

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PENTRU DETERMINAREA NIVELURILOR DE PERFORMANȚĂ ALE MATERIALELOR DE REPARAȚIE A BETONULUI

EXPERIMENTAL RESEARCH FOR THE DETERMINATION OF THE LEVELS OF PERFORMANCE OF MATERIALS FOR CONCRETE REPAIR

TIBERIU PASCU*, DAN GEORGESCU

Universitatea Tehnică de Construcții București, B-dul Lacul Tei, nr. 124, CP 020396, București, România

Determinarea nivelurilor de performanță ale materialelor de reparație a betonului trebuie să se bazeze pe cercetarea experimentală. Aceasta trebuie să urmărească, pe de o parte, testarea individuală a proprietăților diverselor materiale de reparație a betonului și, pe de altă parte, testarea proprietăților sistemelor de reparație a betonului, alcătuite din materialele individuale anterior testate, în special în cazul unor aplicații particulare. În lucrare se prezintă în special metodele de încercare a sistemului și rezultatele cercetărilor experimentale efectuate.

Determination of performance of materials for repairing of concrete must be based on experimental research. It should, on the one hand, individual testing of the properties of the various materials for repairing of concrete and, on the other hand, testing the properties of concrete repair systems, made up of individual materials previously tested, especially in the case of specific applications. This paper presents in particular the test methods and results of experimental researches carried out.

Keywords: concrete, repair systems, test methods .

1. Introducere

Betonul și armătura din structurile de beton simplu și de beton armat pot fi degradate de diverși factori exteriori [1].

Asupra betonului întărit degradările pot fi produse, în principal, de factori chimici, mecanici și fizici.

Degradarea armăturilor se produce mai mult din cauze chimice și mai puțin de natură fizică sau mecanică.

Degradările din elementele de beton și beton armat se pot repara local fie prin utilizarea unui singur tip de material de reparație, fie prin utilizarea unor sisteme de reparație.

Materialele și/sau sistemele de reparație a betonului trebuie să îndeplinească simultan o serie de cerințe principale care să asigure eficiența și durabilitatea reparațiilor executate.

De cele mai multe ori încercările se efectuează pe fiecare dintre materialele componente ale sistemelor de reparație.

Prezentul articol constituie o abordare originală a determinării eficienței sistemelor de reparație, menită să creeze o imagine de ansamblu asupra nivelurilor de performanță a soluțiilor de reparație.

1. Introduction

Concrete and reinforcement of concrete structures can suffer a process of decay produced by various external factors, the main being chemical, mechanical and physical [1].

The reinforcement decay has mainly chemical causes and less physical or mechanical causes.

Local degradations of concrete and reinforced concrete elements can be repaired using a single type of repair material or a repairing system.

The materials and/or repairing systems must meet a number of main requirements to ensure the efficiency and durability of the repairs performed.

In most cases tests are performed on each component material of the repair systems.

The present paper is an original tackling on determining the efficiency of the repair systems aimed to show an overall image on the repair systems performance levels.

2. Experimental research

2.1 Standards for repair products

Experimental researches establishing the levels of performance of materials based on the requirements of European standards series

* Autor corespondent/Corresponding author,
E-mail: tiberiu_pascu@utcb.ro

2. Cercetări experimentale

2.1. Standarde pentru produse de reparație

Cercetările experimentale pentru stabilirea nivelurilor de performanță ale materialelor au ca bază prevederile din seria de standarde europene EN 1504: *Produse și sisteme pentru protecția și repararea structurilor de beton*. Seria de standarde EN 1504 este împărțită în zece părți [2]..[11] și acoperă teoretic toate etapele proceselor de protecție și/sau reparație, de la proiectare până la controlul execuției.

2.2. Program de cercetare

Programul de cercetare experimentală a urmărit testarea proprietăților sistemelor de reparație a betonului. Sistemele de reparație utilizate sunt de tip PCC, alcătuite din mortare pe bază de ciment tip CEM I 42,5 R și polimeri [12]. În cadrul programului de încercări au fost vizate, în mod special, sistemele de reparare și protecție a elementelor componente din structurile de beton armat: plăci, stâlpi, grinzi, pereți etc.

În cadrul testelor s-au folosit elemente existente de beton (cuburi, prisme etc.). Toate aceste elemente au fost produse din aceeași șarjă, au rezultat cu proprietăți identice, fiind păstrate în condițiile standard de laborator pentru o perioadă de cel puțin 28 de zile.

2.2.1 Testarea sistemului

Testele de laborator efectuate pe sistemul de reparație au urmărit să scoată în evidență anumite caracteristici ale acestuia. Testele și încercările care au fost făcute pe sistem sunt:

- Protecția armăturilor – prisme de 115x150x280 mm din beton.
- Determinarea rezistenței la compresiune (f_c) [13] – cuburi de 150 mm.
- Permeabilitate [14]– materialul aplicat pe cuburi de beton cu latura de 150 mm.

- Aderanța la suport [15]– materialul aplicat pe cuburi de beton cu latura de 150 mm.

i) Pentru determinarea nivelului de protecție a armăturilor înglobate în sistemul de reparație s-au utilizat șase (6) prisme de beton (fig. 1), în care sau introdus bare de armătură și care au fost pregătite astfel:

- prisma martor, realizată integral din beton, la care armăturile au fost introduse în tipar înainte de turnarea betonului;

- cinci (5) prisme din beton simplu, care au fost sparte, re poziționate în tipar, montate armăturile și apoi a fost aplicat, în straturi, sistemul de reparație tip PCC (fig. 2), similar cazului unei reparații locale. Sistemul este alcătuit din straturi succesive de mortare de reparație cu granulație din ce în ce mai mică, în funcție de grosimea fiecărui strat aplicat. Pentru asigurarea aderenței pe suprafața existentă de beton și pentru protecția armăturilor s-a aplicat o amorsă dintr-un mortar monocomponent.

EN 1504: *Products and systems for the repair and protection of concrete structures*. The series of standards EN 1504 is divided into ten parts [2]..[11] and covers virtually all stages of protection and/or repair processes, from design to control execution.

2.2. Research programme

The experimental research program was aimed at testing the properties of concrete repair systems. The repair systems are PCC [2] type, made by cement mortars with CEM I 42.5 R cement and polymers [12]. Within the programme of tests have been targeted, in particular, systems for the protection and repair of components in reinforced concrete structures: slabs, columns, beams, walls etc.

Trials have used existing concrete elements (cubes, prisms, etc.). All these elements were produced from the same batch, and resulted with identical properties, being kept in standard laboratory conditions, for a period of at least 28 days.

2.2.1 System testing

Laboratory tests conducted to assess the reparation system characteristics have been each aiming to highlight certain features. The tests that have been made on the system are:

- Protection of rebar – prisms 115x150x280 mm made of concrete.
- Determination of resistance to compression (f_c) [13]– cubes of 150 mm.
- Permeability [14] – material applied on concrete cubes with 150 mm side.
- Bond strength to support by pull-off [15] – material applied on concrete cubes with 150 mm side.

i) To determine the extent of protection of reinforcement integrated in the repair, we used six (6) concrete prisms (Fig. 1), in which the reinforcing bars were introduced and which were prepared as follows:

- one control prism of reinforced concrete with two reinforcing bars, cast-in-place;

- five (5) prisms, cast-in-place; then the upper part of the prism was broken, repositioned in formwork, the reinforcing bars were placed and then was applied, in layers, the PCC repair system (Fig. 2), similar to the case of a local repair. The system is composed of successive layers of the repair mortar with grain becoming smaller and smaller, depending on the thickness of each coat. To ensure adherence to the surface of the existing concrete and reinforcement protection was applied a primer of a monocomponent mortar.

- The distance from the upper part to the reinforcing bars was the same for all six prisms.

- A waterproof plastic tank was attached on the upper face of the prisms [16].



Fig. 1 – Prisme de beton cu armături înglobate / Concrete prisms with embedded reinforcing bars.

- Distanța de la fața superioară a prismelor la armături a fost aceeași pentru toate cele șase prisme.

- Prismelor li s-a atașat pe fața superioară o cuvă etanșă, din material plastic [16].

- După întărirea betonului și a sistemului de reparație cele șase prisme au fost decofrate, iar patru dintre ele au fost tratate pe toată suprafața cu un material de impermeabilizare prin cristalizare pentru a reduce la minim schimbul cu mediul înconjurător. Cele patru prisme tratate au fost: prisma martor și trei prisme având sistemul de reparație. Materialul de impermeabilizare nu a fost aplicat în interiorul cuvei etanșe. Două din cele cinci prisme cărora li s-a aplicat sistemul de reparație nu au fost protejate cu materialul impermeabilizator, păstrându-se pe post de martori în comparație cu celelalte trei protejate.

Testarea protecției armăturilor s-a făcut astfel:

- în cuvele special amenajate s-a turnat soluție salină care a fost menținută șapte (7) zile;

- după șapte zile cuvele au fost golite și s-au păstrat astfel încă 7 zile;

- aceste cicluri au fost repetate alternant pentru o perioadă de patru luni;

- au rezultat opt (8) perioade de șapte zile în care prismele au fost menținute cu soluție salină și opt (8) perioade de șapte zile de uscare;

- la finalul celor 4 luni prismele au fost sparte și s-a verificat starea armăturilor, dacă acestea prezintă urme de coroziune (fig. 3).

Imediat după spargere a fost verificat și nivelul de carbonatare prin stropire cu soluție de fenolftaleină.

Rezultatele vizuale obținute au arătat o bună protecție a sistemului de reparație asupra armăturilor. Rezultatele sunt sintetizate mai jos:

- cele două prisme, neprotejate cu materialul de impermeabilizare: armături cu puncte izolate de rugină și sistemul de reparație slab carbonatat;

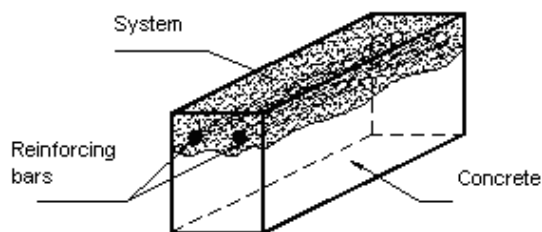


Fig. 2 – Prisme "reparate" cu sistemul de reparație / Prisms "repaired" with the system for the repair.

- After the setting of the concrete and of the repairing system, the forms for all six prisms were taken away. Then, the surface of four prisms was treated with a waterproofing coating based on crystallization process to reduce to a minimum the exchange with the environment. The four prisms treated were: the control prism and three with the repair system. The waterproofing material has not been used inside the container. Two of the five prisms with the repair system were not protected with the waterproofing material and were kept as a witness.

The testing of reinforcement corrosion protection was done as follows:

- in special containers was poured saline solution which maintained on seven (7) days;

- after seven days, the containers were emptied and have been preserved as such for 7 days;

- these cycles were alternated repeatedly for a period of four months;

- resulted eight (8) periods of seven days in which the prisms were maintained with saline solution and eight (8) periods of seven days of drying;

- at the end of those 4 months the prisms were broken and checked if the reinforcing bars show traces of corrosion (Fig. 3).

Immediately after the break the level of carbonatation of concrete was checked by spraying with phenolphthalein solution.

Visual results obtained showed a good protection of reinforcement by the repair system.



Fig. 3 – Spargerea prismelor pentru verificarea stării armăturilor / Breaking the prisms for visual inspection of the reinforced bars.

- cele trei prisme, protejate cu materialul impermeabilizator: armături cu puncte izolate de rugină și sistemul de reparație necarbonat.

ii) Pe cuburile de beton sistemul de reparație a fost aplicat în două grosimi diferite, variantele de grosimi minime și maxime prevăzute în fișa sistemului. Cuburile de beton au fost "rupte" prin despicare în două părți: una cu înălțimea de aproximativ 50 mm, cealaltă rezultând cu înălțimea de 100 mm, adică diferența până la 150 mm. Aceste părți au fost introduse în matrițele cuburilor de 150 mm și a fost aplicat, în straturi succesive, sistemul de reparație, rezultând:

iii)

- 6 cuburi ~50 mm beton (fig. 4) și ~100 mm sistem, notate cu seria 15, **S15** (fig. 6 a);



Fig. 4 – Cub spart – 50 mm beton – seria S15 / Broken cube – 50 mm of concrete – series S15.



Fig. 5 – Cub spart – 100 mm beton – seria S16 / Broken cube – 100 mm of concrete – series S16

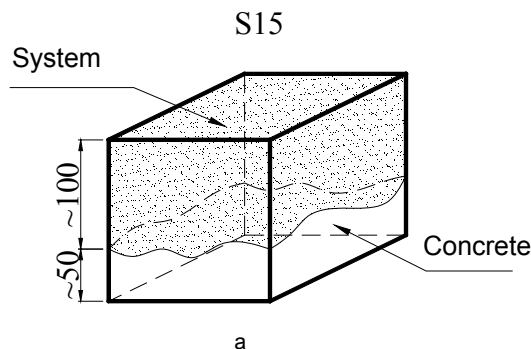
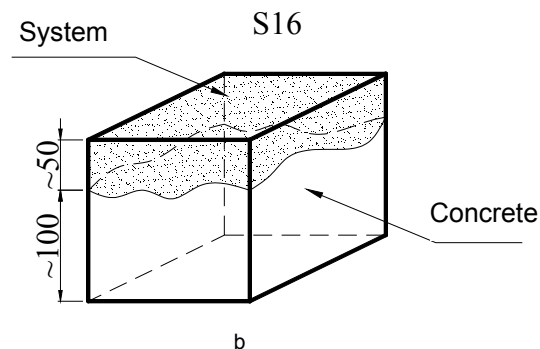


Fig. 6 – Sistem de reparație. Seriile S15 și S16 / Repair system. Series S15 and S16.



- 6 cuburi ~100 mm beton (fig. 5) și ~50 mm sistem, notate cu seria 16, **S16** (fig. 6 b).

În toate cazurile sistemul de reparație a fost aplicat pe suprafețele existente de beton, iar stratul suport a fost pregătit conform instrucțiunilor din fișa tehnică prin curățare, periere, umezire și aplicarea, în prealabil, a unei amorse (fig. 4).

Determinările au fost efectuate la 28 zile, comportarea la vârste mai mari nu a fost tratată în acest studiu.

În tabelul 1 sunt prezentate rezultatele obținute în laborator pentru seriile S15 și S16.

The results are summarized below:

- for the two prisms, unprotected with waterproofing material: reinforcing bars with isolated points of rust and repair system with low carbonation;

- for the three prisms, protected with waterproofing material: reinforcing bars with isolated points of rust and repair system with no carbonation.

ii) On concrete cubes, the repair system was applied in two different thicknesses, the minimum and maximum thickness in product specification. Concrete cubes were "broken" by splitting them in two parts: one with a height of approximately 50 mm, the other resulting with a height of 100 mm,

i.e. the difference up to 150 mm. These broken parties were placed in the formworks of 150 mm cubes and the system repair was applied in successive layers, resulting in:

iii)

- 6 cubes ~50 mm concrete (Fig. 4) and ~100 mm system repair, marked down with series 15, **S15** (Fig. 6 a);

- 6 cubes ~100 mm concrete (Fig. 5) and ~50 mm system repair, marked down with series 16, **S16** (Fig. 6 b).

In all cases the repair system was applied to the existing concrete surface, and the support has

Tabelul 1

Rezultate pentru seriile S15 și S16 / Results for series S15 and S16

	f_c 150 mm ⁽²⁾	Perm. 5 atm ⁽³⁾	Ader.i. ⁽⁴⁾	Ader.f. ⁽⁵⁾
Rezultate / Results ⁽¹⁾	[N/mm ²]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
Series S15 (50C+100S)	31.54	9.33	2.17	2.17
Series S16 (100C+50S)	29.98	9.67	2.52	1.33

Obs:

- (1) Este prezentată media rezultatelor obținute. / The average of the results obtained is presented.
- (2) Rezistența la compresiune pe cubul inițial de beton a fost de 32,29 N/mm² (aceasta reprezintă rezistența elementului din beton la care se va aplica sistemul). / Resistance to compression on the original concrete cube was 32.29 N/mm² (this represents the strength of concrete element to which it will apply the system).
- (3) Permeabilitate – Sunt prezentate doar rezultatele la 5 atm.; la 1,5 atm. nivelul de penetrare a fost practic nul. Nivelul mediu de penetrare a apei în cuburile inițiale de beton a fost de 22 mm. / Permeability – Only the results at 5 atm. are presented; at 1.5 atm the penetration was virtually null. The average level of penetration of water into the original concrete cubes was 22 mm.
- (4) Aderența / Bond strenght to support.
- (5) Aderența după cicluri de îngheț-dezghet. / Bond strenght to support by pull-off after freezing-thaw cycles.

Rezultatele prezentate în tabelul 1 precum și rezultatele de ordin calitativ privind starea armăturilor după ce prismele au fost supuse unor cicluri de umezire-uscarea cu soluție salină pot caracteriza sistemul de reparație/protecție și eficiența acestuia.

3. Concluzii

3.1 Programul de cercetare experimentală necesar stabilirii unor niveluri de performanță a materialelor de reparație și protecție a betonului trebuie să urmărească în mod obligatoriu testarea individuală a proprietăților în conformitate cu standardele europene specifice.

3.2 Testarea în ansamblu a proprietăților sistemelor de reparație a betonului, alcătuite din materialele individuale testate inițial în conformitate cu standardele europene specifice trebuie să se efectueze pe baza unor programe de cercetare experimentală întocmite în funcție de utilizarea preconizată/recomandată a materialelor dar și a performanțelor inițiale ale elementelor din beton armat la care se va aplica sistemul.

În acest caz criteriile trebuie să urmărească compararea performanțelor de rezistență și durabilitate ale sistemului cu cele inițiale ale elementului din beton armat. Prin aceasta se poate aprecia mult mai bine eficiența sistemului pentru o aplicație particulară. Rezultatele cercetărilor experimentale prezentate în această lucrare arată că nivelurile de performanță ale sistemului de reparație au fost similare cu cele ale betonului care a necesitat reparația pentru ambele sisteme testate.

3.3 Metodele de testare a sistemului au scos în evidență importanța practică a acestei noi abordări a stabilirii nivelelor de performanță a materialelor de protecție și reparație a elementelor din beton armat.

REFERENCES

1. ACI 364.1R – Guide for Evaluation of Concrete Structures prior to Rehabilitation
2. EN 1504 – Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Definitions - Requirements - Quality control and evaluation of conformity EN 1504-1 – Part 1: Definitions.

been prepared according to the instructions in the product specification, by cleaning, brushing, wetting and applying in advance of a primer (Fig. 4).

Measurements were made at 28 days, the behavior at older ages was not trated in this study.

The results presented in Table 1 and the qualitative results related to the condition of the reinforcing bars after wetting and drying cycles with saline solution of prisms can characterize the system of repair/protection and its effectiveness.

3. Conclusions

3.1 Experimental research program needed to determine the levels of performance of materials for the repair and protection of concrete must be directed to the individual testing of the properties in accordance with European standards.

3.2 Testing as a whole the properties of repair systems for concrete, made up of individual materials originally tested in accordance with specific European standards should be carried out on the basis of experimental research programs drawn up according to the use intended or recommended of materials but also the initial performance of the reinforced concrete elements to which it will apply the system.

In this case the criteria must track performance the comparison of the strength and durability of the system to the initial element of reinforced concrete. This can be much better appreciate the effectiveness of the system for a particular application.

The experimental research results presented in this paper show that performance levels of the repair systems are similar with those of the repaired concrete for both tested systems.

3.3 Test methods of the system have highlighted the importance of this new approach in determining the levels of performance of materials for protection and repairing of reinforced concrete.



3. EN 1504-2 – Part 2: Surface protection systems for concrete.
4. EN 1504-3 – Part 3: Structural and non-structural repair.
5. EN 1504-4 – Part 4: Structural bonding.
6. EN 1504-5 – Part 5: Concrete injection
7. EN 1504-6 – Part 6: Anchoring of reinforcing steel bar
8. EN 1504-7 – Part 7: Reinforcement Corrosion Protection.
9. EN 1504-8 – Part 8: Quality control and evaluation of conformity.
10. EN 1504-9 Part 9: General principles for the use of products and systems
11. EN 1504-10 – Part 10: Site application of products and systems, and quality control of the works
12. Technical data sheet - Ceresit CD and CR products and systems for the protection and repair of concrete, Henkel Building system
13. SR EN 12190 – Produse și sisteme pentru protecția și repararea structurilor din beton. Metode de încercări. Determinarea rezistenței la compresiune a mortarului de reparații. / Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Determination of compressive strength of repair mortar.
14. SR EN 12390-8:2009 , Testing hardened concrete. Part 8: Depth of penetration of water under pressure.
15. SR EN 1542, Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Measurement of bond strength by pull-off.
16. Dorinel Voinițchi, Sylvie Lorente, Simone Juliens, Chloride binding in cementitious materials, Romanian Journal of Materials, 2007, 37(1), 30.

MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE / SCIENTIFIC EVENTS



Concrete Solutions 2014, 5th International Conference on Concrete Repair

1st-3rd Sept. 2014 - Queen's University, Belfast, UK.

130 Papers, 35 Countries, over 300 Participants!

The conference themes are as follows:-

- Patch Repair
- Electrochemical Repair
- Strengthening Materials and techniques/Repair with Composites
- Surface Protection Methods and Materials
- Repair of Fire Damage
- NDT and Diagnosis of Problems
- Repair and Preservation of Heritage Structures, Roman cement.
- Service Life Modelling
- Whole Life Costing
- Risk Management
- Case Studies

The Conference is supported by the following organisations; Queen's University, Belfast, TU Dresden, INSA Rennes, The University of Padova, , The Concrete Society UK and The Institute of Concrete Technology, RILEM and the American Concrete Institute.

Contact: <http://www.concrete-solutions.info/>
