precum și importanța acestei lucrări .

Mulțumesc părinților mei pentru mediul creat și susținerea continuă în activitatea desfășurată, pentru însuflarea dorinței de a învăța, de a mă dedica cercetării, de a fructifica

întreaga mea capacitate în scopul nobil al dezvoltării . Mulțumesc surorii mele care mi-a fost drept model pe toată durata existenței mele și datorită căreia în permanență am urmărit îmbunătățirea performanțelor mele.

Dedic această lucrare scumpilor mei părinți pentru care împreună cu familia mea le aduc întreaga mea recunoștință.

*Cîinoiu Marian Nicolae,
Constanța, 2016*

CAPITOLUL 1. INTRODUCERE.....	1
1.1 Importanța și actualitatea temei de cercetare propuse.....	1
1.2 Stadiul cercetărilor pe plan național și internațional.....	2
1.3 Obiectivele și conținutul tezei de doctorat.....	5
1.4 Metode de cercetare aplicate de doctorand în cadrul programului.....	6
 CAPITOLUL 2. ANALIZA CONDIȚIILOR DE MEDIU. PARAMETRII CARE INFLUENȚEAZĂ COMPORTAREA CONSTRUCȚIILOR DIN BETON EXPLOATATE ÎN MEDIUL MARIN ȘI MECANISMELE DE TRANSPORT A SUBSTANȚELOR AGRESIVE ÎN BETON.....	7
2.1 Evoluția cercetărilor privind coroziunea betonului.....	7
2.2 Caracterizarea mediului de agresivitate marină din zona litoralului Mării Negre.....	8
2.3 Factorii care influențează degradarea betonului.....	9
2.3.1 Porozitatea betonului.....	9
2.3.2 Fisurarea betonului.....	10
2.4 Mecanismele de transport a substanțelor agresive în structura betonului.....	12
2.4.1 Transportul gazelor.....	12
2.4.1.1 Difuzia.....	12
2.4.1.2 Permeabilitatea la gaz.....	13
2.4.2 Transportul lichidelor.....	13
2.4.2.1 Absorția capilară.....	13
2.4.2.2 Permeabilitatea.....	13
2.4.3 Transportul ionic.....	14
2.4.3.1 Atacul agresiv al ionilor de magneziu.....	14
2.4.3.2 Atacul agresiv al ionilor de sulf.....	14
 CAPITOLUL 3. DURABILITATEA BETONULUI. MECANISMELE DE DEGRADARE ALE CONSTRUCȚIILOR DIN BETON SUPUSE AGRESIVITĂȚII MARINE.....	15

3.1 Degradarea fizică a betonului.....	15
3.1.1 Rezistența la îngheț-dezgheț a betonului.....	15
3.1.2 Rezistența la eroziune a betonului.....	16
3.2 Degradarea chimică a betonului.....	17
3.2.1 Coroziunea acidă.....	18
3.2.2 Coroziunea sulfatică.....	19
3.2.3 Coroziunea alcalină.....	20
3.3 Degradarea biologică a betonului.....	21

CAPITOLUL 4. CONCEPTUL BETONULUI AUTOCOMPACTANT. ANALIZA COMPARATIVĂ A PROPRIETĂȚILOR BETONULUI AUTOCOMPACTANT CU CELE ALE BETONULUI CONVENȚIONAL.....22

4.1 Încercări pe betonul autocompactant proaspăt.....	22
4.1.1 Determinarea răspândirii.....	23
4.1.2 Metoda de testare V-Funnel.....	24
4.1.3 Metoda de testare Cutia-L.....	24
4.1.4 Metoda de testare Inelul J.....	25
4.1.5 Metoda de determinare a rezistenței la segregare utilizând site.....	26
4.2 Încercări pe betonul întărit. Studii comparative efectuate pe eșantioanele din beton autocompactant și din beton vibrat normal în condițiile agresivității marine.....	27
4.2.1 Determinarea rezistenței la compresiune monoaxială.....	27
4.2.2 Determinarea rezistenței la întindere din încovoiere.....	30
4.2.3 Determinarea rezistenței la întindere din despicare.....	31
4.2.4 Determinarea permeabilității la apă.....	32
4.2.5 Determinarea adâncimii de carbonatare.....	33

4.3 Prezentarea eşantioanelor realizate de doctorand din beton autocompactant în cadrul proiectului de cercetare în vederea studierii comparative cu eşantioane similare din beton vibrat normal	34
--	----

CAPITOLUL 5. STUDII ŞI CERCETĂRI EFECTUATE DE DOCTORAND ASUPRA COMPOZIȚIEI BETONULUI AUTOCOMPACTANT ÎN VEDEREA UTILIZĂRII LA CONSTRUCȚII AMPLASATE ÎN ZONA MĂRII NEGRE.....37

5.1 Utilizarea în compoziția betoanelor a cimenturilor rezistente la agresivitate marină.....	37
5.1.1 Compoziția mineralogică a cimentului.....	37
5.1.2 Caracterizarea cimenturilor cu adaosuri.....	37
5.1.3 Caracterizarea cimenturilor rezistente la agresivitate marină.....	39
5.2 Analiza reactivității agregatelor în vederea utilizării lor la prepararea betoanelor expuse în zona de agresivitate marină.....	42
5.2.1 Considerații generale.....	42
5.2.2 Analiza granulometrică.....	42
5.2.3 Reacția alcalii-agregat.....	43
5.3 Studiu de caz. Tehnici moderne de reabilitare a clădirilor monument istoric utilizând betonul autocompactant.....	45
5.3.1 Reabilitare Pasarela Casino Mamaia.....	45
5.3.2 Reabilitarea cetăților antice din Dobrogea.....	47

CAPITOLUL 6. CONCLUZII. VALORIFICAREA REZULTATELOR CERCETĂRII.....49

6.1 Concluzii.....	49
6.2 Valorificarea rezultatelor cercetării.....	51
6.3 Elemente privind contribuțiile doctorandului, originalitatea tezei și modul în care rezultatele obținute pot fi aplicate, criterii privind continuarea cercetărilor.....	54

BIBLIOGRAFIE.....56

CAP.1 INTRODUCERE

1.1 Importanța și actualitatea temei de cercetare propuse

Studiile și cercetările efectuate până în prezent evidențiază faptul că edificiile amplasate în zonele cu agresivitate marină au o durabilitate mult mai redusă decât a celorlalte, motivate de condițiile speciale la care sunt supuse pe întreaga lor durată de exploatare. În prezent, tehnica construcțiilor permite realizarea unor edificii cu amplasamente îndrăznețe ,dacă materialele și tehnologiile aplicate corespund factorilor de risc la care sunt supuse, respectiv agresivitatea marină, acțiunea vânturilor , intensitatea valurilor, variațiile de temperatură și altele. Pornind de la necesitatea realizării acestor construcții cu materiale durabile, cât și de la stadiul actual al cercetărilor în ceea ce privește betoanele speciale , mi-am propus să studiez comportarea în mediul marin a betonului autocompactant , material de altfel modern, cu o largă aplicabilitate în țările europene,dar cu o timidă aplicare în prezent în România. Coroborând două aspecte importante ale temei de cecetare, și anume specificul amplasamentului, respectiv zona Mării Negre și caractersticile betonului autocompactant, mi-am propus a analiza comportarea acestuia în mediul marin, studiind caracteristicile betonului compatibil mediului obișnuit, vulnerabilitatea acestora față de mediul marin și tehnici și metode de optimizare a betonului autocompactant la construcții amplasate în zona litoralului Mării Negre. Astfel, tema tezei de doctorat **“Studii și cercetări privind influența mediului marin asupra parametrilor de comportament specifici betonului autocompactant, în vederea utilizării la construcțiile amplasate în zona Mării Negre”**, dezvoltă un concept nou de realizare a betonului, cu o durabilitate sporită pentru România cât și propune o compoziție optimizată pentru acest beton ,care va permite în viitor a realiza construcții cu durabilitate ridicată amplasate în mediul marin. Apreciez faptul că în prezent ,studiile și cercetările efectuate pe plan internațional au condus la realizarea unui tip nou de beton, capabil a face față actualelor tendințe în domeniul construcțiilor (reducerea timpului de construire, punerea în operă cu ușurință și diminuarea costurilor).

1.2 Stadiul cercetărilor pe plan național și internațional

Primele demonstrații și aplicații practice de beton autocompactant au fost realizate la începutul anilor 1990, în Japonia. Conceptul de beton autocompactant nu a cunoscut însă o dezvoltare foarte rapidă în domeniul construcțiilor de beton. Doar câteva mari companii japoneze, fiecare dintre ele dezvoltând propriile rețete de amestec și metode de testare au utilizat în practică principiul autocompactării betonului. Lipsa metodelor de standardizare sau a unor metode agreeate în mod general pentru măsurarea proprietăților cheie a betonului autocompactant proaspăt, a dus la împiedicarea adoptării pe scară largă a acestuia. Pentru a rezolva problema standardizării internaționale a betonului autocompactant, în anul 2001, Comisia Europeană a aprobat cofinanțarea proiectului “Testarea betonului autocompactant”, coordonat de centrul ACM, Universitatea din Paisley, Scoția. În lipsa unor standardizări europene sau internaționale privind proprietățile betonului autocompactant s-au publicat manuale de utilizare naționale și chiar standarde naționale, conținând informații trunchiate și fără a fi bazate pe o expertiză directă sau o evaluare prestandardizată.

Primul manual european de utilizare a betonului autocompactant a fost realizat de către EFNARC, un grup de companii europene implicate în furnizarea de materiale pentru producerea betonului: “The European Guidelines for Self Compacting-Concrete”

Pentru a face cunoscute studiile și progresul tehnologiei betonului autocompactant și pentru promovarea acestuia au fost organizate o serie de simpozioane internaționale pe teme specifice betonului autocompactant: Stockholm(1999), Tokio(2001), Rezkjavik(2003), Chicago(2005), Ghent(2007).

Una dintre cele mai importante lucrări din beton autocompactant este reprezentată de construcția podului Akashi-Kaikyo. Acest pod are o lungime de 3911m iar cei doi piloni ai podului au o înălțime de 298m, fiind considerat cel mai lung pod suspendat din lume. La construcția sa s-au utilizat apx. 1.4 milioane mc de beton din care apx.500000mc au fost reprezentați de betonul autocompactant

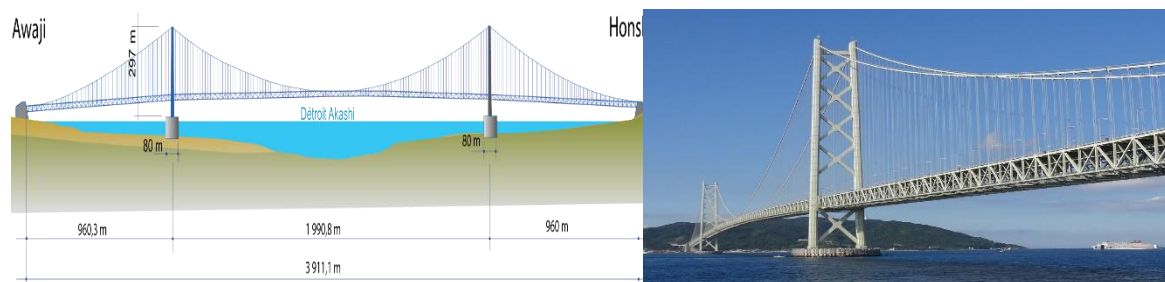


Fig.1.1,1.2- Podul Akashi Kaikyo Bridge[141]

La sfârșitul anului 2012 a fost finalizat noul department de artă islamică în cadrul muzeului Louvre din Paris. Pentru realizarea elementelor structurale de beton a fost agreată utilizarea betonului autocompactant marca Agillia[®], produs de firma Lafarge, nefiind realizat nici un fel de finisaj la suprafața betonului.

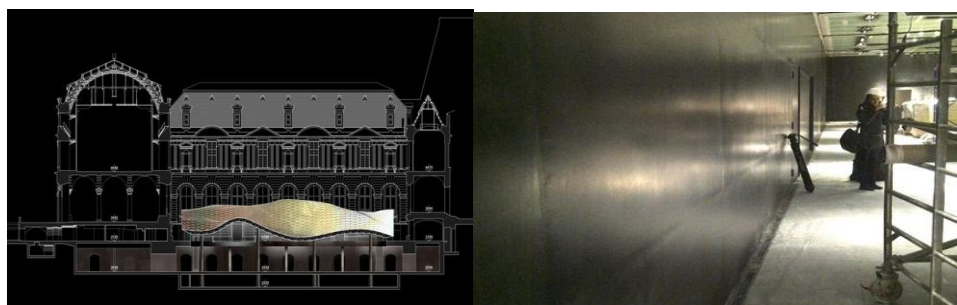


Fig.1.4,1.5-Departamentul de artă islamică a muzeului Louvre-Paris [143]

Hepworth Wakefield, un alt obiectiv important realizat din beton autocompactant, este un ansamblu muzeal, cu destinația galerie de artă, situat în Wakefield, West Yorkshire, structură proiectată de arhitectul britanic David Chipperfield. Fațadele structurii sunt realizate din beton autocompactant, fiind prima lucrare de acest gen din Marea Britanie.



Fig.1.8,1.10,-HepworthGallery , Marea Britanie

Stagiul de cercetare privind modalitatea punerii în operă, tehnologiile de turnare, decofrare, manipulare și apoi depozitare a elementelor prefabricate realizate din beton autocompactant l-am

realizat la o fabrică de realizare elemente prefabricate cu beton autocompactant marca Agillia[®], din localitatea Leicester, furnizat de Lafarge Aggregates LTD, Marea Britanie.



Fig.1.15,1.16-Fabrică realizare prefabricate din beton autocompactant, Leicester, Marea Britanie(foto autor)

În România, conform informațiilor din literatură de specialitate, prima aplicație practică cu beton autocompactant a fost în anul 2008 și a constat în reabilitarea tehnică a unei estacade a Căilor Ferate Române [4]. Nu există cifre relevante privind vânzările de beton autocompactant în ultimii ani făcându-se referire doar la proiectele de construcții semnificative la care s-a utilizat acest tip de beton.

Una din cele mai importante lucrări din beton autocompactant realizate în România, la construcția căreia s-a utilizat betonul autocompactant este construcția noului pod hobanat de la Agigea, care traversează Canalul Dunăre-Marea Neagră la Km 0+540. Deschiderea principală a podului este de 100m, o înălțime de 65 m iar lungimea podului peste canal este de 540 m. Clasa de beton autocompactant folosită a fost C35/45, marca Agillia[®] produs de compania Lafarge iar cantitatea de beton autocompactant folosită a fost de aproximativ 1500 mc .



Fig.1.17,1.18,-Podul Canal Dunăre-Marea Neagră Km 0+540

1.3 Obiectivele și conținutul tezei de doctorat

Analiza stadiului cercetărilor referitoare la betonul autocompactant pe plan internațional coroborat cu noile politici de realizare a unor construcții durabile capabile a răspunde exigențelor generate de factorii de mediu au impus aplicarea și în România a acestui material performant. Parametrii generali definiți până în prezent s-a impus a fi diversificați și pentru anumite condiții specifice României, cu precădere mediului marin. În acest context am apreciat că este deosebit de important a cunoaște modalitatea în care un astfel de beton poate fi utilizat la parametrii maximi pentru construcții sau elemente de construcții amplasate în zona de influență marină (în contact cu apa sau în imediata vecinătate a acesteia). Prin planul de cercetare doctorală s-au stabilit următoarele obiective:

- Analiza condițiilor de mediu pentru construcțiile amplasate în zona litoralului Mării Negre, identificarea și caracterizarea agresivității mediului, modelarea mecanismelor de deteriorare a betonului.
- Studii și cercetări comparative asupra elementelor din beton autocompactant și a celor din beton vibrat normal, identificarea mecanismelor de transport a substanțelor agresive în beton prin realizarea de studii comparative privind comportarea betonului convențional și a betonului autocompactant în mediul agresiv marin.
- Procedee de optimizare a proprietăților betonului autocompactant în vederea asigurării durabilității și a tehnologiei de punere în operă.
- Optimizarea structurii compoziției betonului autocompactant în vederea asigurării durabilității și creșterii performanțelor de utilizare în mediul agresiv marin prin identificarea factorilor care ar putea conduce la realizarea unui beton autocompactant rezistent la agresivitate marină: agregate nereactive, cimenturi rezistente la sulfați, antrenarea aerului pentru obținerea unor rezistențe sporite la îngheț-dezgheț.
- Contribuții privind îmbunătățirea actualelor prescripții tehnice privind utilizarea betoanelor autocompactante în mediul agresiv marin.

Pentru îndeplinirea acestor obiective am efectuat un stagiu de documentare –cercetare în laboratoarele și stațiile de betoane aparținând Lafarge, Marea Britanie în vederea aprofundării tehnologiei de punere în operă a betonului autocompactant marca Agillia® pe șantiere de

construcții din Marea Britanie, țară cu o expertiză avansată față de România în ceea ce privește producerea și punerea în operă a betonului autocompactant. De asemenea am efectuat studii și cercetări în laboratoarele Lafarge Constanța și Laborator Central Grup Construcții ICH, rezultatele fiind parțial incluse în obiectivele realizate. Metodele de cercetare utilizate au constat în primă etapă în cercetarea de laborator efectuată în cadrul laboratoarelor Lafarge UK, perioadă în care au fost studiate și analizate rețetele de producere a betonului autocompactant, fabricația și punerea în operă a acestuia. Ulterior s-a utilizat metoda de cercetare în situ, producerea și punerea în operă în elementele de construcție. S-au realizat studii asupra elementelor aflate în contact direct cu apa cât și a celor care nu sunt în contact direct cu apa. În cadrul lucrării de doctorat sunt prezentate rezultatele cercetărilor efectuate pe epruvete confecționate din beton autocompactant și menținute în diferite medii: apă distilată, apă prelevată din Marea Neagră și încercate la vârsta de 28, 90 zile și un an. Tot în cadrul programului de cercetare s-a efectuat cercetarea în situ, la Pasarela din zona Casino Mamaia, construită în anul 1936, urmărindu-se în principal mecanismul de transfer al agenților chimici agresivi atât pentru elementele aflate în contact direct cu apa cât și a elementelor care nu sunt în contact direct cu apa. În cadrul acestei activități s-au urmărit atât caracteristicile vulnerabile ale betonului obișnuit utilizat la obiectivul în cauză cât și parametrii specifici mediului de exploatare, aspecte care sunt prezentate în cadrul lucrării și care au stat la baza conceptului de optimizare a betonului autocompactant realizat de către SC Lafarge pentru condițiile din România în scopul utilizării acestuia la realizarea unor construcții cu durabilitate corespunzătoare structurilor amplasate în zona Litoralului Mării Negre. Rezultatele cercetărilor efectuate sunt propuse a face parte din cadrul activității de armonizare a unui standard românesc. Totodată rezultatele studiilor și cercetărilor efectuate se vor constitui în contribuții la elaborarea unor reglementări tehnice specifice mediului agresiv marin.

1.4 Metode de cercetare aplicate

Metodele de cercetare utilizate au constat în primă etapă în cercetarea de laborator efectuată în cadrul laboratoarelor Lafarge UK, perioadă în care au fost studiate și analizate rețetele de producere a betonului autocompactant, fabricația și punerea în operă a acestuia după care s-a utilizat metoda de cercetare în situ, producerea și punerea în operă în elementele de construcție.

CAP.2 ANALIZA CONDIȚIILOR DE MEDIU. PARAMETRII CARE INFLUENȚEAZĂ COMPORTAREA CONSTRUCȚIILOR DIN BETON EXPLOATATE ÎN MEDIUL MARIN

2.1 Evoluția cercetărilor privind coroziunea betonului

Betonul ,pe parcursul ciclului său de viață, este supus unei game variate de acțiuni de degradare , care pot avea un efect semnificativ asupra performanței si duratei de viață, cum ar fi durabilitatea , rezistența structurii, lucrabilitate si finisaj. În timp ce aceste acțiuni de degradare pot apărea pe parcursul duratei de viață a elementelor, probleme apar înca din faza de producție și de turnare a betonului.

O problemă care poate apare în **faza de producție** este reprezentată de reacția silice- alcalii (ASR), reacție dată de silicații activi din agregate și alcalinitatea cimentului. În această reacție hidroxizii alcalini atacă materialele cu conținut de siliciu generând un gel siliciu-alkalii care se va forma la nivelul capilarelor betonului întărit, materialul umflându-se în prezența apei, generând eforturi interne în beton care conduc la fisurare și apoi la distrugerea betonului prin expansiune

Problemele legate de **turnare** sunt cauzate de regulă de acțiuni fie care pot fi prevenite cu ușurință, fie sunt greu de monitorizat, acestea putând fi evitate printr-o pregătire minuțioasă, un nivel ridicat de cunoștințe și abilități. Problema cea mai des întâlnită în faza de turnare a betoanelor o reprezintă adăugarea apei la locul de punere în operă , în scopul îmbunătățirii lucrabilității betonului. De regulă, această operație se realizează la solicitarea executantului pentru a ajuta și ușura turnarea betonului.

O alternativă în creșterea lucrabilității unui beton poate fi creșterea cantității de pastă de ciment, care însă poate cauza probleme datorită generării de căldură excesivă în timpul procesului de întărire a betonului, dar care ar și mări simțitor costul unui astfel de tip de beton.



Fig.2.2-Zonă de stâlp segregat

Încă din cele mai vechi timpuri au fost întreprinse acțiuni pentru studierea coroziunii betonului datorată acțiunii apei de mare. Printre primii cercetători care au studiat efectul apei de mare asupra durabilității betonului, a efectelor coroziunii betonului induse de apa de mare s-a numit L.J.Vicat ale cărui cercetări privind deteriorările cauzate de atacul chimic al apei de mare asupra structurilor portului Alger au fost publicate în anul 1841. Un alt studiu important privind coroziunea betonului dat de acțiunea chimică a apei de mare a fost inițiat în Germania în 1908. Studiul s-a bazat pe cercetarea experimentală a coroziunii induse de apa de mare asupra unor blocuri de beton de 8 m³, plasate pe insula Helgoland. Cercetări privind acțiunea apei de mare asupra betonului au mai fost întreprinse în Franța, Italia, S.U.A. .[52]

2.2 Caracterizarea mediului de agresivitate marină din zona litoralului Mării Negre

O importanță majoră trebuie acordată acțiunilor mediului înconjurător, identificării și clasificării agresivității mediului precum și asupra modelării mecanismelor de transport a substanțelor agresive, atunci când se realizează proiectarea unei clase de beton necesare într-o structură. Forța valurilor combinată cu agresiunea chimică a apei de mare, cu variațiile de temperatură, alternanța ciclurilor de îngheț-dezgheț conduc la accentuarea fenomenului de eroziune și degradare a structurilor amplasate în imediata vecinătate a zonei de coastă a litoralului Mării Negre. În evaluarea gradului de eroziune costieră, trebuie avuți în vedere în primul rând curenții cauzati de valuri. În perspectiva creșterii nivelului mării, zona de spargere a valurilor de furtună se va muta tot mai aproape de țărm, având ca efect accentuarea procesului de eroziune costieră și implicit de degradare a structurilor amplasate în imediata apropiere a țărmului.

Problemele tot mai actuale legate de acidifierea apelor se regăsesc transpuse în directive europene care impun măsurarea și monitorizarea acidifierii apelor prin utilizarea standardelor de pH. În cercetările efectuate de autor în cazul Pasarela Casino Mamaia se constată o tendință de creștere a pH-ului apei din Marea Neagră. Probele de apă prelevate din acea zonă au indicat un indice al pH-ului=7,87 în anul 2009 și un indice al pH-ului=8,46 în anul 2016 ceea ce demonstrează tendința de ușoară creștere față de valoarea din anul 2011.

2.3 Factorii care influențează degradarea betonului

Din punct de vedere al proceselor chimice și fizice care influențează durabilitatea betonului, doi factori sunt esențiali și anume, conținutul de pori și existența fisurilor și prezența apei. Legat

de acest aspect, fenomenele de transport în beton a gazelor, apei și agenților dizovați reprezintă procese de bază pentru durabilitate.

2.3.1 Porozitatea betonului

Betonul este un material poros care prezintă o rețea de pori, de mărimea și distribuția acestora depinzând de caracteristicile de rezistență și de durabilitate a betonului.

Agregatele care intră în compoziția betonului pot conține de asemenea pori, dar, aceștia sunt de regulă discontinui. Porii agregatului pot avea deschidere spre suprafața particulelor sau pot fi cuprinși în întregime în interiorul solidului. Dimensiunile porilor din agregate pot varia în limite foarte largi, cei mai mari dintre ei putând fi observați cu ochiul liber. Din punct de vedere al porozității, roca care are cel mai bun comportament este roca granitică.

Compoziția mineralogică a cimentului influențează permeabilitatea betonului, în măsura în care ea influențează viteza de hidratare. Cu cât rezistența betonului este mai mare, permeabilitatea lui este mai mică, datorită faptului că rezistența betonului este o funcție de volumul relativ al gelului în spațiul disponibil pentru acesta.

Porozitatea unui material afectează proprietățile sale fizice și ulterior comportamentul său în mediul înconjurător. Deoarece mercurul nu pătrunde în mod spontan în pori prin capilaritate, acesta trebuie să fie forțat în porii betonului prin aplicarea unei presiuni externe. Presiunea echilibrată necesară este invers proporțională cu dimensiunea porilor, pentru pătrunderea betonului în macroporii mari fiind necesară doar o presiune mică în timp ce o presiune mult mai mare este necesară pentru a forța pătrunderea mercurului în porii mici. Analiza porosimetrică reprezintă intruziunea progresivă de mercur într-o structură poroasă sub presiuni controlate.



Fig.2.11- Porozitatea betonului vibrat normal comparativ cu porozitatea betonului autocompactant-teste laborator(foto autor)

2.3.2 Fisurarea betonului

Durabilitatea betonului și a armăturilor înglobate în acesta este în stransă legătură cu existența fisurilor în beton. Pătrunderea substanțelor agresive în elementul de beton, realizarea carbonatării și pătrunderea clorurii spre armatură tinde să se realizeze cu o viteză mult mai mare în cazul betonului fisurat față de un beton compact. În cazul în care deschiderea fisurii nu depășește 0.4 mm, rata de coroziune a armăturii este relativ redusă, aceasta datorită faptului că în cazul unor astfel de fisuri în prezența apei intervine așa numitul fenomen de autocimentare, autoreparare a zonei fisurate.

În literatura de specialitate sunt definite mai multe tipuri de contracție a betonului:

- Contracția termică;
- Contracția la uscare datorită migrării apei din pori;
- Contracția plastică;
- Contracția din tasarea agregatelor;
- Contracția indusă de carbonatare;

Transferul de căldură cu mediul înconjurător generată de hidratarea cimentului se realizează cu dificultate mai ales în cazul elementelor masive. În tendința de echilibrare a temperaturii dintre miezul betonului și stratul său exterior iau naștere eforturi de întindere care duc la producerea fisurilor. Acest lucru se realizează în special în cazul elementelor masive unde are loc o puternică degajare de căldură dată de reacția de hidratare a cimentului. În cazul unor astfel de structuri este recomandabil a se utiliza cimentul Portland belitic, unde $C_3S < 37,5\%$ iar $C_2S > 37,5\%$.

Contracția la uscare a betonului are loc în urma fenomenului de migrare a apei spre suprafața acestuia, evaporându-se. Urmare a acestui fenomen, la suprafața betonului apar fisuri superficiale datorită eforturilor de sucțiune a apei spre exterior. Dacă pasta de ciment însă s-a hidratat suficient înainte de uscare, fenomenul de fisurare a betonului este mult diminuat.

Contracția plastică are loc în special datorită fenomenului de migrare rapidă a apei la suprafața acestuia și evaporarea rapidă datorită fenomenelor de vânt puternic, temperatură excesivă.

În cadrul cercetărilor de laborator pe care le-am efectuat am observat tendința clară de formare a unui strat de aproximativ 1,5-2 cm de parte fină la suprafața betonului convențional cu o fluiditate mai ridicată, corespunzătoare clasei de consistență S4, în timp ce în cazul betonului

autocompactant, distribuția agregatelor a rămas uniformă și după întărire, lucru demonstrat printr-o secțiune transversală în epruvete de beton cu dimensiunile 150X150X150mm.



Fig.2.17,18-Distribuția agregatelor în beton în cazul betonului autocompactant comparativ cu betonul vibrat normal,-test laborator(foto autor)

Contrația datorată reacției de carbonatare a betonului constă în reacția dioxidului de carbon din aer cu mineralele din cimentul hidratat, rezultând ca produs de reacție acidul carbonic. Viteza de reacție depinde de concentrația CO_2 din aer și de conținutul de umiditate din beton, precum și de umiditatea relativă a aerului. În urma reacției de carbonatare, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ trece în CaCO_3 .

În cadrul acestei lucrări am studiat în mod special fisurarea produsă datorită pătrunderii substanțelor agresive în beton, coroziunea armăturii și în final expulzarea și distrugerea betonului. Aceste cercetări s-au realizat în cadrul proiectului de studiu a degradării betonului din zona Pasarelei pietonale Casino Mamaia.

Un rol important în pătrunderea substanțelor agresive în beton îl are gradul de permeabilitate și de compactitate a betonului.

Compactarea este a doua preocupare importantă în activitățile de betonare. Compactarea, o acțiune care deși este vitală pentru a se asigura atingerea calității betonului, poate de asemenea avea un efect negativ dacă materialul nu este compactat în mod adecvat sau este chiar supra-compactat.[71].



Fig.2.22,2.23- Zonă de beton compactată defectuos: laborator și șantier (foto autor)

Gradul de compactare obținut poate fi evaluat prin măsurarea volumului golurilor rămase în betonul întărit. S-a stabilit că un beton vibrat normal, în urma unei compactări corespunzătoare prin vibrare, va mai conține aer în proporție de până la apx 1.5% din volumul său. O distribuție complet uniformă a tuturor particulelor și constituienților betonului, o omogenitate 100% poate fi obținută numai în teorie. Aceasta ar implica o distribuție complet uniformă a tuturor constituienților betonului în toata masa betonului.[43].



Fig.2.24,25-Elemente de construcție realizate din beton autocompactant(foto autor).

2.4 Mecanisme de transport a substanțelor agresive în beton

Mișcările de gaze, lichide, și ioni prin beton sunt date de diferitele combinații între variația presiunii aerului, a presiunii apei, umidității sau temperaturii. În funcție de intensitatea procesului și de natura substanței transportate, procesele de transport a substanțelor care conduc la degradarea betonului, mecanismele de transport pot fi de următoarele tipuri:

- Difuzie;
- Absorbție capilară
- Penetrarea cauzată de presiunea hidrostatică

2.4.1 Transportul gazelor

2.4.1.1 Difuzia

Difuzia gazului prin beton are loc atunci când o concentrație diferită dintr-un gaz este prezentă la suprafața sau în masa betonului. Situațiile cele mai des întâlnite sunt reprezentate de procesul de difuzie a vaporilor de apă prin beton și difuzia moleculelor de CO₂ în beton. Difuzia vaporilor de apă prin beton influențează viteza unor procese de deteriorare. Un nivel ridicat de umiditate în masa betonului duce la o carbonatare mai lentă sau la o absorbție mai mare de cloruri.

Difuzia moleculelor de CO_2 prin beton are ca efect carbonatarea acestuia. Difuzia unui gaz prin beton poate fi descrisă cel mai ușor cu ajutorul legii lui Fick.

2.4.1.2 Permeabilitatea la gaz

Permeabilitatea la gaze poate fi caracterizată prin intermediul nivelului de pătrundere a gazelor într-un material poros, cauzat de presiunea hidrostatică. În determinarea nivelului de pătrundere a gazelor într-un material , o importanță deosebită prezintă conectivitatea și izotropia rețelei de pori. De asemenea , în determinarea nivelului de pătrundere a gazelor în beton prezintă importanță și nivelul umidității din beton.

Determinarea permeabilității la gaz prezintă importanță pentru recipientele de gaz , reactoare nucleare etc.

2.4.2 Transportul lichidelor

2.4.2.1 Absorția capilară

Absorția capilară are loc atunci când un material nesaturat intră în contact cu un lichid. Transportul lichidului prin beton depinde nu numai de structura porilor dar și de gradul de saturație a betonului , de energia de suprafață , dar și de proprietățile lichidului.

Pentru determinarea absorției capilare există două posibilități de analiză. O primă metodă de analiză este mecanismul de transport în cazul imersiunii, atunci când materialul este în contact cu fluidul pentru o perioadă îndelungată. Este cazul structurilor aflate continuu sub apă. Mecanismul de transport al apei poate fi continuu numai dacă la cel puțin una din suprafețele elementului există condiții de evaporare a apei. O altă metodă este mecanismul de transport atunci când materialul nu este în contact permanent cu apa , situație în care intervine fenomenul de ploaie și stropire

2.4.2.2 Permeabilitatea

Pătrunderea în beton a unor substanțe în soluție poate afecta grav durabilitatea acestuia. Acest lucru se realizează în special când betonul este atacat de lichide agresive, cum ar fi substanțele agresive conținute de apa de mare. În cazul betonului armat pătrunderea umidității și aerului va avea ca efect corodarea oțelului însoțită de creșterea în volum a acestuia. Drept urmare are loc fisurarea și exfolierea betonului.[71]

Permeabilitatea apei în beton este o proprietate care poate fi determinată cu ajutorul diferitelor teste. Metodele de testare diferă foarte mult în ceea ce privește gradul de presiune al apei aplicat

și pregătire, toate având o influență semnificativă asupra coeficientului de permeabilitate rezultat, făcând extrem de dificilă compararea rezultatelor.

2.4.3. Transportul ionic

Odată cu transportul fluidelor prin intermediul structurii de pori are loc și transportul ionic care este însă afectat de mai mulți parametri, cum ar fi, transportul de apă, deplasarea celorlalte ioni în soluție precum și concentrația ionică locală a soluției electrolitice. Ionii se pot găsi sub două forme, liberi în soluție sau legați în matricea solidă a sistemului cimentoid. Deplasarea ionilor printr-un sistem cimentoid se realizează de regulă în forma lichidă.

2.4.3.1 Atacul agresiv al ionilor de magneziu

Ionul de Mg se regăsește în apa de mare sub formă de MgSO_4 , MgCl_2 și MgCO_3 . Conținutul de ioni de Mg^{2+} al apei de mare este de obicei de 1.3mg/l și aceștia se găsesc sub formă de MgSO_4 și MgCl_2 .

Toate sărurile de magneziu, cu excepția carbonaților acizi au un efect distructiv asupra betonului și sunt mai agresive decât CaSO_4 și Na_2SO_4 deoarece ele pot reacționa nu numai cu hidroxidul de calciu dar și cu celelalte săruri de calciu, având loc o coroziune de tip II.

Dacă sunt prezenți numai în cantități mici, ionii de magneziu au tendința să formeze la suprafața betonului un compus insolubil Mg(OH)_2 care constituie un obstacol în difuziunea ionilor de SO_4^{2-} care întârzie coroziunea sulfatică.

2.4.3.2 Atacul agresiv al ionilor de sulf

Ionii agresivi pot fi responsabili singuri sau în amestec de acțiunea distructivă asupra betonului. Ionii agresivi cei mai importanți ai compușilor agresivi sunt: ionul sulfatic, ionul de magneziu, ionul de amoniu, ionul de clor, ionul de hidrogen, ionul carbonat acid (HCO_3) și ionul de hidroxil. Atacul cel mai agresiv asupra betonului se realizează sub acțiunea ionilor de sulfat, în primul rând datorită faptului că ionul sulfatic formează săruri.

Sărurile sulfatice cele mai agresive pentru cimentul Portland sunt: sulfați de amoniu, de calciu, de magneziu și de sodiu.

Prezența sulfaților în apa care este în contact cu piatra de ciment poate mări solubilitatea constituienților mineralogici ai pietrei de ciment, având ca efect dezvoltarea coroziunilor de tip I.

Agresivitatea apei este dată în primul rând de prezența ionilor sulfatici, apa care conține sulfați având capacitate de patrundere mult mai adancă și mai rapidă în interiorul betonului, în primul rând datorită puterii sale de umectare.

Mediul agresiv cu conținut de sulfați, care acționează din exterior asupra betonului, atacă în primul rând particulele de clincher hidratat. Suprafața pietrei de ciment este instabilă într-o soluție sulfatică, ca și componenții mineralogici individuali[52].

CAP.3 DURABILITATEA BETONULUI. MECANISMELE DE DEGRADARE ALE CONSTRUCȚIILOR DIN BETON SUPUSE AGRESIVITĂȚII MARINE

3.1 DEGRADAREA FIZICĂ A BETONULUI

3.1.1 Rezistența la îngheț-dezgheț a betonului

Rezistența la îngheț –dezgheț este un parametru important al durabilității structurilor din beton. Când betonul nu este suficient de rezistent la atacul înghețului sau a agenților de degradare, pot apare două tipuri de deteriorare: deteriorarea internă și exfolierea. Degradarea internă, în interiorul betonului, apare mai mult ca o fisurare de-a lungul granulelor de agregat. Această degradare poate conduce la o modificare a proprietăților betonului. Degradarea externă se manifestă sub forma unor fisuri la suprafața betonului, conducând la exfolierea pietrei de ciment. În cazul agregatelor poroase sau a agregatelor sensibile la îngheț, fisurile pot apărea de asemenea și la nivelul agregatelor. Când granulele de agregat poros se află la suprafață, piatra de ciment va fi împinsă spre exterior.

Factorii care influențează rezistența la îngheț-dezgheț sunt microstructura betonului, raportul apă/ciment, conținutul de ciment, tipul de ciment, adaosuri, rata de îngheț, numărul de cicluri de îngheț-dezgheț, aer antrenat sau nu, etc.

O influență deosebită asupra durabilității betonului, în mod special asupra sporirii rezistenței la îngheț-dezgheț o are antrenarea de aer în masa betonului. Acest lucru se realizează cu ajutorul aditivilor antrenori de aer. Îmbunătățirea rezistenței la îngheț-dezgheț este realizată atunci când volumul de aer antrenat în beton este între 4-6%, putând ajunge până la 9%, un rol

important având însă mărimea și repartiția bulelor de aer antrenat , dimensiunea bulelor de aer fiind cuprinsă de regulă între 0,05 mm și 1,27 mm .

Studiul rezistenței la îngheț- dezgheț a betoanelor preparate cu CEM III A 42.5 N-LH s-a realizat în februarie 2013 în cadrul proiectului Stație de epurare Eforie Sud.

Studiul a fost realizat pe un beton de clasa C35/45 cu agregate concasate de rocă granitică cu diametru max. 16. S-a procedat la antrenarea intenționată a aerului în beton în vederea creșterii rezistenței la îngheț-dezgheț prin folosirea unui aditiv antrenor de aer MICROAIR 107 în proporție de 0,1%, iar raportul apă/ciment a fost de 0,4. S-au confecționat epruvete cubice cu latura de 150X150X150 mm , care timp de 7 zile au fost menținute în apă la temperatura de (20±20)°C și la o umiditate de de (65±5)% timp de 21 zile. Prin comparație au fost realizate în aceleași condiții epruvete pentru betonul autocompactant de clasă C35/45 în laborator. Încercările au fost realizate în cadrul Laboratorului Grad II ICH-Constanța. Rezultatele sunt prezentate sintetizat în tabelul de mai jos.

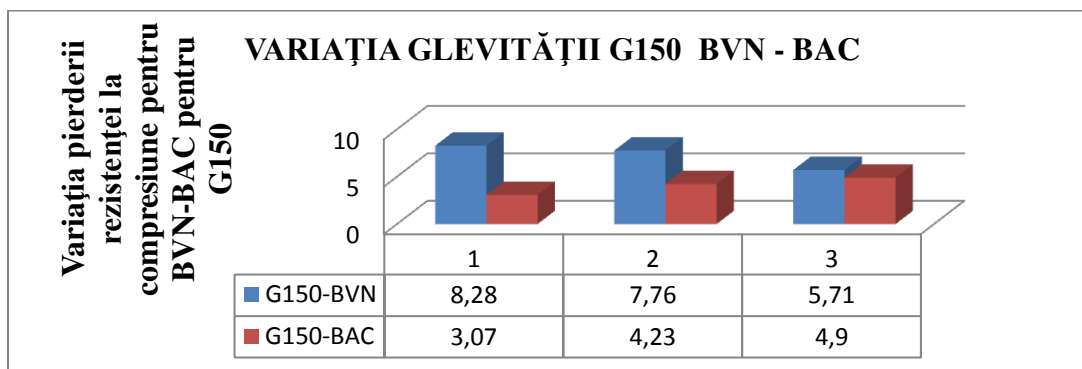


Fig.3.3-Variația glevității G150 BVN comparativ cu BAC

Prin comparație se observă ca reducerile de rezistență au fost semnificativ mai mari în cazul betonului vibrat normal față de betonul autocompactant. Rezistența mai bună la îngheț-dezgheț a betonului autocompactant față de betonul vibrat normal poate avea ca explicație compactitatea și permeabilitatea mai bună a betonului autocompactant față de betonul vibrat normal.

3.1.2 Rezistența la eroziune a betonului

În multe situații suprafața exterioară a betonului este supusă uzurii. Aceasta se poate datora frecării prin alunecare, zgâriere sau lovire[71].

Viteza eroziunii depinde de cantitatea, forma, dimensiunea și densitatea particulelor transportate, de viteza deplasării acestora. O altă caracteristică care duce la o comportare a betonului la eroziune, este dată de prezența agregatelor mari în compoziția betonului care protejează mortarul mai puțin rezistent împotriva acțiunii mecanice, fie în apă, fie, în aer.

Valurile au o importanță deosebită în proiectarea lucrărilor portuare și de amenajări costiere. Forța valurilor influențează procesul de eroziune a betonului utilizat la realizarea digurilor sau a lucrărilor de construcții executate în zona de țărm care este în contact cu marea.

Pentru Zona de Coastă a Litotalului Mării Negre, în zona cuprinsă între Sulina și Mangalia, pentru tema studiată în cadrul acestei lucrări de doctorat prezintă interes studierea valurilor de vânt.

O importanță majoră asupra vitezei de eroziune a betonului o are și calitatea acestuia, care de regulă se exprimă prin rezistența la compresiune a betonului. În acest sens am realizat o analiză comparativă a rezistențelor la compresiune pentru un beton vibrat normal clasa C25/30 și pentru un beton autocompactant de aceeași clasă de rezistență

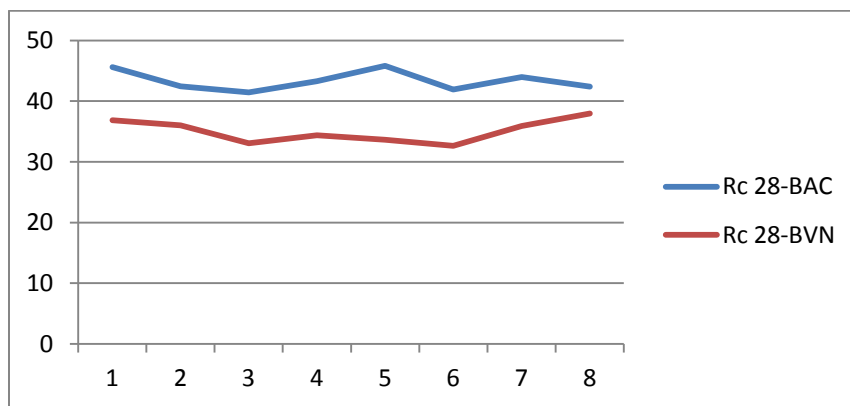


Fig.3.6 Rezistența la compresiune la 28 zile pentru betonul vibrat normal comparativ cu betonul autocompactant

3.2 Degradarea chimică a betonului

Procesele chimice de corodare a betonului se clasifică în 3 categorii:

- Coroziunea de tip I. În această etapă se produc dizolvări selective și parțiale ale componentelor pietrei de ciment, concomitent cu transformarea acestuia într-un amestec de geluri.
- Coroziunea de tip II, este specifică agenților agresivi care acționează în aceeași manieră ca și corozia de tip I, în plus în această etapă având loc reacții de schimb

cu componentele pietrei de ciment, compuși care sunt de obicei ușor solubili și fără proprietăți liante.

- Coroziunea de tip III este provocată de soluțiile de sulfati și de soluțiile concentrate de clorură de calciu. În această etapă are loc formarea unei sări complexe, voluminoase care provoacă distrugerea pietrei de ciment datorită presiunii de cristalizare mai mare decât coeziunea proprie a pietrei de ciment, fenomen denumit expansiune sulfatică.

3.2.1 Coroziunea acidă

Agresiunea acidă asupra betonului dată de atacul dioxidului de carbon, reprezintă un alt factor care poate duce la degradarea prematură a betonului. Carbonatarea betonului este un fenomen prin care dioxidul de carbon din aer reacționează, în prezența umidității, cu mineralele din cimentul hidratat, cum ar fi de exemplu hidroxidul de calciu, pentru a forma carbonații.

Nivelul de carbonatare a betonului poate fi determinat prin tratarea suprafeței betonului în spărtură proaspătă cu fenoftaleină sau hidroxid de mangan: Ca(OH)_2 liber se colorează în roz, în timp ce porțiunea carbonatată rămâne necolorată.

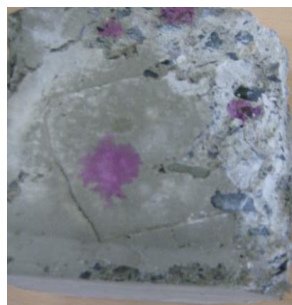


Fig.3.7 Determinarea carbonatării betonului prin tratarea cu fenoftaleină(foto autor)

Fenomenul de distrugere a betonului prin carbonatare parcurge următoarele etape: la începutul percolării, apa care conține acid carbonic agresiv este saturată treptat cu carbonat acid de calciu și atacă piatra de ciment. Carbonatul acid este eliminat cu apa și rămân produsele finale neliant de degradare ale pietrei de ciment(geluri silicioase, aluminoase și feroase hidratate). Această zonă în care apa este saturată cu carbonat acid este numită zonă de degradare. Mai departe, soluția saturată cu carbonat acid intră în contact cu hidroxidul de calciu, iar carbonatul

de calciu greu solubil este precipitat treptat, zonă denumită zonă de compactare, caracterizată prin colmatarea treptată a trecerilor de percolare. În continuare, apa de percolare își pierde complet acidul carbonic și dizolvă piatra de ciment[52].

3.2.2 Coroziunea sulfatică

Mediul agresiv cu conținut ridicat de sulfați, care acționează din exterior asupra betonului, atacă în primul rând particulele de clincher hidratat. Suprafața pietrei de ciment este instabilă într-o soluție sulfatică, precum și componenții mineralogici individuali. Principalele surse ale atacului sulfatic asupra betonului sunt reprezentate de ioni sulfatici de magneziu, calciu, sodiu, potasiu.

Atacul sulfatic poate conduce la pierderea rezistenței, expansiune, exfolierea straturilor de suprafață și în ultimă etapă la dezintegrare.



Fig.3.10,11-Zone de beton expulzat , prelevate de la Pasarela Casino Mamaia(foto autor)

Betonul atacat de sulfați are un aspect albicios, caracteristic. Degradarea se manifestă întâi la muchii și colțuri, fiind urmată apoi de o fisurare și exfoliere progresivă[71].



Fig.3.12-Beton supus atacului sulfatic, probă laborator(foto autor)

O influență deosebită asupra vitezei de coroziune sulfatică asupra betonului o are și poziția elementului de beton față de nivelul și variațiile de nivel ale apei agresive. În cazul imersării totale betonul se va coroda într-o proporție mai mică față de betonul imersat parțial în soluție sulfatică. Aceasta se datorează faptului că, în cazul imersării parțiale, datorită posibilității de

evaporare a apei din soluția agresivă are loc o concentrare mai mare a agentului agresiv în zona de deasupra nivelului soluției. În cazul în care elementul din beton este supus unei variații de nivel, mai apar și o serie de factori fizici, precum: uscare alternată cu udare, saturare, variații de temperatură, etc.[103].



Fig.3.13,14-Elemente de beton degradate Pasarela Casino Mamaia(foto autor)

3.2.3 Coroziunea alcalină

O a treia categorie de reacții cu un mecanism asemănător atacului sulfatilor este constituită de agresiunea chimică a alcaliilor asupra agregatelor. Reacțiile alcalii- agregat sunt reacții , care au loc în interiorul betonului. Ele au loc atunci când agregatele care conțin silice sunt atacate de soluțiile alcaline ducând la formarea de geluri alcalino-silicaticice. În prezența unei cantități suficiente de apă, acestea pot conduce la o expansiune a betonului. Deteriorarea betonului începe prin formarea unor fisuri fine de suprafață, cu traseu neregulat, urmate de fisuri. Alte simptome de deteriorare a betonului datorate reacțiilor alcalii-agregate pot fi:

- desprinderi locale de la suprafața betonului sub forma unor împușcături, datorită existenței unei presiuni interne. Este posibil ca în zona degradată să se observe un gel de silice în asociere cu agregat alterat;
- depuneri pe suprafața betonului a produșilor de reacție alcalii-silice, sub forma unor depuneri albicioase;
- prezența gelului de silice la suprafața betonului prin pori, fisuri.

Până în prezent se cunosc trei tipuri de reacții alcalii-agregat: reacții alcalii-silice, reacții alcalii-carbonat și reacții alcalii-silice/silicat.

Reacțiile asociate mineralelor silicaticice au fost denumite inițial reacții alcalii-silicat, dar datorită unor aspecte contradictorii semnalate de unii cercetători s-a adoptat terminologia de reacții alcalii-silice/silicat.

În ceea ce privește cercetările experimentale ale reacțiilor alcalii-agregat în domeniul betonului autocompactant, în literatura de specialitate sunt prezentate doar câteva rezultate experimentale, domeniul nefiind încă foarte bine studiat.

Reacția cea mai des întâlnită dintre alcalii și agregat este reacția dintre constituenții activi ai silicei din agregat și alcaliile din ciment. Reacția se manifestă prin atacul hidroxizilor alcalini derivați din alcaliile aflate în ciment (Na_2 și K_2O) asupra mineralelor silicioase din agregat, având loc formarea unui gel de silicat alcalin. Acest gel înglobat în pasta de ciment are proprietatea de a-și mări volumul, creând o presiune internă care poate duce la dezintegrarea pastei de ciment[71].

Conținutul minim de alcalii din ciment la care poate avea loc reacția de expansiune este de 0.6% echivalent de carbonat de sodiu.

Există două tipuri de reacții alcalii- agregat:

- Reacția alcalii- silice (ASR)
- Reacția alcalii –carbonat(ACR)

Necesitatea verificării reacției alcalii- agregate se impune în situațiile în care betonul vine în contact permanent sau alternativ cu apa sau cu un mediu umed.

3.3 Degradarea biologică a betonului

Construcțiile din beton pot suferi deteriorări mecanice sub acțiunea vegetației care crește pe ele, sau în preajma lor. Se pot menționa lichenii, mușchii, algele și rădăcinile plantelor mici care pătrund în beton prin fisuri și prin punctele slabe, creând forțe de despicare, care produc creșterea fisurilor și deteriorarea betonului[75]. Această vegetație poate reține apa pe suprafața betonului, putând conduce la saturarea lui și implicit sporirea riscului de degradare a betonului, prin intermediul fenomenului de îngheț-dezghet.

Datorită conținutului mărit de oxigen al apei de mare, microorganismele și algele se așează pe suprafața betonului oricând le sunt favorabile condițiile de temperatură[52]. Se formează în acest

fel o barieră contra migrației ionilor în ambele direcții, plantele consumând oxigenul înainte ca el să se difuzeze în beton.

Rădăcinile plantelor de ordin superior pot distruge betonul prin acțiunea lor fizică sau prin proprietatea lor de a dezvolta acid carbonic și alți acizi organici.

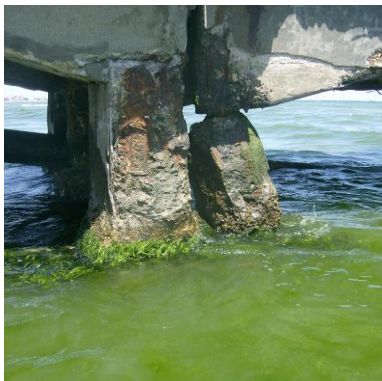


Fig.3.16-Elemente din beton supuse acțiunii vegetației (foto autor)

CAP.4 CONCEPTUL BETONULUI AUTOCOMPACTANT. ANALIZA COMPARATIVĂ A PROPRIETĂȚILOR BETONULUI AUTOCOMPACTANT CU CELE ALE BETONULUI CONVENȚIONAL

4.1 Încercări pe betonul autocompactant proaspăt

În stare proaspătă betonul autocompactant este caracterizat prin intermediul a trei parametri:

- Capacitatea de umplere, adică capacitatea betonului autocompactant de a curge sub propria greutate și de a umple complet toate spațiile cofrajului;
- Capacitatea de a trece cu ușurință printre barele de armătură, prin deschideri înguste;
- Rezistența mare la segregare, capacitatea betonului de a-și menține omogenitatea în condițiile unei fluidități ridicate a betonului.

Pentru studierea caracteristicilor betonului autocompactant și ale betonului vibrat normal în stare proaspătă și în stare întărită în mediul agresiv marin am realizat 2 compoziții de beton autocompactant respectiv 2 compoziții de beton vibrat normal.

Pentru studierea proprietăților betonului în stare proaspătă am realizat o compoziție de beton autocompactant respectiv o compoziție de beton vibrat normal la care am utilizat un ciment pe bază de cenușă zburătoare, cimentul CEM IIAV42,5R produs de compania CRH(Ciment)

România SA. Acest tip de ciment conține un adaos de cenușă zburătoare de termocentrală cuprins între 6-20% și se caracterizează prin stabilitate ridicată.

În cadrul acestui studiu am urmărit pe betonul în stare proaspătă, pentru ambele tipuri de compoziții, beton autocompactant și beton vibrat normal, capacitatea de răspândire, rezistența la segregare. Pentru betonul autocompactant am studiat capacitatea de curgere, capacitatea de trecere printre barele de armătură, rezistența la segregare utilizând metodele standardizate menționate mai sus.

Amestecul l-am realizat într-o centrală automatizată de preparare a betonului cu o capacitate a malaxorului de 2,25 mc. Timpul de malaxare a betonului a fost de 45 sec. de la adăugarea ultimului component.

În prima etapă au fost verificate proprietățile betonului în stare proaspătă. Încercările le-am realizat în cadrul Laboratorului Grad II CRH Betoane SRL Ovidiu. Ulterior determinările pe betonul întărit le-am realizat pe lângă Laboratorul Grad II CRH Betoane Ovidiu și în Laboratorul Grad II ICH Construcții Grup Constanța.

Comparațiile s-au realizat pentru beton autocompactant și beton vibrat normal de clasă C30/37, cu următoarele caracteristici de bază:

BETON C30/37	BAC	BVN
Dozaj ciment [kg/mc]	390	380
Filer calcar [kg/mc]	135	-
Aditiv Glenium 115 [kg/mc]	-	2.09
Aditiv Optima 203 [kg/mc]	8.58	-
A/C	0.48	0.47

Tab.4.5- Rețeta utilizată pentru confecționare probe din beton autocompactant și beton vibrat normal

4.1.1 Determinarea răspândirii din tasare

Pentru evaluarea caracteristicilor betonului în stare proaspătă, testul cel mai reprezentativ a constat în determinarea răspândirii din tasare, obținându-se o răspândire din tasare de aproximativ 700mm, comparativ cu betonul vibrat normal unde pentru un beton de clasă de rezistență C30/37, clasa de consistență S5, la o tasare de apx. 230 mm s-au constatat segregări

vizibile și apariția fenomenului de mustire. Încercarea se poate realiza foarte ușor cu ajutorul conului Abrahams, rezultatul obținut fiind media măsurărilor a două diagonale.



Fig.4.1,4.2-Efectuarea testului de răspândire a betonului autocompactant comparativ cu efectuarea tasării la un beton fluid(foto autor)

4.1.2 Metoda de testare V-Funnel

Metodele de testare V'funnel și O'funnel pe betonul autocompactant au drept scop evaluarea vâscozității și a capacității de autocompactare a betonului. Ca și procedeu de lucru , cu o găleată de 12 lt am turnat betonul autocompactant în dispozitivul O'funnel. După 10 sec. de la umplere am deschis trapa, timpul necesar curgerii betonului fiind de 11sec, între momentul deschiderii trapei și curgerea totală a betonului.



Fig.4.4-Testul O' Funel pentru beton autocompactant(foto autor)

4.1.3 Metoda de testare Cutia-L

Pentru determinarea capacității de curgere și trecere, pentru detectarea vizuală a capacității de curgere am utilizat metoda de încercare Cutia L. Testul se poate realiza în două variante, cu 2 bare , simulând prezența unei armături mai permissive și cu 3 bare simulând prezența unei armături mai congestionate.Abilitatea de trecere PA am determinat-o ca raport între înălțimea betonului în secțiune verticală și înălțimea betonului în secțiune orizontală, conform **SR**

EN12350-10:2010 . Rezultatul obținut a fost 1 , betonul încadrându-se în clasa PA2, adică un beton cu o bună capacitate de trecere.



Fig.4.5-Testul Cutia L pentru betonul autocompactant(foto autor)

4.1.4 Metoda de testare Inelul-J

Această determinare are drept scop evaluarea capacității de trecere a betonului autocompactant. Dispunerea barelor inelului simulează prezența unei armături mai dese sau a unei armături mai permissive.În realizarea acestui test mai este necesar și un con Abrahms care se așează în mijlocul inelului , în același timp putându-se realiza și testul de răspândire din tasare.Debitul de răspândire l-am calculat conform **SR EN12350-12:2010** ca medie între suma celui mai mare diametru al răspândirii și răspândirea la 90° față de cel mai mare diametru al răspândirii. Debitul de răspândire obținut a fost de 8mm.



Fig.4.6-Testul inel J pentru beton autocompactant(foto autor)

4.1.5 Metoda de determinare a rezistenței la segregare utilizând site.

Această metodă se utilizează pentru determinarea rezistenței la segregare a betonului autocompactant. Am efectuat această determinare conform **SR EN12350-11:2010**. Pentru realizarea determinării am avut nevoie de balanță, sită cu ochiuri pătrate de 5mm și tavă colectoare. Rezultatul obținut în cadrul acestei determinări a fost SR=16,94%, ceea ce permite încadrarea betonului autocompactant studiat în clasa de rezistență la segregare SR1.

$$SR = \frac{(m_{ps} - m_p) \times 100}{m_c} [\%],$$

SR-parte segregată în procente;

Rezultatele obținute în cadrul determinării conform **SR EN12350-11:2010** au fost:

$m_{ps} = 2113$ gr.

$m_p = 1275$ gr.

$m_c = 4945$ gr.

$$SR = \frac{(2113 - 1275) \times 100}{4945} = 16,94\%$$



Fig.4.7,4.8-Determinarea rezistenței la segregare utilizând site(foto autor)

Rezultatele obținute pe betonul autocompactat studiat au permis încadrarea acestuia astfel:

Testul realizat	Unitatea de măsură	Rezultat	Încadrarea
Tasarea totală cu conul Abrams	mm	700	SF2
Pâlnia V	sec	6	VS1/VF1
Cutia L		1	PA2
Inelul J	mm	7	PA2
Rezistența la segregare SR	%	18	SR1

Tab.4.6-Încadrarea betonului autocompactant testat

În urma determinărilor realizate s-a constatat că betonul autocompactant studiat se încadrează în clasele de consistență și vâscozitate prestabilite, parametrii de comportament specifici betonului autocompactant încadrându-se în limitele stabilite în Ghidul European pentru beton autocompactant.

4.2 Încercări pe betonul întărit. Studii comparative efectuate pe eșantioanele din beton autocompactant și din beton vibrat normal în condițiile agresivității marine

Pentru determinarea rezistențelor mecanice și studiul comportamentului epruvetelor din beton sub acțiunea apei de mare am confecționat 48 serii de beton: 17 serii de beton vibrat normal și 17 serii de beton autocompactant. În ambele situații clasa de beton proiectată a fost C30/37. Pentru a simula mediul agresiv marin, condiția de imersare în apă de mare, am prelevat eșantioane de apă de mare din Marea Neagră, zona Casino Mamaia în care au fost păstrate probele de beton autocompactant și beton vibrat normal. Pentru comparația rezultatelor am umplut bazine cu apă distilată în care au fost menținute probele de comparație. Încercările pe betonul întărit pe care le-am realizat în cadrul acestei teze de doctorat au fost: determinarea rezistenței la compresiune monoaxială, determinarea rezistenței la întindere din încovoiere și prin despicare, determinarea modulului de elasticitate static al betonului, determinarea permeabilității la apă a betonului și determinarea adâncimii de carbonatare.

4.2.1 Determinarea rezistenței la compresiune monoaxială

Una dintre cele mai uzuale încercări utilizate pentru punerea în evidență a calității betonului este aceea a determinării rezistenței la compresiune monoaxială. Această determinare are o importanță deosebită datorită faptului că de rezistența la compresiune a betonului depinde siguranța structurală a construcției cât și datorită faptului că de această încercare pe betonul întărit depind și alte caracteristici ale durabilității betonului precum rezistența la eroziune, rezistența la îngheț-dezgheț, permeabilitatea, modulul de elasticitate al betonului. În același timp este și încercarea cel mai ușor de realizat.

Pentru realizarea acestei determinări am confecționat câte 10 epruvete cubice de beton autocompactant, respectiv 10 epruvete din beton convențional, având laturile 150X150X150 mm. Probele de beton autocompactant au fost confecționate prin turnarea efectivă a betonului în

tipare , intervenindu-se doar prin finisarea stratului de suprafață cu o mistrie iar probele din beton convențional au fost confecționate prin așezarea în straturi, îndesarea cu o vergea metalică și vibrarea pe o masă vibrant conform SR EN 12390-2:2009.



Fig.4.9-Confecționarea epruvetelor din beton(foto autor)

Rezultatele pe care le-am obținut sunt prezentate în continuare grafic:

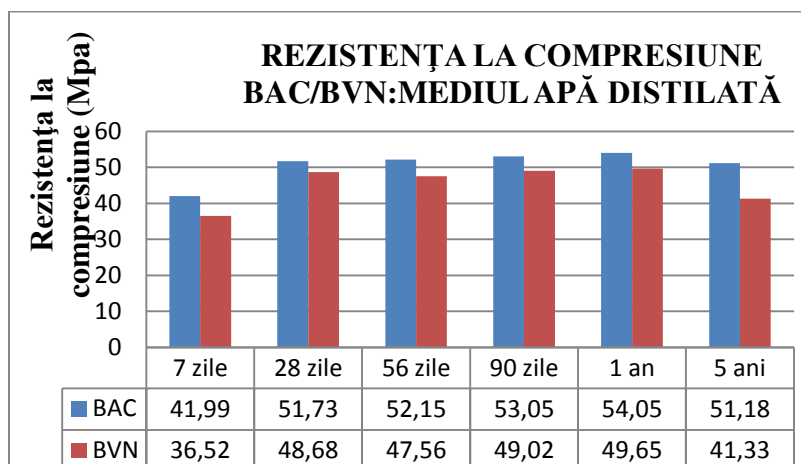


Fig.4.11- Rezistența la compresiune BAC/BVN menținute în apă distilată

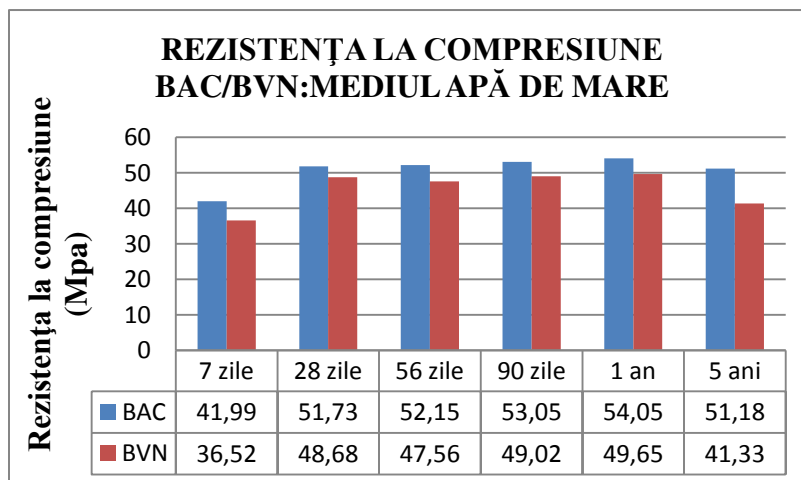


Fig.4.12- Rezistența la compresiune BAC/BVN menținute în apă de mare

Din încercările efectuate atât pe beton autocompactant cât și pe beton vibrat normal s-a constatat o rezistență la compresiune superioară a betonului autocompactant comparativ cu betonul vibrat normal, fapt care se poate explica prin îmbunătățirea aderenței dintre agregat și pasta întărită în cazul betonului autocompactant, precum și a compactității mai bune a acestuia. Până la 56 de zile nu s-au înregistrat degradări vizibile ale epruvetelor din beton. Epruvetele din beton imersate în apă și-au mărit masa comparativ cu momentul în care au fost introduse în apă până la vârsta de 56 de zile, după care fenomenul saturării cu apă a epruvetelor a încetat.

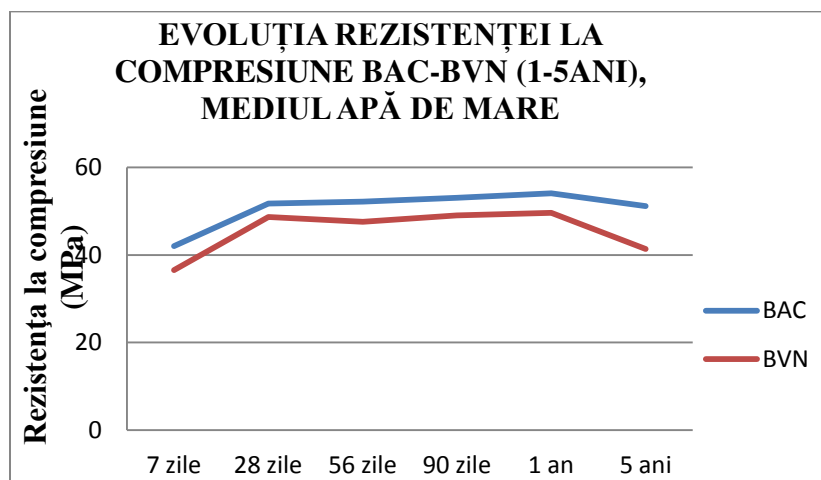


Fig.4.13-Evoluția rezistenței la compresiune BAC/BVN pe o perioadă de 5 ani în apă de mare

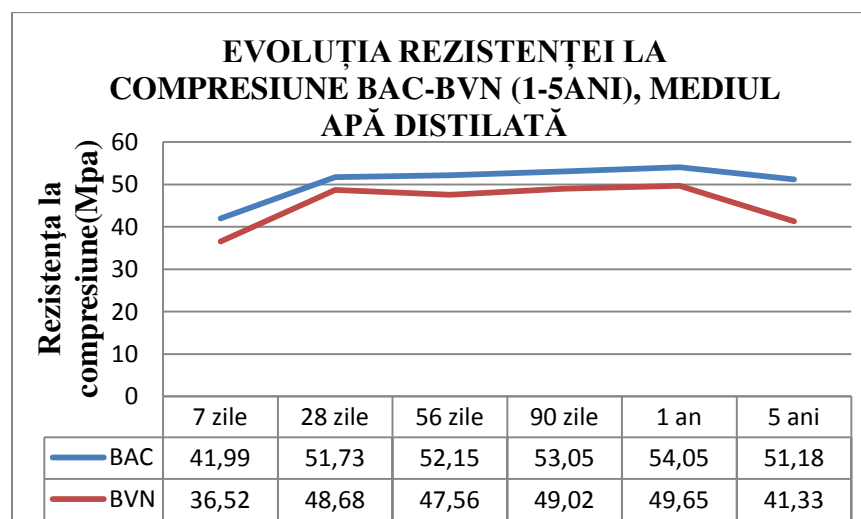


Fig.4.14- Evoluția rezistenței la compresiune BAC/BVN pe o perioadă de 5 ani în apă distilată

4.2.2 Determinarea rezistenței la întindere din încovoiere

Determinarea rezistenței la încovoiere a betonului prezintă importanță din punct de vedere al estimării zonei în care va avea loc fisurarea elementului de construcție. Acest fapt prezintă o importanță deosebită pentru construcțiile exploatate în mediul marin dat fiind faptul că fisurarea în beton este principala cale de pătrundere a substanțelor agresive în beton.

În scopul realizării acestei determinări am confecționat câte 6 serii de epruvete prismatice din beton autocompactant și 6 serii de epruvete din beton vibrat normal, cu dimensiunile laturilor 100X100X550mm. Ambele eșantioane de probe au fost menținute doar în situația cea mai defavorabilă, adică în bazine cu apă prelevată din Marea Neagră, zona Casino Mamaia. Încercarea s-a realizat conform STAS 1275/88.



Fig.4.17,4.18- Determinarea rezistenței la întindere din încovoiere în cazul BAC

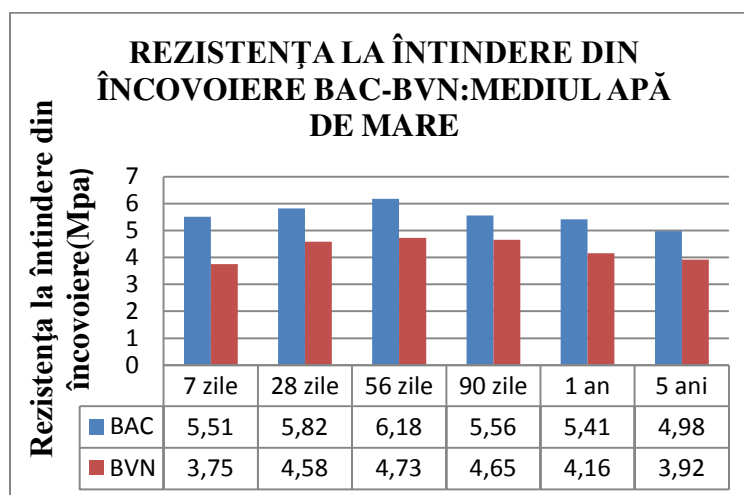


Fig.4.19- Rezistența la întindere din încovoiere BAC/BVN menținute în apă de mare

4.2.3 Determinarea rezistenței la întindere din despicare

Pentru realizarea acestei încercări am confecționat 6 epruvete cilindrice din beton autocompactant și 6 epruvete cilindrice din beton vibrat normal , pe care le-am menținut până la vârsta încercării în apă de mare. Epruvetele cilindrice confecționate au avut dimensiunile 100X300 mm, iar încercarea s-a realizat coform STAS 1275-88.

Pentru a nu fi distorsionată încercarea datorită faptului că în zona de aplicare a sarcinii se va concentra un efort de compresiune foarte mare, între cilindrii și platanele presei se așează 2 șipci de lemn.

Rezultatele și interpretările determinărilor efectuate sunt prezentate în continuare grafic și tabelar. Unitățile de măsura sunt pentru masă [gr] iar pentru rezistența la întindere din despicare notată R_t [MPa sau N/mm^2].



Fig.4.21,4.22- Determinarea rezistenței la întindere din despicare în cazul BAC

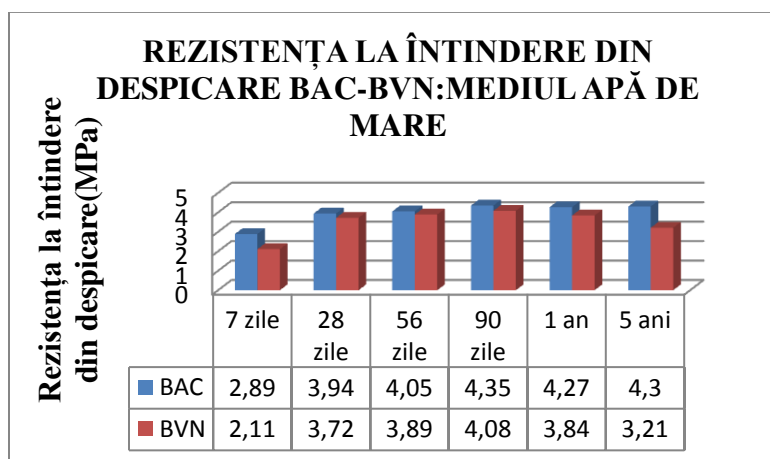


Fig.4.23- Rezistența la întindere din despicare BAC/BVN menținute în apă de mare

Din rezultatele obținute se poate observa o densitate mai mare a seriilor de beton autocompactant comparativ cu seriile de beton vibrat normal dar și o rezistență ușor mai mare în

cazul betonului autocompactant față de betonul vibrat normal. Aceasta se datorează compactității mai bune a betonului autocompactant dar și datorită unei structuri mai bune , mai dense, fără defecte a betonului autocompactant. În urma încercărilor efectuate pe elementele cilindrice despicate , în cazul betonului autocompactant se constată o structură omogenă a betonului cu o distribuție uniformă a agregatelor , fără pori în timp ce pe elementele cilindrice din beton vibrat normal se constată o structură poroasă chiar și în urma vibrării. Aceste aspecte constatate în cazul celor două tipuri de betoane confirmă preabilitatea utilizării betonului autocompactant la construcțiile din zona de agresivitate marină a Mării Negre.

4.2.4 Determinarea permeabilității la apă

Determinarea gradului de permeabilitate a betonului prezintă importanță deosebită pentru evaluarea calității betoanelor exploatate în mediul marin. De permeabilitatea stratului de suprafață a betonului depinde capacitatea de pătrundere a substanțelor agresive în beton și implicit durabilitatea de ansamblu a elementului de construcție amplasat în mediul agresiv marin.

Pentru determinarea permeabilității la apă a betonului am confecționat o serie de beton autocompactant și o serie de beton vibrat normal pe care le-am menținut în apă de mare până la vârsta de 90 de zile. Încercarea s-a realizat conform STAS 12390-8:2009, prin aplicarea unei presiuni a apei de 1200 KPa timp de 48 de ore. Am obținut rezultate mai bune în cazul betonului autocompactant față de betonul vibrat normal, aspect datorat compactității și densității mai bune a betonului autocompactant față de betonul vibrat normal. Adâncimea de pătrundere a apei a fost de 5,3 cm în cazul betonului autocompactant față de 7,8 cm în cazul betonului vibrat normal la vârsta de 28 zile.

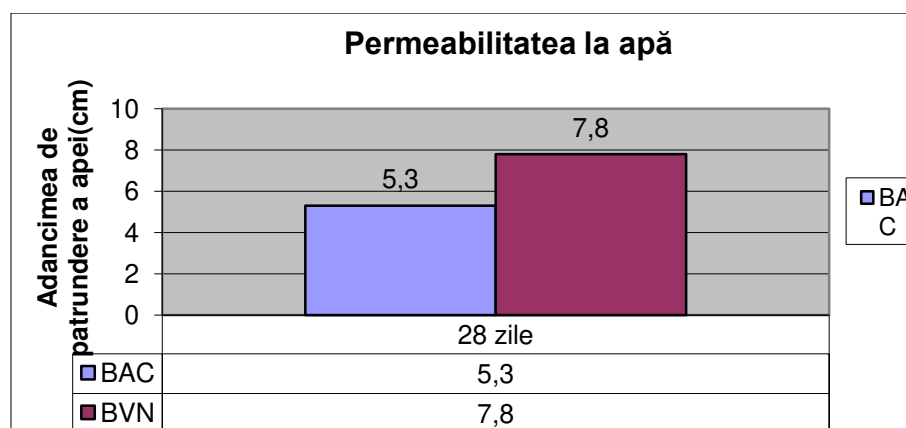


Fig.4.25- Permeabilitatea la apă a betonului autocompactant compatativ cu betonul vibrat normal

4.2.5 Determinarea adâncimii de carbonatare

Carbonatarea betonului reprezintă un alt fenomen care are ca rezultat degradarea prematură a betoanelor exploatate în mediul marin. Reacția de carbonatare a betonului este reacția chimică prin intermediul căreia are loc hidratarea pastei de ciment cu ajutorul moleculelor de CO_2 prin intermediul procesului de difuzie, fenomen accelerat în prezența umidității.

Fenomenul de carbonatare a betonului poate fi pus în evidență prin tratarea acestuia în spărtură proaspătă cu fenoftaleină.

Carbonatarea betonului depinde în mare măsură de raportul apă/ciment astfel încât se poate aprecia că la betoanele de clasă superioară cu un raport apă/ciment scăzut fenomenul de carbonatare a betonului apare în mică măsură. De reducerea fenomenului de carbonatare a betonului depinde și protejarea armăturilor din oțel.

Pentru punerea în evidență a fenomenului de carbonatare am confecționat 2 serii de beton pe care până la vârsta de 90 zile le-am menținut în apă de mare. Între vârsta de 90 de zile și 5 ani probele au fost menținute în aer liber, mediu marin oraș Constanța, poligon păstrare probe CRH Betoane. Reactivul chimic folosit a fost fenoftaleină, soluție 1% în alcool etilic 96%. Încercarea am realizat-o la vârsta de 5 ani, fenomenul de carbonatare fiind mai evident în cazul betonului vibrat normal (aproximativ 5 cm) față de betonul autocompactant (aproximativ 3 cm), fapt datorat de asemenea compactității și permeabilității mai bune a betonului autocompactant. Încercările s-au realizat pe aceeași compoziție de beton autocompactant și beton vibrat normal, adică C30/37 prezentată la începutul studiului de caz.



Fig.4.26- Evidențierea fenomenului de carbonatare prin tratarea betonului în spărtură cu fenoftaleină

Rezultatele determinării sunt în continuare prezentate grafic :

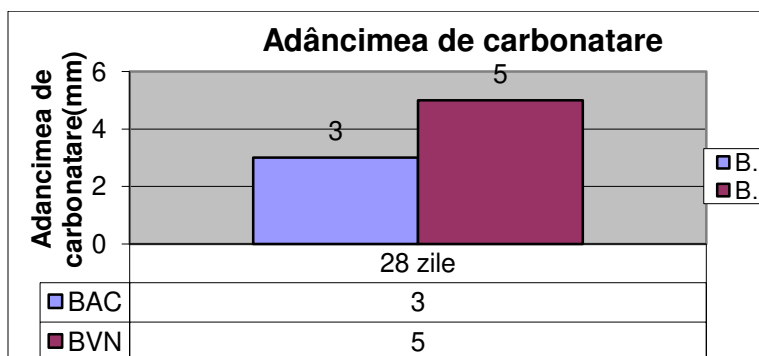


Fig.4.27- Determinarea adâncimii de carbonatare a betonului autocompactant comparativ cu betonul vibrat normal

4.3 Prezentarea eşantioanelor realizate de doctorand din beton autocompactant în cadrul proiectului de cercetare în vederea studierii comparative cu eşantioane similare din beton vibrat normal

Dupa realizarea testelor de laborator, în a doua parte a programului de doctorat am trecut la confecţionarea unor elemente prefabricate, un stâlp, un perete diafragmă şi o placă de dimensiuni reduse pentru a studia comportarea betonului autocompactant în elementul vertical respectiv orizontal. La confecţionarea elementelor de beton am utilizat o compoziţie de beton având clasa de rezistenţă C20/25.Elementele realizate au corespuns aşteptărilor obţinându-se feţe perfect netede fără ca betonul să fie vibrat, elementele confecţionate putând fi decofrate la 24 de ore după turnarea betonului în element, în condiţiile unei temperaturi exterioare de 28 °C pe timpul zilei şi 20°C pe timpul nopţii.



Fig.4.30,4.31,4.32- Elemente prefabricate din beton autocompactant după decofrare(foto autor)

După decofrare elementele prefabricate confecționate au fost menținute în mediul marin natural (mediul marin al orașului Constanța), în poligonul de probe al CRH Betoane, pe o perioadă de timp de 5 ani. În primii 2 ani elementele prefabricate au fost udate la interval de 1 lună cu apă de mare prelevată din Marea Neagră, pentru a simula mediul marin specific zonei de stropire. După cei 5 ani de analiză a elementelor prefabricate confecționate nu au fost constatate degradări vizibile deși elementele au fost supuse mai multor cicluri de îngheț-dezgheț, acțiunea vântului, mediului de ceață marină, etc. , betonul autocompactant confirmând proprietățile descrise anterior.

În următoarea etapă a cercetării doctorale am studiat comportarea betonului autocompactant în practică, în cadrul proiectului “Extindere, renovare Hotel Mamaia” și în cadrul proiectului “Construcție pod peste canalul Dunăre-Marea Neagră, km 0+540”.

În cadrul primului proiect , “Extindere, renovare Hotel Mamaia” s-a dorit realizarea unor elemente de construcție(stâlpi, diafragme de beton armat) pe o înălțime foarte mare, de aproximativ 4,5-5 m înălțime. În primă etapă s-a încercat turnarea betonului vibrat normal folosind tehnologia clasică de punere în operă, turnarea cu autopompa de beton și vibrarea elementului.



Fig.4.33,4.34- Elemente de construcție compactate defectuos , datorită înălțimii mari a elementelor (foto autor)

Rezultatele obținute au fost nesatisfăcătoare, proiectantul luând decizia demolării acestor stâlpi și refacerea lor utilizând beton autocompactant și tehnologia specifică de punere în operă a acestuia. Soluția adoptată , a utilizării betonului autocompactant a avut rezultate net superioare comparativ cu metoda clasică, în continuarea proiectului, la realizarea unor astfel de elemente utilizându-se numai betonul autocompactant.

În cadrul celui de al doilea proiect studiat, “Construcție pod peste canalul Dunăre-Marea Neagră, km 0+540”, proiectantul a adoptat încă de la început soluția ca pentru realizarea pilonilor principali ai podului să se utilizeze betonul autocompactant. S-a utilizat o soluție optimizată de beton autocompactant realizat cu ciment rezistent la agresivitate marină, ținând cont de influența mediului marin asupra parametrilor de comportament specifici betonului autocompactant. După decofrare elementele realizate nu au prezentat segregări sau defecte structurale, acestea prezentând fețe perfect netede. Compactitatea mai bună a betonului autocompactant a condus și la obținerea unor rezultate superioare față de betonul vibrat normal.



Fig.4.39- Elemente înainte de turnare în cadrul proiectului “Construcție pod peste canalul Dunăre-Marea Neagră, km 0+540”(foto autor)

Toate proprietățile verificate pe betonul autocompactant proaspăt au corespuns din punct de vedere al limitelor de încadrare recomandate de Ghidul European pentru beton autocompactant, proprietățile de înaltă fluiditate și de rezistență fiind obținute prin creșterea globală a cantității de liant și utilizarea aditivilor superplastifianți de ultimă generație, pe bază de carboxilateter.

În ceea ce privește determinările pe betonul întărit, din încercările efectuate atât pe beton autocompactant cât și pe beton vibrat normal, s-a constatat o rezistență la compresiune superioară a betonului autocompactant comparativ cu betonul vibrat normal, fapt care se poate explica prin îmbunătățirea aderenței între agregat și pasta întărită, în cazul betonului autocompactant, precum și a compactității mai bune a acestuia. Până la 90 zile nu s-au înregistrat degradări vizibile ale epruvetelor de beton. Epruvetele de beton, imersate în apă, și-au mărit masa comparativ cu momentul în care au fost introduse, datorită saturării cu apă, mai mult în cazul betonului vibrat normal decât în cazul betonului autocompactant, fapt datorat probabil structurii mai dense de pori a betonului vibrat normal decât a betonului autocompactant. Betoanele autocompactante care respectă aceeași valoare a raportului

apă/ciment, au în mod normal o rezistență egală, sau chiar ușor superioară în comparație cu betoanele normale, datorită suprimării vibrației, rezultând o îmbunătățire a aderenței agregatelor cu pasta întărită. Din studiile realizate pe betonul autocompactant și pe betonul vibrat normal se constată de o densitate a betonului net superioară în favoarea betonului autocompactant, fapt datorat de asemenea compactității mai bune a acestuia.

CAPITOLUL 5. STUDII ȘI CERCETĂRI EFECTUATE DE DOCTORAND ASUPRA COMPOZIȚIEI BETONULUI AUTOCOMPACTANT ÎN VEDEREA UTILIZĂRII LA CONSTRUCȚII AMPLASATE ÎN ZONA MĂRII NEGRE

5.1. Utilizarea în compoziția betoanelor a cimenturilor rezistente la agresivitatea marină

5.1.1 Compoziția mineralogică a cimentului

În procesul de fabricare a cimentului, materiile prime componente sunt supuse mai multor procese fizico-mecanice, având loc transformarea rocilor în pulbere. Materiile prime care intră în compoziția cimentului se pot constitui din minerale naturale provenite din roci calcaroase, argilă etc. dar și din produse rezultate din industrie precum zgura granulată de furnal sau cenușa de termocentrală.

Mineralele rocilor folosite la fabricarea cimentului pot fi grupate astfel:

- Carbonați, care reprezintă componenta calcaroasă a cimentului, cum ar fi roca de calcar, marnă, cretă;
- Minerale silico-aluminoase și oxizi de fier care reprezintă componenta argiloasă a cimentului;
- Silicea liberă, reprezentând materialele de corecție din compoziția cimentului.

5.1.2 Caracterizarea cimenturilor cu adaosuri

Principalele tipuri de cimenturi cu adaosuri sunt:

1. Cimenturi din clincher cu adaos de zgură granulată de furnal.

Acest tip de ciment se obține prin măcinarea în amestec pe lângă clincherul de ciment portland a zgurii granulate de furnal și a gipsului în vederea reglării timpului de priză. Adaosul

de zgură din amestec variază în general între 15 și 50% putând însă ajunge în funcție de calitatea zgurii și alți factori la chiar 85%. Rezistențele mecanice ale cimenturilor cu adaos de zgură de furnal variază între 42,5 și 51,6 Mpa la 28 zile.

2. Cimenturi din clincher cu adaos de cenușă de termocentrală

Adaosul de cenușă de termocentrală variază în funcție de calitatea cenușii, de finețea de măcinare, în România standardul STAS 1500 – 78 limitând adaosul de cenușă în ciment până la 15%.

Adaosul de cenușă de termocentrală în ciment îi conferă acestuia stabilitate chimică ridicată, dată în principal de reducerea sensibilă a conținutului de hidroxid de calciu din cimentul întărit.

3. Cimenturi din clincher cu adaos de tuf vulcanic (trass)

Cimenturi din clincher cu adaos de tuf vulcanic se caracterizează în principal prin contracție mică, căldură de hidratare redusă și stabilitate la agresivitatea chimică. Adaosul de trass în cimenturile din clincher cu adaos de tuf vulcanic este de 15% conf. STAS 3011 – 83. Rezistențele acestor tipuri de ciment se dezvoltă în ritm foarte lent însă rezistențele finale sunt aproximativ aceleași cu a cimentului portland fără adaos.

4. Cimenturi din zgura sulfată

Aceste tipuri de ciment se obțin prin activarea sulfatică a zgurilor și au în compoziție aprox. 75 – 90% zgură de furnal, 5 – 20% sulfat de calciu și până la 8% substanțe barice (var, clincher, dolomită calcinată).

Cimenturile din zgură sulfată se caracterizează printr-o stabilitate bună la acțiunea apelor agresive motiv pentru care pot fi utilizate cu succes la realizarea construcțiilor masive subterane sau subacvatice, tuburile de canalizare precum și la construcții amplasate în zone care implică acțiunea unor ape agresive.

În anul 2012, în vederea punerii în evidență a dezvoltării căldurii de hidratare a cimentului în beton, am realizat un studiu comparativ pe cimentul IIAV42,5 R, ciment cu adaos de cenușă zburătoare, cu rezistențe inițiale mari, și cimentul III A42,5N-LH rezistent la agresivitate chimică și care are căldură de hidratare redusă, cu rezistențe inițiale mai mici, ambele produse de firma SC Lafarge Ciment (România), fabrica Medgidia. Obiectivul studiului a fost de a evidenția importanța utilizării cimentului cu căldură de hidratare redusă la realizarea lucrărilor de construcții din zona de coastă a litoralului Mării Negre, în vederea limitării sau chiar a eliminării

căilor de pătrundere a substanțelor agresive în beton- fisurare, rezistență la îngheț-dezgheț, permeabilitate, etc.

În cadrul acestui subcapitol voi prezenta sintetic rezultatele rezistențelor la compresiune obținute pe 10 serii de probe de mortar de ciment , realizate cu ciment IIAV42,5R și pe 10 compoziții din beton vibrat normal realizate cu același tip de ciment urmând ca în subcapitolul următor să prezint rezultatele pe cimentul IIIA42,5N-LH și compozițiile din beton realizate cu acest tip de ciment , precum și prezentarea unui studiu comparativ privind dezvoltarea rezistențelor la compresiune pe cele două tipuri de ciment, respectiv pe cele două compoziții din beton vibrat normal. Rețeta de beton vibrat normal proiectată pentru realizarea studiului a fost în ambele situații de clasă C30/37 cu dimensiunea maximă a agregatelor de 16 mm și având un dozaj de ciment de 360 kg/mc.

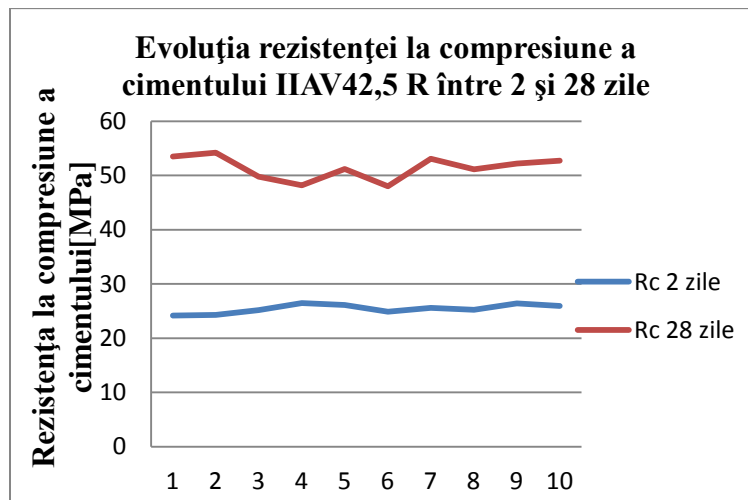


Fig.5.1- Evoluția la compresiune a cimentului IIAV42,5R , 2-28 zile

5.1.3 Caracterizarea cimenturilor rezistente la agresivitate marină.

Medii agresive sunt definite acele medii lichide și gazoase care conțin CO₂ liber, sulfati, cloruri, substanțe organice (grasimi, uleiuri animale și vegetale) cum sunt apele freatice, de mare și ocean, cele reziduale și gazele umede fără sau cu conținut de SO₂, H₂S, Cl₂ [102].

Conform cercetărilor efectuate de Solacolu, din punct de vedere al stabilității la agresivitatea apelor marine, în funcție de conținutul de C₃A cimenturile sunt împărțite în 3 categorii:

- Cimenturi foarte stabile , caracterizate prin $M_{Al} < 0,64$
- Cimenturi stabile, în care $0,7 < M_{Al} < 1$

- Cimenturi acceptabile caracterizate prin $1 < M_{Al} < 1,4$ utilizabile numai în cazul în care solicitatea apelor este mică.

În cadrul acestei teze de doctorat se va utiliza un ciment cu un conținut ridicat de zgură de furnal, între 36 – 65%. Principala caracteristică a acestui tip de ciment este rezistența la atacul sulfatic (XA_1 , XA_3) și la atacul dat de apa de mare. Se caracterizează de asemenea printr-o căldură de hidratare redusă, căldura de hidratare dezvoltată de acest tip de ciment la 7 zile fiind ≤ 220 J/g și rezistențe inițiale mai mici.

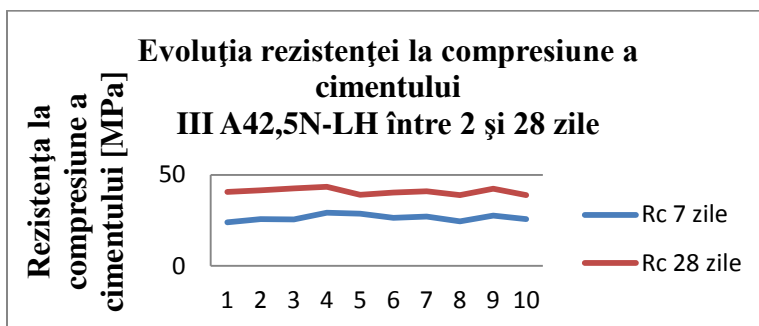


Fig.5.3- Evoluția la compresiune a cimentului III A42,5 N-LH, 2-28 zile

Conținutul ridicat de zgură din cimentul IIIA42,5N-LH ajută la formarea de hidrosilicați și hidroaluminați în dispersați. Aceștea reduc pe ansamblu porozitatea matricei betonului cu efecte favorabile asupra durabilității betonului. Prin mărirea cantității de zgură din compoziția cimentului are loc și reducerea cantității de hidroxid de calciu disponibil pentru reacția cu dioxidul de carbon atmosferic împreună cu care se formează carbonatul de calciu.

În continuarea studiului am analizat evoluția rezistențelor betonului de clasă C30/37 produs cu ciment CEM IIIA 42,5N-LH , pe care apoi le-am comparat cu cele ale betonului preparat cu CEM IIAV42,5R.

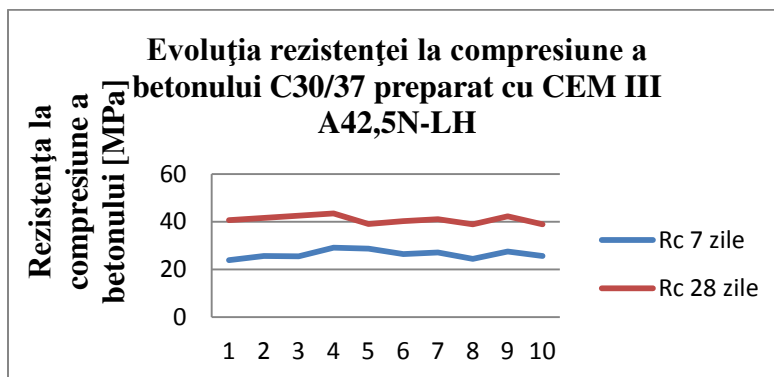


Fig.5.4- Evoluția la compresiune a betonului C30/37 preparat cu CEM III A42,5N-LH, 7-28 zile

Mărirea dozajului de zgură din cimentul IIIA42,5N-LH conduce la obținerea unei pietre de ciment mai puțin permeabil care oferă un risc mai redus de difuzie a ionilor de cloruri din ceața marină. Cercetările efectuate au arătat că cimenturile cu un conținut mai mare de 36% zgură în compoziție au diametrul porilor sub 0,01 μm în compoziție cu cimenturile fără adaos în care majoritatea porilor este peste 0,1 μm .

Cimentul cu adaos de zgură granulată de furnal prezintă stabilitate chimică mai ridicată față de ionii sulfat, carbonat și clor comparabil cu un ciment Portland CEM I.

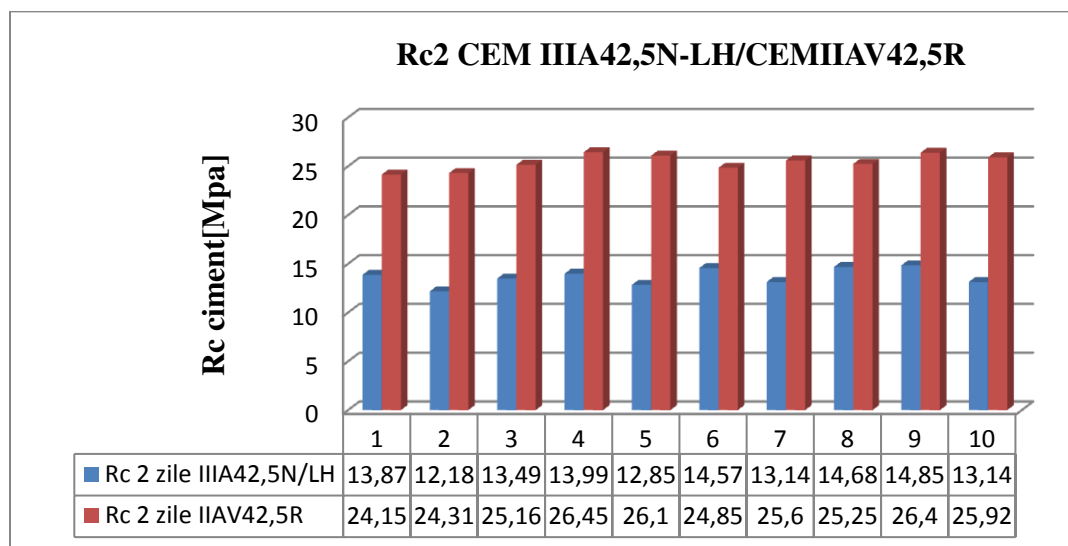


Fig.5.5- Evoluția la compresiune a cimentului III A42,5 N-LH/IIAV42,5-2 zile

Din rezultatele prezentate se observă faptul că cimentul CEM IIIA 42,5 N-LH dezvoltă rezistențe inițiale mai mici față de alte tipuri de ciment, în cazul de față comparativ cu cimentul IIAV42,5R ceea ce reduce semnificativ riscul de fisurare și implicit de pătrundere a substanțelor agresive în beton.

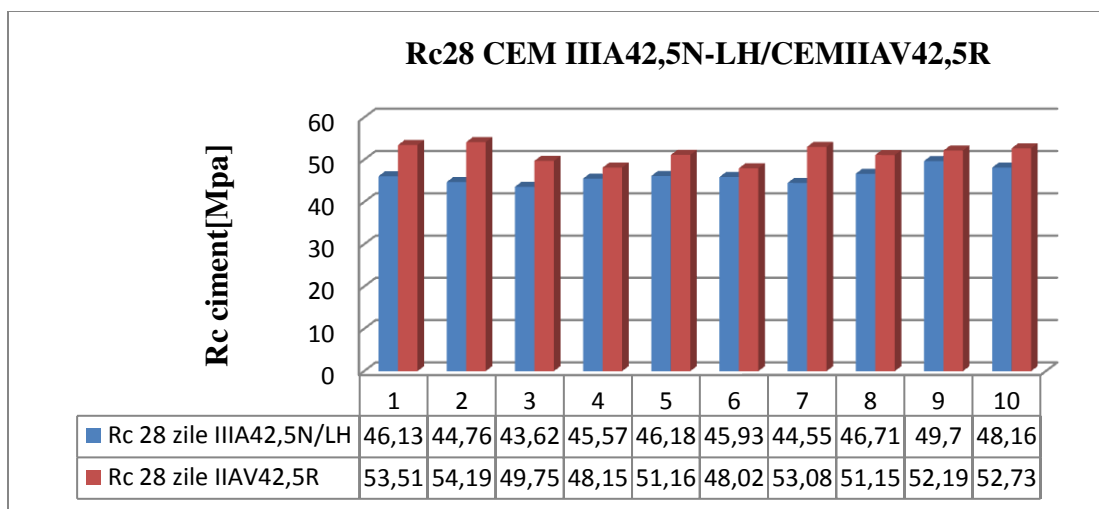


Fig.5.6- Evoluția la compresiune a cimentului III A42,5 N-LH/IIAV42,5-28 zile

5.2 Analiza reactivității agregatelor în vederea utilizării lor la prepararea betoanelor expuse în zona de agresivitate marină

5.2.1 Considerații generale

La prepararea betoanelor supuse la acțiunea mediului marin trebuie luată în considerare pe lângă acțiunea agresivă care se poate exercita asupra pietrei de ciment și acțiunea agresivă asupra agregatelor folosite la prepararea betonului. Din aceste considerente la prepararea betoanelor supuse agresivității marine trebuie luate în considerare în stabilirea rețetei de beton agregate precum nisipul și pietrișul de râu, agregate de carieră a căror substanță de bază este cuarțul sau nisip și agregate grosiere obținute din roci vulcanice prin concasare. Agregatele obținute prin concasarea granitului, diabazului, andezitului, bazaltului, gresiei și altor roci, pot fi folosite sigur în mediu acid și în mediu bazic, la temperaturi joase [44]. Nisipurile de râu, în general dacă se respectă tehnologia de spălare iar utilajele sunt conforme, conțin puțin material dăunător, procentul maxim admis de argilă fiind de 3%. Prezența argilei în nisip și implicit în beton are un efect dăunător asupra acestuia, deoarece aceasta are tendința de a îmbrăca particulele împiedicând astfel legarea directă a cimentului.

5.2.2 Analiza granulometrică

Factorii principali ce caracterizează granulația agregatului sunt:

- Aria totală a particulelor
- Volumul relativ ocupat de agregat

- Lucrabilitatea amestecului
- Tendința de segregare

Nu există o curbă granulometrică unică , tendința fiind spre un compromis între condițiile fizice și cele economice. De cele mai multe ori , betonul se realizează din materiale locale, care se pot obține ieftin.

Nu există o limitare a dimensiunilor maxime a agregatelor utilizate în compoziția betonului autocompactant, însă în cele mai multe cazuri se utilizează agregate cu dimensiunea maximă de 16 mm.

Pentru a accentua importanța utilizării betonului autocompactant la realizarea lucrărilor de construcții din zona de agresivitate marină, la reabilitarea clădirilor monument istoric unde posibilitățile de vibrare a betonului sunt greu de realizat sau chiar ar pune în pericol siguranța structurii , în continuarea acestei teze de doctorat am realizat un studiu pe o compoziție de beton autocompactant cu granulație 0-8 , în două variante. Am propus o compoziție de beton autocompactant realizată cu agregate calcaroase, prelevate din cariera Nicolae Bălcescu, Județul Constanța, soluție de beton propusă pentru reabilitarea cetăților antice de pe malul Dunării, Păcuilul lui Soare, Capidava dar și a celor din vecinătate, Adamclisi, Histria , etc. A doua soluție de beton autocompactant propusă este cu granulație 0-8, realizată cu agregate din rocă granitică prelevate din cariera Turcoaia, Jud. Tulcea, soluție propusă pentru reabilitarea Pasarelei Casino Mamaia și a clădirilor monument istoric din zona istorică a orașului Constanța .

5.2.3 Reacția alcalii- agregat

Necesitatea verificării reacției alcalii- agregat se impune în situațiile în care betonul vine în contact permanent sau alternativ cu apa sau cu un mediu umed.

Verificarea reacției alcalii- agregat are drept scop :

- Evaluarea reactivității și a nocivității potențiale a agregatelor ce conțin forme ale dioxidului de siliciu de joasă cristalizare cu alcalile din cimenturi
- Verificarea posibilităților de utilizare a acestor agregate împreună cu cimenturi capabile de a atenua sau anihila efectele nocive ale reacției (cimenturi cu conținut redus de alcalii, cimenturi cu puzzolane, etc.) [139].

Pentru determinarea reacției alcalii-agregat pe cele două tipuri de agregate utilizate la prepararea celor două compoziții de beton autocompactant propuse, am utilizat metoda chimică

de determinare a reacției alcalii-agregat, conform SR 5440-2009. Studiul reacției chimice alcalii-agregat am realizat-o în cadrul Laboratorului Grad I CRH Ciment(România) SA. În cadrul cercetării de laborator pentru studiul reacției au existat două etape principale:

- Reducerea concentrației de NaOH în care probele prelevate aduse la finețea de măcinare prevăzută în SR5440-2009 au fost tratate cu soluție de NaOH și apoi a fost realizată operația de titrare cu fenoftaleină și metilorange.
- Determinarea SiO_2 dizolvat în soluția de NaOH, metodă descrisă pe larg în SR 5440-2009.

Rezultatele obținute sunt prezentate în continuare tabelar și grafic ,susținute de imagini captate în perioada de realizare a determinării.

Probele din rocă calcaroasă au indicativul C1 și C2 iar probele din rocă granitică au indicativul G1 și G2.

Proba G1	grame	Proba G2	grame
Creuzet gol	30,8112	Creuzet gol	30,4957
Filtru A+B	30,8130	Filtru A+B	30,4558
Tratare cu acid fluorhidric după evaporare	30,8037	Tratare cu acid fluorhidric după evaporare	30,4307
După calcinare	30,8003	După calcinare	30,4292
	0,0127		0,0266

Tab.5.9- Date primare proba G1,G2



Fig.5.14,15- Filtrarea probelor cu pompa de vid(foto autor)

Proba		Soluție NaOH 0,05N							Rc	R'c	A1	A2	Sc
		V1	V2f	V2m	V3f	V3m	V'2	V'3					
T84	C1	20,00	29,52	3,64	28,88	3,04	55,40	54,72	-35	-37	0,01016	0,00688	10,9224
	C2	20,00	27,36	4,80	28,88	3,04	49,92	54,72	82	259	0,02128	0,00688	47,952
T85	G1	20,00	17,80	12,24	28,88	3,04	23,36	54,72	599	1695	0,0292	0,00688	74,3257
	G2	20,00	18,20	14,44	28,88	3,04	21,96	54,72	577	1771	0,0588	0,00688	172,894

Tab.5.13 -Rezultatele obținute pentru reducerea concentrației soluției de NaOH și a SiO_2 dizolvat în soluția de hidroxid

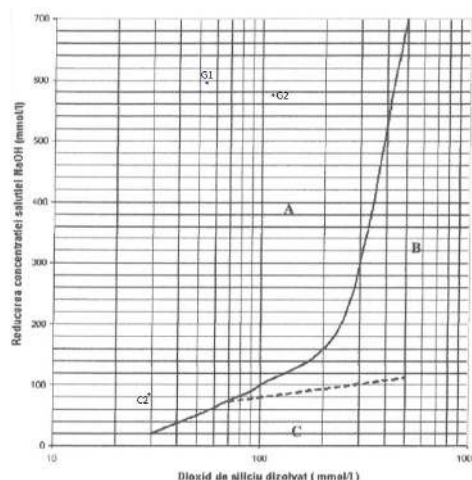


Fig.5.19- Interpretarea rezultatelor pentru determinarea potențialului reactive al agregatelor din punct de vedere al reacției alcalii-agregat

Rezultatele obținute pentru G2, C1 și C2 se introduc în diagrama de reducere a concentrației de hidroxid de sodiu în funcție de dioxidul de siliciu dizolvat, proba G1 fiind ratată. Poziționarea acestor puncte pe diagramă, situarea lor în zona favorabilă A ne permit utilizarea acestor tipuri de agregate la prepararea betonului, ne reprezentând potențial reactiv. Situarea la limita zonei favorabile a rocii de calcar recomandă prudență în utilizarea acestei roci în zona de umiditate și agresivitate marină astfel că, din studiile și cercetările practice realizate o recomandăm a fi utilizată în compoziția betonului autocompactant cu granulație 0-8, la reabilitarea cetăților antice din Dobrogea, subiect asupra căruia voi prezenta un studiu mai detaliat într-un subcapitol următor. Situarea celor două probe de rocă granitică în zona favorabilă A, recomandă utilizarea acestui tip de rocă în compoziția betonului autocompactant necesar lucrărilor din zona de agresivitate marină a litoralului Mării Negre, la reabilitarea clădirilor monument istoric din zona Peninsulară a orașului Constanța, la reabilitarea Pasarelei Casino Mamaia.

5.3 Studiu de caz. Tehnici moderne de reabilitare a clădirilor monument istoric utilizând betonul autocompactant

5.3.1 Reabilitare Pasarela Casino Mamaia

În ultima parte a cercetărilor realizate în perioada de doctorat am realizat un studiu la Pasarela Casino Mamaia și a cetăților antice din Dobrogea, rezultatele concretizându-se în propuneri de reabilitare și consolidare a acestora.

Au fost identificate însă zone în care betonul și armătura au fost expulzate în totalitate, în aceste cazuri fiind necesar să se realizeze cofraje, montarea de armături și înlocuirea în totalitate a elementului de beton armat deteriorat (placă de beton armat).

Ca principale metode de consolidare se recomandă, în zonele mai puțin afectate, folosirea cămășuielilor din beton armat, a îmbrăcăminților din beton armat torcretat, consolidare cu profile metalice sau înlocuirea totală a betonului degradat, în vederea preluării eforturilor[49]. În toate aceste situații este recomandabilă utilizarea betonului autocompactant cu rezistență la agresivitate marină datorită coeziunii și capacității de umplere mai bune a acestui tip de beton, datorită capacității mai bune de a face legătură cu betonul vechi, degradat, și nu în ultimul rând datorită durabilității mai mari a acestui tip de beton. Pentru zonele unde se adoptă metoda de torcretare este recomandabil să se utilizeze un beton autocompactant cu granulație 0-8, pentru turnarea betonului în stâlpi, grinzi, centuri, beton autocompactant cu granulație 0-16 iar pentru celelalte elemente, fundații, chesoane, etc. este recomandat să se utilizeze beton autocompactant cu granulație 16-22,5.



Fig.5.20,21- Degradarea elementelor din beton la Pasarela Casino Mamaia(foto autor)

Printre principalele cauze care au stat la baza degradării premature a betonului pot fi considerate să fie utilizarea agregatelor de natură calcaroasă care au o rezistență scăzută la agresivitate chimică, nefiind recomandabile unor astfel de aplicații. În ceea ce privește sursa de ciment folosită se presupune că cimentul folosit este cimentul Portland Superpod produs la fabrica de la Cernavodă, singura în zonă în acea perioadă.

Se recomandă reabilitarea acestei construcții de importanță istorică utilizând tehnici de cămășuire, de refacere a elementelor structurale, utilizând beton autocompactant, dat fiind comportarea foarte bună a acestui material în zona de agresivitate marină, ușurința de punere în operă precum și comportament bun a celorlați parametri analizați în această teză de doctorat.

5.3.2 Reabilitarea cetăților antice din Dobrogea

Cea mai mare parte a cetăților antice din Dobrogea, în special cele amplasate pe cursul Dunării au suferit degradări profunde, cauzate de variațiile de temperatură , acțiunea vântului, factori biodeteriogeni, degradări provocate de acțiunea apei, prin variații de nivel ale cursului de apă și astfel inundarea parțială sau totală a zidurilor cetății. În acest context se impune intervenția rapidă în vederea consolidării și restaurării acestor ziduri, continuarea lucrărilor acolo unde acestea au fost stopate. Pornind de la aceste considerente am realizat o cercetare in situ privind stadiul de degradare al cetăților antice din Dobrogea și inițierea unor măsuri de consolidare folosind tehnici moderne de consolidare, folosind betonul autocompactant. Rezultatele cercetării prezintă avantajele utilizării betonului autocompactant la restaurarea zidurilor de piatră ale cetăților antice din Dobrogea.

Zidăriile din piatră brută se degradează de regulă prin deschideri de rosturi verticale și prin fisuri de crăpături în piatră.Prin aceste rosturi și fisuri are loc pătrunderea apei și a altor agenți distructivi, provocând desprinderea locală a zidăriei din piatră brută de liant.

În acest studiu am investigat degradările zidurilor din piatră brută ale cetăților antice Capidava, Păcuiul lui Soare , Adamclisi, primele două situate în imediata apropiere a Fluviului Dunărea, cea de a treia la aproximativ 50 km de acesta.

Cercetările realizate la cele trei cetăți antice relevă degradări vizibile , desprinderea locală a liantului de zidăria de piatră brută, putând fi observate distanțări ale rosturilor de apx. 5 cm iar la zidurile în contact cu apa întâlnindu-se chiar situații de colaps.



Fig.5.35,36- Restaurarea zidurilor Cetății Capidava utilizând beton convențional(foto autor)



Fig.5.37-Element de construcție la Cetatea Capidava realizat din beton autocompactant.(foto autor)

Rezultatele au fost net în favoarea betonului autocompactant, în acest caz obținându-se fețe perfect netede, compacte și implicit cu o permeabilitate și gelevitate ridicate comparativ cu elementele restaurate cu beton convențional unde sunt vizibile fisuri în lungul zidăriei încă din faza de început a realizării lucrării. În urma cercetării realizate am identificat două aspecte importante cu efecte benefice asupra scopului propus, acela de restaurare a obiectivelor de construcții monument istoric amplasate în zone cu agresivități naturale.

- Prin utilizarea betonului autocompactant la restaurarea obiectivelor monument istoric se elimină echipamentele necesare vibrării betonului în stare proaspătă eliminându-se în acest fel posibilitățile de a disloca poziția inițială a elementului de beton restaurat. Este imperios necesară utilizarea acestui tip de beton , în mod special la restaurarea obiectivelor monument istoric din zona de agresivitate a Mării Negre, amplasate în zona Peninsulară a orașului Constanța , unde stadiul foarte avansat de degradare al acestor obiective, prin vibrarea betonului ar putea conduce la colapsul acestor structuri.



Fig.5.38,39-Clădiri monument istoric aflate în stadiu avansat de degradare, amplasate în zona peninsulară a orașului Constanța(foto autor)

- Utilizarea filerului de calcar în compoziția betonului autocompactant conferă acestuia îmbunătățirea capacității acestuia de a fi folosit ca liant la restaurarea zidărilor de piatră a obiectivelor monument istoric;

6.CONCLUZII. VALORIFICAREA REZULTATELOR CERCETĂRII

6.1 Concluzii

Realizarea obiectivelor propuse în elaborarea tezei de doctorat au fost îndeplinite prin studii și cercetări efectuate în laboratoarele din România și Marea Britanie, în conformitate cu proiectul de cercetare propus, cât și prin concluziile, interpretările formulate, coroborate atât cu rezultatele constatate până la data anterioară derulării programului, cât și cu rezultatele apărute pe parcursul studiilor realizate în România și Marea Britanie. Cercetările efectuate au fost sintetizate de către mine, ele putând fi prezentate astfel:

- Betoanele autocompactante studiate pentru a fi utilizate în mediul marin vor trebui să fie astfel realizate încât să corespundă condițiilor de exploatare, respectiv utilizare de cimenturi rezistente la agresivitate marină, cu un conținut ridicat de zgură de furnal, de până 65%, $M_{AI} < 0,64$ precum și căldură redusă de hidratare, $< 220 \text{ J/gr}$, utilizarea de adaos de filer de calcar, cenușă de termocentrală sau praf exhaustat, în vederea creșterii stabilității precum și utilizarea agregatelor nereactive la realizarea compozițiilor de beton autocompactant. Această concluzie obținută răspunde cu prisosință mediului marin din zona de coastă a litoralului Mării Negre, unde agresivitatea mediului este dată nu numai de salinitatea apei Mării Negre (aprox. 1,8%) dar și de salinitatea lacurilor din zonă: Techirghiol (8%), Nuntași (3,7%), Sinoe, Costinești (2,6%) în special că în cercetările pe care le-am efectuat în intervalul 2011-2016 am evidențiat faptul că există o tendință de acidifiere a apei marine, o creștere a pH-ului apei Mării Negre, de la 7,87 în 2011, la 8,46 valoare obținută în 2016;
- Utilizarea betoanelor autocompactante este favorizată și de faptul că realizarea investițiilor în contact cu mediu marin nu permite întotdeauna compactarea, prin însăși compoziția sa betonul autocompactant îndeplinind această funcție, nemafiind necesară vibrarea. În acest context elementele de beton care se toarnă în zonă, pasarele, diguri, cheiuri dar și construcțiile civile care înaintază în apă vor putea fi realizate din beton cu

o tehnologie modernă, care să evite apariția defectelor de structură și implicit a zonelor de vulnerabilitate la agresivitate marină;

- Utilizarea betonului autocompactant la construcțiile din zona marină , cu sau fără expunere directă, aduce o contribuție de seamă în creșterea durabilității construcțiilor sau a lucrărilor de intervenție efectuate pe durata existenței, motivat de faptul că dispar zonele vulnerabile care au fost identificate la betoanele obișnuite , deoarece absorția capilară , difuzia, transportul ionic este foarte limitat pentru substanțele agresive în cazul betonului autocompactant;
- Am constatat că utilizarea betoanelor obișnuite la restaurarea monumentelor istorice , în speță cercetările pe care le-am efectuat la realizarea lucrărilor de restaurare la Cetatea Capidava , avea o comportare deficitară, observându-se fisuri încă din faza de început a lucrărilor de restaurare. Siturile arheologice de regulă sunt supuse intemperiilor, factorilor atmosferici, fenomenelor de îngheț-dezgheț, în cazul Cetății Capidava, elementele constructive ale cetății fiind supuse unei umidități relative ridicate datorită faptului că situl arheologic se află în imediata vecinătate a fluviului Dunărea. Prin comparație, în cadrul aceluiași șantier, utilizarea betonului autocompactant la realizarea noului centru de informare turistică al sitului arheologic Capidava a prezentat rezultate net superioare comparative cu betonul convențional utilizat la restaurare, din punct de vedere al proprietăților mecanice și durabilitate (gelevitate, permeabilitate) dar și a proprietăților deosebite de finisaj. Utilizarea betonului autocompactant la construcțiile exploatate în mediul agresiv marin rezolvă problema la îngheț-dezgheț în sensul că rezistența la gelevitate este cu 30% - 40% mai mare în cazul betonului autocompactant față de betonul vibrat normal , după 150 de cicluri de îngheț – dezgheț , pierderile de rezistență la compresiune fiind cuprinse între 5,71%-8,28% (probele CSO98; CSO99; CSO122) în cazul betonului vibrat normal , față de numai 3,07%-4,9% (probele DR52; DR53; DR54) în cazul betonului autocompactant;
- O altă concluzie foarte importantă, care s-a desprins în urma programului de cercetare efectuat , o constituie faptul că betonul autocompactant oferă o rezistență mult mai bună la eroziune, cu aplicabilitate la construcțiile de coastă, diguri, pasarele, care se află în contact direct cu marea și care sunt supuse forței valurilor și agresivității marine. Dat fiind faptul că rezistența la eroziune a betonului depinde în mare măsură de calitatea

betonului exprimată prin rezistența la compresiune a acestuia, studiile pe care le-am realizat pe un beton autocompactant de clasă C25/30 comparativ cu un beton obișnuit de aceeași clasă de rezistență mă îndreptătesc să afirm că betonul autocompactant prezintă o rezistență mult mai bună la eroziune, față de betonul vibrat normal, acesta înregistrând sporuri ale rezistențelor mecanice cu 20-30% în cazul betonului autocompactant față de betonul vibrat normal. Acest fapt îl recomandă cu prisosință la realizarea digurilor de larg unde intensitatea vântului, forța de spargere a valurilor sunt foarte puternice, în cazul digurilor realizate din beton convențional în acest moment existând un proces accentuat de eroziune;

- Utilizarea betonului autocompactant reprezintă o soluție optimă pentru utilizarea la construcțiile amplasate în zona de agresivitate marină a litoralului Mării Negre deoarece din cercetările efectuate am dedus că utilizarea cimenturilor rezistente la agresivitate marină, având căldură de hidratare scăzută, utilizarea agregatelor nereactive, utilizarea unor aditivi pe bază de carboxilateter compatibili cu cimenturile rezistente la agresivitate marină, conferă betonului autocompactant proprietăți speciale cum ar fi, rezistență la atac chimic, permeabilitate ridicată, fluiditate mare, ceea ce îl recomandă cu prisosință la construcțiile amplasate în Zona de Coastă a litoralului Mării Negre. Studiile asupra compatibilității mai multor tipuri de aditivi la compoziția mineralogică a cimentului rezistent la agresivitate marină, determinarea potențialului reactiv al agregatelor, din punct de vedere al reacției alcalii-agregat, determinări realizate în capitolul 5 al prezentei teze de doctorat, mă îndreptătesc să afirm că utilizarea unei compoziții de beton autocompactant preparat cu aditivi puternic reducători de apă pe bază de polycarboxilat-eter, Glenium, Auracast 200, ciment rezistent la agresivitate marină și agregate concasate din rocă granitică reprezintă soluția optimă pentru realizarea unor construcții durabile în Zona de Coastă a Litoralului Mării Negre.

6.2 Valorificarea rezultatelor cercetării

Rezultatele cercetării s-au valorificat parțial prin studierea comportamentului betonului autocompactant la cele două lucrări, Realizare Pod Agigea și Renovare Hotel Mamaia, prin extinderea domeniului de aplicare la reabilitarea pasarelei din zona Casino Mamaia, prin

propuneri de includere a lor într-un regulament de utilizare a betonului autocompactant în medii agresiv chimice și în general prin contribuții la actualizarea prezentelor prescripții tehnice. Rezultatele cercetării se vor promova în perioada imediat următoare la realizarea lucrărilor de reabilitare a portului Tomis și la lucrări speciale care vizează zona Peninsulară. Rezultatele cercetărilor efectuate au fost prezentate parte din ele în cadrul a două conferințe realizate la Universitatea Ovidius Constanța, Facultatea de Inginerie Civilă, **“Theory and practice in civil engineering”**. Tema susținută a fost **“ Optimization of self-consolidating concrete composition for higher performances in marine environment”** și în cadrul Workshop International –**Water, energy, civil engineering in Portugal and Romania**, tema susținută fiind **“Studies and research regarding the influence of marine environment on specific behavior parameters on self-compacting concrete for use in concrete structures located in the area of Black-Sea”**. De asemenea, în cadrul Școlii doctorale de științe aplicate a Universității Ovidius Constanța au fost susținute 2 rapoarte de cercetare, în iunie 2012-**Influența agresivității mediului marin supra durabilității betonului. Analiza comparativă a proprietăților betonului autocompactant cu cele ale betonului vibrat normal**, și în iunie 2013-**Optimizarea structurii compoziției betonului autocompactant în vederea creșterii performanțelor de utilizare în mediul marin**. Rezultatele cercetărilor au mai fost diseminate și în cadrul unor publicații și conferințe cotate internațional:

- **“The advantages of using self compacting concrete for reinforced concrete structures in an aggressive marine environment”**, Cîinoiu Marian Nicolae, Grănescu Ana Maria,- **Indian Journal of applied Research**, ISSN No. 2249-555X, Februarie 2016, publicație indexată **BDI**, Index Copernicus (IC) Value:74.5, Impact Factor: 3.919;
- **”Mechanism degradation of concrete structures located in the aggressiveness area of Black Sea Coast. Rheabilitation of affected structures using self compacting concrete.”**, Cîinoiu Marian Nicolae, Grănescu Ana Maria,-16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016, Book 6, Nano, Bio and Green-Technologies for a Sustainable Future, Conference Proceedings, Vol. II, ISSN 1314-2704, iulie 2016, Conferință indexată **ISI Web of Knowledge**, Thomson Reuters;
- **“Compactness concrete influence on its mechanical strength. Tensile strength studies on self compacting concrete compared with traditional vibrated concrete”**, Cîinoiu Marian Nicolae, Grănescu Ana Maria, International Journal of Scientific

Research,, Volume 5 , Issue9, ISSN No.2277-8179, publicație indexată **BDI**,Index Copernicus IC Value : 69.48

- **“The ancient fortress rehabilitation from Dobrudja, Romania, using modern tehnics – Self compacting concrete tehnics” , Cînoiu Marian Nicolae , Grănescu Ana Maria ,The Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy, Construction. Arhitecture Section, ISSN 1224-3884, e-ISSN : 2068-4762, în curs de publicare, publicație indexată B+.**

Stagiul doctoral și schimbul de experiență realizat în 2010 în laboaratoarele, șantierele și unitățile de producție ale SC Lafarge, Marea Britanie mi-a conferit posibilitatea dezvoltării cunoașterii și a transferului de cunoștințe din Marea Britanie în România astfel că am contribuit împreună cu colectivul de cercetare la realizarea unor betoane performante concretizat în utilizarea materialului la Pod Agigea, Hotel Mamaia precum și în cadrul altor lucrări. Este produsul rezultatelor cercetării și a transferului de cunoștințe care exprimă condițiile de exploatare și are drept scop creșterea durabilității elementelor de construcție și reducerea cheltuielilor de exploatare pe durata de serviciu.

Valorificarea rezultatelor vizează și aspectele privind beneficiile utilizatorului. Acest aspect vizează creșterea competitivității, dezvoltarea economică și progresul veniturilor. Aceste aspecte sunt legate în mod deosebit de dezvoltarea industriei construcțiilor în zona Dobrogei, de perspectiva dezvoltării zonei, cu precădere a celor amplasate în zona de Coastă. În acest context se are în vedere volumul masiv de investiții ce urmează a fi realizate în perioada următoare în Portul Tomis astfel încât politica de management a firmelor care furnizează acest material au în vedere o dezvoltare economică importantă prin utilizarea unei game variate din acest beton, funcție de amplasament, grad de expunere, etc.

Un aspect important al valorificării rezultatelor îl constituie contribuția la dezvoltarea literaturii de specialitate, publicarea rezultatelor cercetării în articole și cărți, continuarea informării segmentului interesat în domeniul construcțiilor prin organizarea de workshopuri, schimb de experiență dar și în comunicări în reviste cu impact relevant în domeniul construcțiilor. O acțiune importantă care vizează valorificarea rezultatelor cercetării o constituie îmbunătățirea normativului de beton, prin introducerea parametrilor noi, actualizarea normativului de beton autocompactant cu acțiunea la coroziune, extinderea domeniului de aplicație și la construcții hidrotehnice, construcții de stabilizare a taluzelor în vederea punerii în siguranță a construcțiilor în zone urbane, construcții vechi cu valoare de patrimoniu.

6.3 Elemente privind contribuțiile doctorandului, originalitatea tezei și modul în care rezultatele obținute pot fi aplicate, criterii privind continuarea cercetărilor

Originalitatea tezei constă în primul rând în faptul că abordează o temă actual promovată pe plan internațional la nivelul anilor 2006, în care stadiul cercetărilor erau abia inițiate, ulterior ele fiind aprofundate în laboratoarele internaționale iar la noi în România a fost în faza de început, de aplicare a unor rezultate obținute de laboratoarele firmelor străine. Nu se cunoștea nimic despre aplicabilitatea lui în medii agresive, de comportare a lui și de modul în care va interacționa cu factorii distructivi. Ceea ce se cunoștea foarte bine erau parametrii superiori ai compoziției cât și rezistențele sporite pentru construcții. În România nu existau reglementări care să vizeze acest material cât și tehnologiile lui de aplicare. Singurele reglementări aplicabile în România au fost standardele care s-au introdus la nivelul anului 2010, după un an de la înscrierea mea la Școala Doctorală și care reprezintă o traducere a standardelor europene. Ulterior, în anul 2012, Institutul de cercetări pentru echipamente și tehnologii în construcții a elaborat un Raport de cercetare (prenormativă), beneficiar fiind Ministerul Dezvoltării Regionale și Turismului.

În al doilea rând originalitatea temei constă în analizele efectuate, cercetările aprofundate, inițiate pe acest material, în vederea cuantificării cât mai exacte a parametrilor care pot fi corecți-adaptați la condițiile de mediu. În acest context, în cadrul programului de cercetare am studiat cu maximă responsabilitate condițiile oferite de mediul marin în zona noastră, coroborat cu analiza comportării în timp a construcțiilor realizate atât în contact cu marea, cu apa, cât și a celor amplasate în zona de influență a mediului marin. Din această cercetare am conturat pârghiile de acțiune în analiza comportării betonului care să corespundă exigențelor oferite de mediu în vederea îmbunătățirii durabilității, a creșterii siguranței în exploatare, a reducerii costurilor de exploatare, într-un cuvânt a creșterii eficienței acestui nou material.

Originalitatea temei constă în metodologia de abordarea modului de utilizare a acestui material existând aplicabilitatea lui și pentru construcțiile existente amplasate în zona de influență a mediului marin prin lucrări de consolidare, reabilitare, creștere a parametrilor de comportament. O componentă foarte importantă a originalității tezei constă în faptul că studiile și cercetările efectuate privind utilizarea acestui material la construcțiile noi pot fi extinse la un domeniu nou al preocupărilor ingineresti și anume, la soluții de reabilitare a monumentelor istorice amplasate în această zonă, la soluții de punere în valoare a ruinelor antice, vestigiilor,

vechilor cetăți din zona Dobrogei amplasate în mediul marin. Nu în ultimul rând, o componentă a originalității tezei o constituie și contribuțiile aduse cunoașterii acestui domeniu pentru realizarea unor standarde proprii, a unor reglementări tehnice în domeniu, care vor contribui la progresul științei și tehnicii construcțiilor în România.

Contribuțiile doctorandului s-au materializat prin:

- Lărgirea bazei de date specifice domeniului cercetat, cunoașterea și promovarea materialului pe piața națională a materialelor de construcții și în mod special pe piața locală a Zonei de litoral a Mării Negre. Studiile efectuate se constituie într-un punct de plecare spre noi direcții de cercetare;
- Testarea a diferite tipuri de aditivi care să asigure compatibilitatea cimentului rezistent la agresivitate chimică cu tipul de aditiv corespunzător;
- După realizarea compoziției betonului în laborator, testarea acestuia prin confecționarea unor elemente prefabricate care să pună în evidență fiabilitatea, ușurința de punere în operă precum și obținerea unor fețe perfect netede.
- Realizarea de diferite compoziții de beton autocompactant în care ca și parte de adaos a fost folosit pe rând filler de calcar, cenușă expandată și praf exhaustat.
- Realizarea de studii comparative privind proprietățile mecanice ale betonului autocompactant cu cele ale betonului uzual.
- Studii efectuate prin cercetările de laborator dar și prin cele efectuate la Pasarela din zona Casino Mamaia asupra efectului distructiv al apei de mare asupra betonului, a pierderilor de masă a betonului sub acțiunea distructivă a valurilor și apei de mare, analiza ionică a apei de mare în care au fost menținute probele martor și analiza ionică a apei distilate în care au fost menținute probe confecționate din același material.
- Documentarea prin bibliografia studiată asupra actualității materialului, a stadiilor actuale de dezvoltare și utilizare.

Originalitatea tezei constă în primul rând în tema abordată și anume a comportării betonului autocompactant în zona de agresivitate marină

Prin studiile și cercetările efectuate am dezvoltat și extins acțiunile propuse răspunzând obiectivelor planului de cercetare și totodată identificând probleme noi în acest domeniu nou de cercetare. Problemele noi vizează corelarea durabilității construcțiilor cu a duratelor de exploatare și a mediului caracteristic, mediul marin, precum și extinderea compoziției optimizate

a betonului autocompactant și pentru alte condiții de exploatare, respectiv pentru construcții care sunt supuse și factorilor dinamici, vibrațiilor forțate.

Ca direcție de cercetare viitoare, teza de doctorat deschide noi direcții pentru continuarea cercetărilor, cum ar fi:

- Aplicarea betonului autocompactant la consolidarea de construcții monument istoric prin studierea construcțiilor și a compatibilității parametrilor tehnici față de materialele vechi existente;
- Studii și cercetări privind realizarea unor material speciale cu rol de liant dar cu parametrii similari betoanelor autocompactante care ar putea fi utilizate în viitor la restaurarea vestigiilor din piatră naturală. În momentul actual au fost deja inițiate cercetări la Cetatea Capidava .

BIBLIOGRAFIE:

- [2] Arsenie, Grigore, Voiculescu, M., Soluții de consolidare a construcțiilor avariate de cutremure, Ed. Tehnica, București, 1997.
- [3] Asăvoaie C., Contribuții la studiul caracteristicilor fizico-mecanice ale betonului autocompactant (teză de doctorat), Iași, 2011.
- [5] Avram, C., Betonul armat în România, București, 1987.
- [7] Avram, C., Bob, C., Noi tipuri de betoane speciale, Ed. Tehnica, București, 1980.
- [9] Bărbulescu, A., Elemente de teoria probabilităților și statistică matematică, Ovidius University Press, Constanța, 2002.
- [18] Boukendakji, O., Kenai, S., Kadri, E.H. and Rouis F., Construction and building materials, London, 2009.
- [24] Breabăn, Virgil, ș.a., Inginerie seismică, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1985.
- [27] Ciortan, Romeo, Porturi și amenajări portuare, Ed. Agir, București, 2012.
- [28] Cîinoiu M., N., Optimization of self-consolidating concrete composition for higher performance in marine environment, Theory and Practice in Civil Engineering Conference, Ovidius University of Constanta, 2013.
- [30] Cîinoiu, M., N., Grănescu Ana Maria, The advantages of using self compacting concrete for reinforced concrete structures in an aggressive marine environment, Indian Journal

- [31] Cîinoiu, M., N., Grănescu, Ana Maria, Mechanism degradation of concrete structures located in the aggressiveness area of Black Sea Coast. Rehabilitation of affected structures using self compacting concrete, International Multidisciplinary Scientific Geoconferences SGEM, Albena, 2016.
- [32] Damoft, J.S., Lukasik, J., Herfort, D., Sorrentino, D. and Gartner E.M. ,“Sustainable development and climate change initiatives”, Cement and concrete research, vol.38, no. 2, UK, 2008
- [33] De Schutter, G., Audenaert, K., Boel, V., Vandewalle, L., Dupont, D., Herirman, G., Transport properties in self compacting concrete and rotation with durability, Proceedings of Third RILEM International Symposium on self compacting concrete, Reykjavik, Iceland, RILEM Publications, 2003.
- [34] Diamond S., Mercury porosimetry: An inappropriate method for the measurement of pore size distributions in cement-based materials, Cement and Concrete Research Journal, 2000.
- [37] Domone P., L., J., Jin, J., Properties of mortar for self-compacting concrete, First International Rilem Symposium on self-compacting concrete, RILEM Publications, 1999.
- [38] Dumitrescu, D., Popăescu, A., Beton Precomprimat, Editura Academiei RSR, București, 1987.
- [41] Gaimster R, Gibbs J., Self Compacting concrete, London 2001
- [42] Găman, D., V., Studiul experimental privind permeabilitatea și gelevitătea betonului sub acțiunea factorilor climatic, Ediția a XVII-a , Neptun, 2005.
- [43] Geert De Schutter, Peter, J.M., Bartos, Peter, Domone and J.Gibbs-Self , Compacting Concrete, Whittles Publishing , Dunbeath, Scotland, UK, 2008
- [44] Georgescu, D., P., Îndrumar de proiectare a durabilității betonului în conformitate cu Anexa Națională de aplicare a SR EN 206-1-Clase de durabilitate, Tipografia Everest, București, 2001
- [45] Gheorghe, M., Panait, N., Rdu, L., Comportarea la atac sulfatic a betonului autocompactant,

Simpozionul Național “A. Steopoe”, UTCB, 12 noiembrie 2008.

- [47] Gramescu,A.,M.,Constructii civile, Ed. Agir, Bucuresti,2006.
- [48] Grămescu,Ana Maria.,Barbu,Daniela, A.M. “Repararea și consolidarea construcțiilor”, București ,2008
- [51] Hancu, C. D.,Betoane de mare rezistenta aditivate, Editura Ex. Ponto, Constanta , 1999.
- [52] Imre, Biczok., “Coroziunea și protecția betonului”, București ,1965
- [53] Ionescu,I.,Ispas,T.,Practica actuală a betoanelor, Ed. Tehnică, 1986.
- [57] Lafarge, City and guilds concrete technology 1, Notes, Leicester, UK.,2008.
- [60] Loukili ,Ahmed, Self compacting concrete, UK, 2011.
- [63] Metha,P., K., and MonteiroP.,J.,M.,Concrete microstructure,Properties and materials, USA,2006.
- [65] Moldovan,V., Aditivi în betoane, Ed. Tehnică, București,1978.
- [67] Moskvina,V.,N., Coroziunea betonului, București, Ed. Tehnică,1955.
- [68] Muntean M., Paul F., Radu L., Burtea I.- Coroziunea chimica a betoanelor, SELC , editia a XV-
- [70] Neville,A.,M.,- Shrinkage and creep in concrete, Structural concrete,1, No. 2, London, 1962.
- [71] Neville,A.M., Proprietatile betonului-Editura tehnica, Bucuresti , 1979
- [73] Okamura ,H. and Ouchi, M,“Self compacting concrete”, 2003
- [75] Onet,T.,- Durabilitatea betonului, Editura Tehnica, Bucuresti, 1994
- [76] Ozawa,K.,Sakata,N.,and Okamura,H.,Evaluation of self compactibility of fresh concrete using the Funnel test,Concrete Library of ISCE,1995.
- [77] Pager, E., Betonul armat în România, Vol. 1, Ed. Tehnică, București, 1979.
- [78] Peterson O, Skarendahl,Self Compacting concrete, Proceedings of the First International Symposium, Stockholm 1999, Rilem Publications,France ,2000
- [81] Popa ,I., Vasile,V.,INCERC Bucuresti, Zona litorala a Marii Negre-O solicitare severa pentru constructiile supraterrane din beton armat, Urbanism . Arhitectura. Constructii , 2004
- [82] Popa,V.,Georgescu,D., Noi reglementări pentru beton(producere, proiectare, execuție).
- [84] Proceedings of the international symposium on high performance concrete before setting,

Sherbrook, Canada , 1998.

- [85] Răpișcă, P., Florea, N., Aspecte ale degradării betonului armat, Ed. Cermi, 2003.
- [90] Solacolu, C. și Vasiliu, A., Viteza coroziunii sulfatice a mortarelor și betoanelor de ciment în funcție de nivelul apei agresive, Sesiunea de comunicări INCERC, București, 1971.
- [92] Steopoe, A., Durabilitatea betonului, Editura Tehnică, București, 1968.
- [95] Taylor, H.F.W., Cement Chemistry, Academic Press, London, UK, 1990.
- [96] Teodoreanu, I., Moldovan, V., Georgescu, M., Munteanu, M., Puri, A., Bazele fizico + chimice ale întăririi lianților anorganici, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1972.
- [99] Terec, L., Syilagzi, H., Beton autocompactant-caracteristici și durabilitate, SELC, Ed. XVII-a, Neptun, oct. 2005.
- [101] Tologea, Sebastian, Probleme privind patologia construcțiilor, Ed. Tehnica, București, 1975.
- [103] Vasiliu, A., Popescu, E., Solacolu, C., Teodorescu, D., Agresivitatea naturală pe teritoriul României, Centrul de documentare pentru construcții, arhitectura și sistematizare, Redacția publicațiilor pentru construcții, 1973
- [109] *** CP 012/1-2007, Cod de practică pentru producerea betonului, Editura Standardizarea , Editia 1 , 2008
- [110] *** EN 206-1: 2000, Concrete- Part.1: Specification, Performance, Production and Conformity.
- [111] *** Fișă tehnică ciment III A42,5N-LH, Lafarge(Ciment) România
- [112] *** Master Plan- Protecția și reabilitarea zonei costiere, 2012.
- [115] *** NE 012-2/2007: Normativ pentru producerea betonului și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat.
- [117] *** SR EN 12350-10: 2010-Încercări pe beton proaspăt. Partea 10. Beton autocompactant. Metoda de determinare a capacității de curgere utilizând cutia L.
- [118] *** SR EN 12350-11:2010-Încercări pe beton proaspăt . Partea 11. Beton autocompactant. Metoda de determinare a rezistenței la segregare utilizând site.
- [119] *** SR EN 12350-12:2010, Încercări pe beton proaspăt. Partea 12 : Beton autocompactant. Metoda de determinare a capacității de curgere cu inelul J.
- [120] *** SR EN 12350-9:2010-Încercări pe beton proaspăt, Partea 9: Beton autocompactant.

Metoda de determinare a timpului de curgere cu pâlnia V.

- [122] *** SR EN 12390-2:2009, Beton. Partea 1: Specificație, performanță, producție și conformitate.
- [123] *** SR EN 12390-8:2009, Încercări pe beton întărit, Partea 8: Adâncimea de pătrundere a apei sub presiune.
- [125] *** SR EN 12620+A1:2008, Agregate pentru beton.
- [126] *** SR EN 13623-1+A1:2009, Silice ultrafină pentru beton-Partea 1: Definiție, condiții și criteria de conformitate.
- [129] *** SR EN 197-1:2002/A3: 2007 Ciment. Partea 1 : Compoziție, specificații și criteria de conformitate ale cimenturilor uzuale.
- [132] *** BIBM, CEMBUREAU, ERMCO, EFCA, EFNARC-The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specification, Production and Use, may 2005.
- [134] *** NE013/2002: Cod de practică pentru executia elementelor de beton, beton armat și beton precomprimat.
- [135] *** Recomandarile companiei Basf Construction Chemicals- Fise tehnice aditiv Glenium 115, Glenium Sky 617.
- [114] *** SR EN 12350-8:2010-Încercări pe beton proaspăt. Partea 8: Beton autocompactant. Tasare-Încercarea la răspândire.
- [137] *** SR EN 12390-1:2013, Încercări pe beton întărit. Partea 1: Formă, dimensiuni și alte condiții pentru epruvete și tipare.
- [138] *** SR EN 13510:2006-Beton. Partea 1: Specificație, performanță, producție și conformitate. Document național de aplicare a SR EN 206-1.
- [139] *** SR EN 5440-2008. Betoane de ciment. Verificare reacție alcalii-agregat

- [141] *** <http://en.wikipedia.org>
- [142] *** http://www.prefectura-ct.ro/judetul-constanta/prezentare/geografia_judetului
- [143] *** www.lafarge.com
- [144] *** www.quickiwiki.com

