

COMPORTAREA BETOANELOR DE CIMENT CONFEȚIONATE CU MATERIALE RECICLATE, DESTINATE STRUCTURILOR RUTIERE RIGIDE AEROPORTUARE

THE BEHAVIOR OF CEMENT CONCRETE MADE WITH RECYCLED MATERIALS FOR AIRPORT RIGID PAVEMENTS

RADU COJOCARU, RADU ANDREI, MARIUS MUSCALU, NICOLAE ȚĂRANU*,
MIHAI BUDESCU, IRINA LUNGU

Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași, B-dul. Mangeron nr. 43, Iași 700050, România

Betoanele de ciment concasate obținute în urma reabilitărilor de drumuri și aeroporturi sunt ineficient utilizate în prezent în construcția structurilor rutiere și aeroportuare. Înglobarea lor ca agregate reciclate în noua structură rutieră este condiționată de cunoașterea performanțelor mecanice necesare procesului de proiectare.

În această privință, în cadrul programului experimental au fost analizate două tipuri de beton de ciment și anume beton de ciment rutier și respectiv beton de ciment compactat cu cilindru compactor, având în compoziție diferite procente de agregate reciclate. De asemenea, pentru îmbunătățirea comportării în exploatare s-a luat în considerare armarea dispersă a acestora cu fibre de oțel reciclate.

Lucrarea prezintă rezultatele unui program experimental din care s-a constatat că sunt satisfăcute condițiile normelor în vigoare privind caracteristicile de rezistență ale betoanelor de ciment studiate dar cu valori ale caracteristicilor de rigiditate diferite de cele existente în prezent în diagramele de dimensionare.

În consecință, implementarea betoanelor de ciment confecționate cu materiale reciclate pentru structuri rutiere aeroportuare poate fi realizată numai cu condiția de a adapta metodele de dimensionare actuale, astfel încât să fie acoperită o gamă largită a parametrilor de calcul.

Lucrarea prezintă cercetările de laborator ale acestor noi materiale și, pe baza rezultatelor, propune luarea în considerare a unei game largite pentru modulii de elasticitate în scopul utilizării lor în procesul de dimensionare structurală a îmbrăcămintelor rigide aeroportuare.

The crushed cement concrete obtained as a result of rehabilitation of road and airport pavements is actually inefficiently used in road and airport construction. To integrate this recycled aggregate in the new pavement structure it was necessary to know its mechanical performance and to consider it in the structural design process.

In these respect, two types of cement concrete, namely plain cement concrete and roller compacted concrete, having in their composition different percentages of recycled aggregates have been used in the experimental program. Also disperse reinforcement with recycled steel fibres has been considered, in order to improve the pavement behaviour during exploitation.

This paper presents the results of an experimental program in which it has been found that the requirements of the present design standards concerning the strength characteristics of these new materials are fulfilled but with rigidity characteristics different than those found in the existing design diagrams.

Therefore implementation of these cement concretes made with recycled materials for airport pavements can be achieved only with the condition to adapt the actual structural design methods, such as to cover the extended range calculation parameters.

The paper deals with the laboratory research of these new materials and based on these results proposes to take into account a larger range of elasticity modulus values, in order to use them in the process of structural design of airport rigid pavements.

Keywords: plain cement concrete, recycled materials, mechanical performances, rigid airport pavements structures, structural design

1. Introducere

Datorită evoluției principalelor caracteristici ale traficului rutier (sarcini pe osii, debite de circulație), se cunoaște o intensificare a activităților de modernizare sau reabilitare atât a rețelei rutiere publice, cât și a structurilor rutiere aeroportuare, din țara noastră. Preocuparea pentru extinderea transporturilor aeriene necesită stabilirea unei strategii de dezvoltare, care să cuprindă toate aspectele legate de perspectiva dezvoltării [1]: modernizarea și extinderea rețelei de aeroporturi/modernizarea infrastructurii aeriene/impactul transporturilor asupra mediului. De asemenea, trecerea la noi tipuri de avioane (creșterea încărcării pe osie și noi geometrii ale

1. Introduction

Due to the evolution of the main parameters of road traffic (axle load, traffic rate), an increase in the modernization and rehabilitation both, the public roads network and airport pavement structures in our country can be noticed. The concern for the expansion of air transportation requires the establishment of a development strategy that would comprehend all the aspects of development perspective [1]: the modernization and expansion of airports network, the modernization of flight infrastructure and assessment of the impact of transports on the environment. Also, the use of new types of airplanes with increased axle loads and new

* Autor corespondent/Corresponding author,
Tel. . +40 232 23 22 19, e-mail: taranu@tuiasi.ro

aterizoarelor), a condus la necesitatea realizării unor piste cu lungimi sporite, iar la unele piste aeroportuare, datorită duratei de viață reziduale reduse este necesară ranforsarea/reabilitarea lor [2]. Astfel, pentru asigurarea încadrării în conceptul dezvoltării durabile, unul din obiectivele principale ale planului de dezvoltare al rețelei rutiere Europene, îl constituie preocuparea permanentă pentru găsirea de noi soluții tehnologice, dar și dezvoltarea unor noi principii de proiectare și dimensionare a structurilor rutiere și aeroportuare.

Urmând conceptele prezentate anterior, programul de cercetare a optat pentru studiul dezvoltării structurilor rutiere aeroportuare rigide, avându-se în vedere perioada extinsă de exploatare și potențialul ridicat de reciclare a dalelor din beton de ciment.

În urma procesului de modernizare și reabilitare a drumurilor și a pistelor aeroportuare rezultă cantități importante de materiale cum ar fi betoane de ciment sub formă de dale din alcătuirea vechii structuri, inutilizabile în prezent. În cadrul lucrării se prezintă posibilitatea înglobării acestor betoane reciclabile în noile structuri rutiere aeroportuare și se descriu performanțele mecanice ale diferitelor tipuri de betoane studiate.

Agregatele reciclate (AR) se obțin prin concasarea betoanelor de ciment [3] din demolarea clădirilor sau a structurilor rutiere existente și utilizarea lor poate conduce la economii semnificative aferente transportului agregatelor naturale (AN) [4]. Astfel, agregatele reciclate pot reprezenta o alternativă viabilă la agregatele naturale în realizarea structurilor rutiere rigide considerate ca având totodată și un impact ecologic redus, datorită atât reducerii semnificative a volumului de deșeuri [5] rezultate din demolarea construcțiilor existente, cât și datorită diminuării exploatărilor de agregate naturale [6].

Armarea dispersă a betoanelor rutiere, cu fibre de oțel reciclate (FOR) [7], reprezintă o soluție tehnică adecvată unui control riguros al fisurilor, rezultând astfel o creștere a rezistenței la întindere a elementelor din beton construite. Alte avantaje rezultă din reducerea permeabilității și creșterea rezistenței la îngheț-dezghet. Fibrele sunt obținute în cadrul procesului de reciclare a anvelopelor uzate și tratate ca deșeuri, iar prin utilizare la confecționarea betonului de ciment rutier, pot conduce la realizarea de economii prin reducerea grosimii stratului realizat.

2. Materiale și program experimental

2.1. Agregate naturale și agregate reciclate

Agregatele naturale utilizate în cadrul experimentării au fost nisipul de concasare și criblurile din sursa Benari Negev, sortate în clasele granulometrice 0-4mm, 4-8mm, 8-16mm și 16-25mm.

Agregatele reciclate au fost obținute prin

landing gear geometry, led to the necessity of building longer airport tracks and the rehabilitation of the existing ones [2]. With the aim of framing the road network development strategy in the concept of durable development, one of the actual main objectives in the European Union is the preoccupation for developing new technological solutions, but also new design principles must be adopted.

Following the above mentioned principles, our research programme has opted to study the development of rigid pavement structures, taking into consideration their extended exploitation life cycle and the recycling potential of cement concrete slabs. At present, important amounts of materials, such as cement concrete in the form of concrete slabs, resulted as an outcome of the rehabilitation process from the old airport and road pavements are often unused.

This research presents the possibility of including these recyclable concretes in the construction of new airport pavement structures and describes their mechanical parameters.

Recycled aggregates (RA) represent a viable alternative to natural aggregates (NA) [3] in the construction of rigid road structures having a low ecological impact due to the significant reduction of construction and demolition wastes [4] as well to the decrease of natural aggregates exploitation. Recycled aggregates can be obtained through the recycling of cement concretes [5] from demolished buildings or existing rigid pavements and can lead to significant savings from reducing the transport of natural aggregates [6].

The disperse reinforcement of plain cement concrete with recycled steel fibers (RSF) [7] represents an adequate technical solution for a rigorous control of cracks, thus resulting in an increase of tension strength of the constructed elements. Other benefits result from the reduction of the permeability and the increase of the strength to frost-defrost cycles. The steel fibers are obtained through the recycling process of post-consumed wasted tires, and, by their usage in the manufacturing of the concrete, cost savings can be achieved through the reduction in thickness of the constructed layer.

2. Materials and experimental programme

2.1. Natural aggregates and recycled aggregates

The natural aggregates used in the experiments consists of crushed sand and chippings from the Benari Negev quarry classified in the 0-4mm, 4-8mm, 8-16mm and 16-25mm particle size classes.

The recycled aggregates have been obtained by crushing (Fig. 1b) of recycled cement concrete (Fig. 1a) followed by a sorting procedure in the same four elementary particle size classes (Fig. 1c).

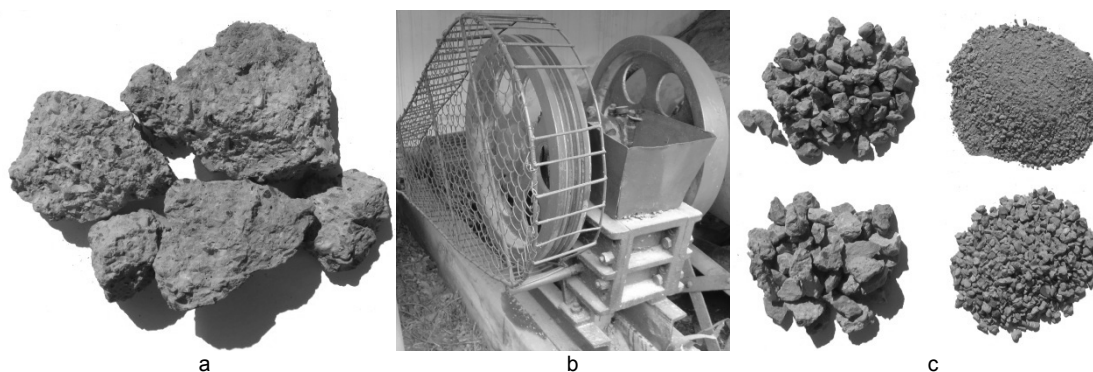


Fig. 1 – Reciclarea betonului de ciment / The cement concrete recycling: (a) - beton de ciment spart / crushed cement concrete; (b) - concasorul cu fălci / the jaw crusher; (c) - AR sortate / sorted RA.

Tabelul 1

Caracteristicile de performanță ale AN și AR / NA and RA performance characteristics

Tip agregat Aggregate type	Clasă granulometrică Particle size class (mm)	Uzură Los Angeles Los Angeles wear (%)	Uzură microDeval microDeval wear (%)	Densitate Density (Kg/m ³)	Absorbție apă Water absorption (%)
AN / NA	4-8	14.3	-	2881	1.8
	8-16	11.2	8.3	2882	1.7
AR / RA	4-8	24.3	-	2342	5.7
	8-16	26.0	18.3	2403	4.4

concasarea (fig. 1b) de beton de ciment spart (fig. 1a) și sortate, de asemenea, în aceleași patru clase granulometrice elementare (fig. 1c).

Tabelul 1 prezintă principalele caracteristici de performanță ale agregatelor naturale și reciclate studiate [8]. După cum se poate observa, AR prezintă performanțe reduse, în comparație cu AN, cu privire la coeficienții de uzură Los Angeles și microDeval, densitate și absorbție de apă.

2.2. Fibre de oțel reciclate

Fibrele de oțel investigate sunt obținute la reciclarea anvelopelor uzate prin procedeul de sfâșiere mecanică. Metoda presupune reducerea (fig. 2a), în mai multe etape, a anvelopelor uzate în fărâme de cauciuc și fibre (fig. 2b) [9]. Apoi, în etapa finală, se separă granulele de cauciuc (fig. 2c) de fibrele de oțel (fig. 2d), prin procese de cernere și extragere cu câmpuri magnetice. Spre deosebire de fibrele indigene, care dețin lungimi și grosimi constante, lungimile fibrelor reciclate variază între 5 și 25mm, iar grosimea de la 0,2 la 2mm.

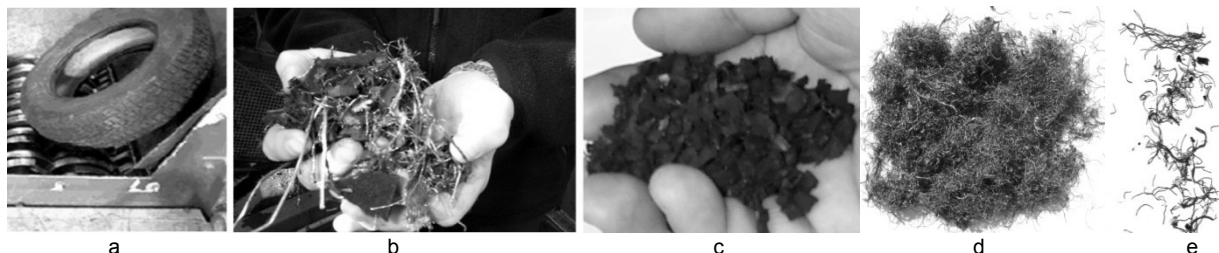


Fig. 2 – Tehnologia de obținere a fibrelor reciclate / The technology for obtaining of the recycled steel fibers: (a) - sfâșierea anvelopelor uzate / shredding of post-consumed tires; (b) - fărâme de anvelopă / tire shreds; (c) - cauciuc reciclat / recycled rubber; (d) – fibre de oțel reciclate / recycled steel fibers; (e) - fibre de oțel reciclate - detaliu / recycled steel fibers – detail.

Table 1 presents the main characteristics of the recycled/natural aggregates under investigation [8]. As it can be noticed, RA present lower performance parameters compared to NA regarding the Los Angeles and microDeval wear, density and water absorption.

2.2. Recycled steel fibres

The steel fibers studied in this research are resulted in the recycling process of used tires by mechanical shredding procedures. The method consist of the reduction, in several stages (Fig. 2a), of used tires into rubber crumbs and steel fibers (Fig. 2b) [9]. In the final stage, the rubber particles are separated from the steel fibers by sorting and extraction using magnetic methods. Unlike industrial steel fibers, which are of constant length and thickness, the length of the recycled steel fibers ranges from 5 to 25 mm and their thickness from 0.2 to 2 mm.

2.3. Beton de ciment compactat cu cilindru compactor

Betonul de ciment compactat cu cilindru compactor este cunoscut în literatura de specialitate sub denumirea *roller compacted concrete* (RCC). RCC a fost dezvoltat inițial din nevoia de construcție a drumurilor forestiere cu capacitate portantă ridicată, cu costuri reduse și cu darea în exploatare rapidă. Ulterior, avantajele RCC au demonstrat utilitatea lui în domeniul construcțiilor de baraje, străzi, acostamente pentru autostrăzi și parcări.

Avantajul principal al structurilor rutiere din RCC este acela că darea lor în exploatare se poate face imediat după așternere. Alte avantaje sunt: cost inițial de execuție inferior structurilor BcR; productivitate ridicată; capacitate portantă și durabilitate sporite; nu necesită realizarea și utilizarea de echipamente speciale [5].

În întâmpinarea principiilor de dezvoltare durabilă, implementate la nivelul Uniunii Europene, s-a propus investigarea caracteristicilor mecanice ale compozițiilor din RCC realizate cu AN, AN+AR și AN+AR+FOR. Pentru extinderea domeniului de utilizare a RCC, la confecționarea epruvetelor, s-au utilizat 3 tipuri de liant și anume: Doroport TB 25, CEM II BM S-LL 32.5R și CEM I 42.5R. Tabelul 2 prezintă compozițiile granulometrice adoptate pentru variantele RCC martor (100%AN) și RCC realizat cu 40%AR [10].

2.3. Rolled Compacted Concrete

Rolled compacted concrete, known in specialized literature as RCC, was first developed from the need of building forest roads with high bearing capacity, low costs and quick exploitation commissioning. Furthermore, the advantages of RCC demonstrated their utility in the field of dam constructions, streets, highway shoulders and parking spaces.

The main advantage of the RCC road structures consists of the fact that they can be used immediately after casting. Other advantages result from the lower initial construction cost compared to the PCC structures; higher productivity; increased bearing capacity and sustainability; also they don't require the development and use of special equipment [5].

In order to meet the principles of durable development implemented by the European Union, this research proposed the study of the mechanical characteristics of the RCC compositions, manufactured with NA, NA+RA and NA+RA+RSF. To expand the field of use for the RCC, three types of binder had been used in the manufacturing of the test specimens namely Doroport TB 25, CEM II BM S-LL 32.5R and CEM I 42.5R. Table 2 presents the grading curves of the adopted RCC compositions, namely the reference variant (100 % NA) and the 40 % RA manufactured RCC variant [10].

Tabelul 2

Compoziții granulometrice ale variantelor RCC / Adopted RCC granular mix compositions

Tip agregat Aggregate type	Curbă granulometrică / Grading curve sieve passing, (%)							Tip RCC / RCC type, (%)	
	0.20	0.63	20	2	4	8	16	100% AN 0% AR	60% AN 40% AR
0-4 Nisip natural <i>Natural sand</i>	17.60	67.30	73.60	82.90	96.50	100	100	35	35
0-4 Nisip concasaj <i>Crushed sand</i>	14.25	31.70	43.50	69.70	97.75	100	100	20	5
4-8 Criblură <i>Chippings</i>	1.20	1.80	2.20	4.05	17.05	96.85	100	25	10
8-16 Criblură <i>Chippings</i>	0.95	1.40	1.60	2.25	3.85	17.65	98.80	20	10
0-4 AR nisip <i>RA sand</i>	13.10	33.70	43.30	63.30	94.50	100	100	0	15
4-8 AR / RA	0.00	0.00	0.00	0.70	2.00	100	100	0	12.5
8-16 AR / RA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	7.70	99.40	0	12.5
Limite RCC <i>RCC limits</i>	9-30	20-40	27-47	38-55	44-65	72-90	95-100		

2.4. Beton de ciment rutier

În România, structurile din beton de ciment rutier (BcR) sunt cele mai reprezentative din categoria structurilor rutiere rigide. În vederea încurajării construcției de structuri rutiere din BcR cu impact ecologic redus, programul de cercetare a realizat un studiu, în condiții de laborator, în vederea evaluării comportării epruvetelor din BcR realizate cu AN, AR și FOR în diverse variante.

Tabelul 3 prezintă tipurile de materiale și variantele de compoziții ale BcR adoptate pentru investigare

2.4. Plain cement concrete

The plain cement concrete structures (PCC) are the most representative among the rigid pavements in Romania. To encourage the construction of PCC pavement structures with low environmental impact, this research programme has developed a laboratory study in order to evaluate the behavior of PCC test specimens manufactured with NA, RA and RSF in various variants. Table 3 presents the types of the materials and the adopted PCC composition variants for this study.

Tabelul 3

Cantitățile de materiale și variantele de amestec adoptate pentru compozițiile BcR
Material dosage and mixing alternatives adopted for PCC compositions

Tip material Material type	Varianta BcR / PCC variant				
	BcR 1 / PCC 1	BcR 2 / PCC 2	BcR 3 / PCC 3	BcR 4 / PCC 4	BcR 5 / PCC 5
	100%AN	60%AN 40%AR	60%AN 40%AR	60%AN 40%AR	57%AN 40%AR 3%FR
0-4 nisip concasare Crushed sand, (%)	45	32.5	12.5	45	45
4-8 criblură Chippings, (%)	15	7.5	10	15	15
8-16 criblură / Chippings, (%)	25	10	22.5	0	0
16-25 criblură / Chippings, (%)	15	10	15	0	0
0-4 nisip AR / RA Sand, (%)	0	15	30	0	0
4-8 AR / RA, (%)	0	7.5	10	0	0
8-16 AR / RA, (%)	0	12.5	0	25	25
16-25 AR / RA, (%)	0	5	0	15	15
CEM I 42.5R, (kg/m ³)	330				
RheoBuild, (L/m ³)	2.31				
microAir, (L/m ³)	0.66	0.33			
Apă / Water, (L/m ³)	145.5	158.7	165.3	155.4	155.4

La realizarea compozițiilor BcR, s-au folosit aceleași tipuri de agregate ca și în cazul RCC, liantul CEM I 42.5R, aditivul super plastifiant RheoBuild și aditivul antrenor de aer microAIR.

2.5. Confecționarea și încercarea epruvetelor de laborator

Atât în cazul RCC, cât și BcR, s-au confecționat câte 3 prisme și 3 cilindri pentru fiecare variantă de beton de ciment studiată.

Pentru compozițiile RCC, anterior confecționării epruvetelor, s-au determinat umiditățile optime de compactare prin metoda Proctor modificată, rezultatele fiind prezentate în tabelul 4 [11].

The same types of aggregates as in the case of RCC have been used for the manufacturing of PCC alternatives, CEM I 42.5R as binder, but also RheoBuild super-plasticizer additive and the microAIR air entraining additive.

2.5. Manufacturing and testing of laboratory specimens

In the case of both, the RCC and the PCC, 3 prisms and 3 cylinders had been manufactured for the evaluation of their mechanical behavior.

Prior to specimen manufacturing, the optimal humidity values for compacting have been determined for the RCC compositions by using the Proctor modified method and the results are presented in Table 4 [11].

Tabelul 4

Determinarea umidității optime de compactare pentru compozițiile RCC
Evaluation of optimum moisture content for compaction of RCC compositions

Tip mixtură RCC RCC mixture type	Umiditatea compoziției / Mixture moisture content, (%)					
	5	6	7	8	9	10
	Densitate de compactare / Compaction density, (kg/m ³)					
100% NA 0% RA	2.271	2.310	2.338	2.322	-	-
60% NA 40% RA	2.063	2.077	2.100	2.136	2.150	2.142

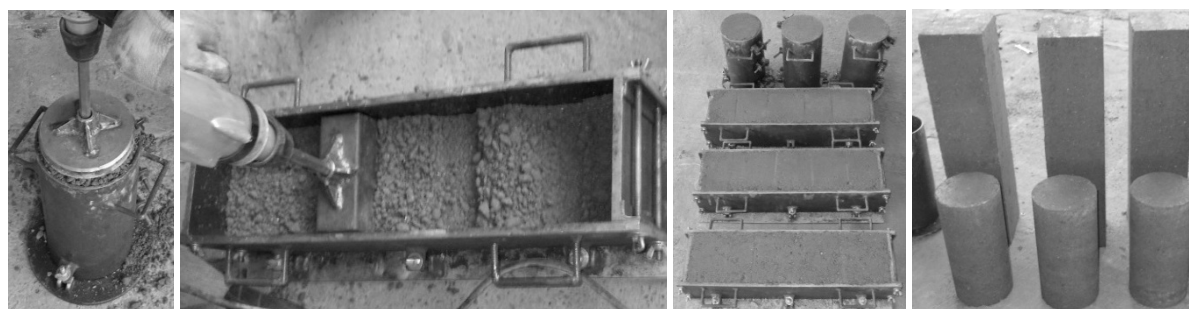


Fig. 4 – Confecționarea epruvetelor din RCC / RCC test specimens manufacturing.

Epruvetele cilindrice (fig. 4a) și cele prismatice (fig. 4b) din RCC au fost compactate în trei și respectiv două straturi utilizând un ciocan rotopercutor.

În cazul epruvetelor din BcR s-a utilizat pentru compactare o masă vibrantă conform figurii 5.

The RCC cylindrical (Fig. 4a) and prismatic specimens (Fig. 4b) have been compacted in three and two layers respectively using an electric hammer.

In the case of PCC specimens, a vibrating table had been used for the compaction.

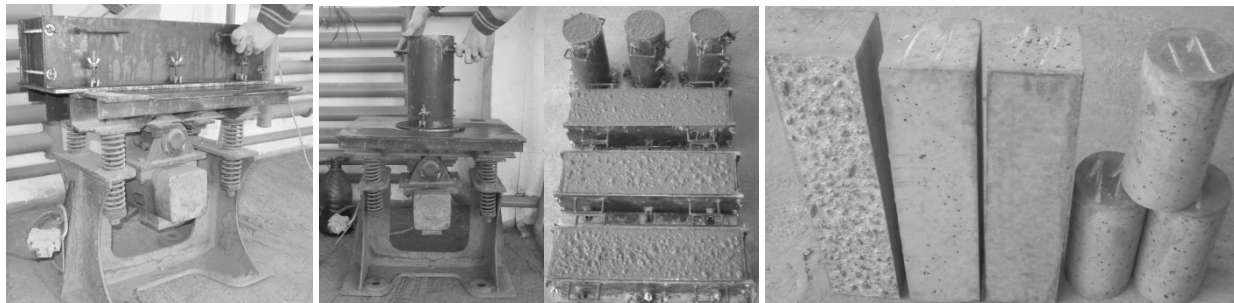


Fig. 5 – Confecționarea epruvetelor din BcR / PCC test specimens manufacturing.

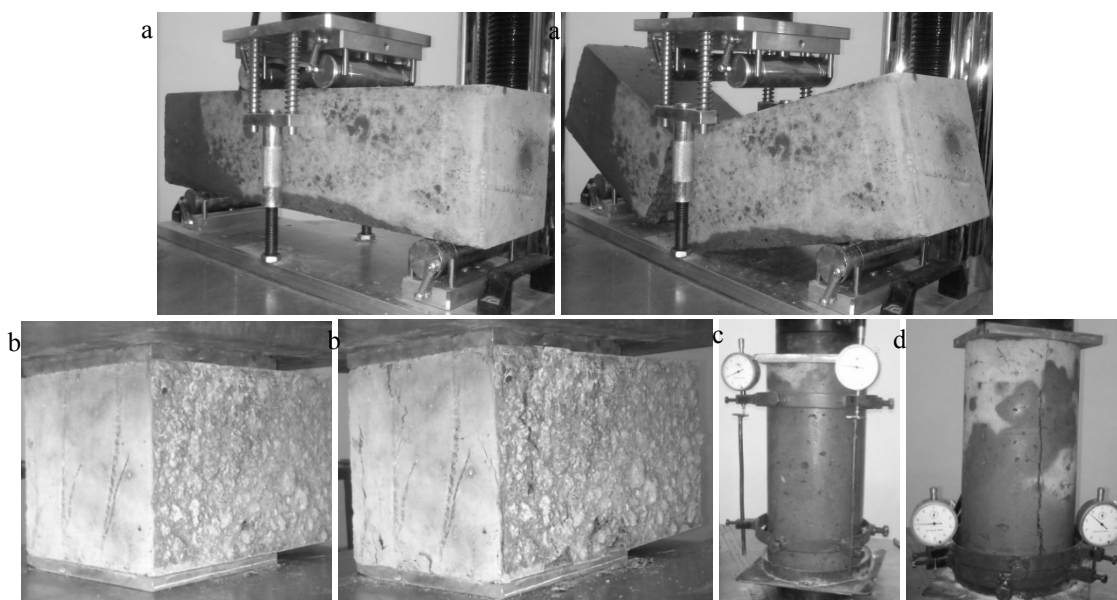


Fig. 6 – Încercarea epruvetelor / specimens testing procedures: (a) - încovoiere pe prisme / prism bending; (b) - compresiune pe capete de prisme / prism ends compression tests; (c) - compresiune ciclică pe cilindri / cylinders cyclic compression tests; (d) - compresiune pe cilindri / cylinders compression tests.

După decofrare, probele au fost păstrate imersate în apă până la vârsta de 28 zile. Epruvetele prismatice au fost încercate la întindere din încovoiere în patru puncte (fig. 6a) și, după rupere, la compresiune pe capete de prismă (fig. 6b), iar epruvetele cilindrice au fost încercate la compresiune ciclică pentru determinarea modulului de elasticitate (fig. 6c) și a rezistenței la compresiune (fig. 6d).

3. Rezultate experimentale și discuții

Epruvetele din RCC și BcR au fost supuse încercărilor de rezistență pentru evaluarea performanțelor mecanice. O sinteză a rezultatelor obținute este prezentată în tabelul 5.

Rezultatele testelor realizate arată că înlocuirea cu AR, a 40% din cantitatea de AN

After unmolding, the test samples have been preserved submerged in water for 28 or 42 days.

The prismatic specimens have been subjected to four points bending test (Fig. 6a). After failure, compression tests have been performed on prisms ends (Fig. 6b). The cylindrical specimens have been subjected for both, cyclical compression in order to determine the elasticity modulus (Fig. 6c) and the compression strength (Fig. 6d).

3. Experimental results and discussions

As mentioned, the RCC and PCC test specimens were subjected to strength tests to evaluate their mechanical performances. A synthesis of the tests results is presented in Table 5.

Tabelul 5

Performanțe mecanice obținute pe epruvete din variantele RCC și BcR
 Mechanical performances obtained on RCC and PCC test specimens

Tip beton de ciment Concrete type	Raport AN/AR AN/AR ratio, (%/%)	Tip liant Binder type	Dozaj liant Binder dosage, (kg/m ³)	Vârsta Testing age, (zile)	Rezistența la compresiune Compression strength, (MPa)		Rezistența la încovoiere Bending strength, (MPa)	Modul de elasticitate Elasticity modulus, (MPa)
					Cylinders	Prism ends		
RCC	100/0	CEM I 42.5R	300	28	11.78	24.31	4.09	18300
RCC	60/40		300	28	11.29	19.34	3.65	18258
RCC+FOR / RCC+RSF	60/40		300	28	12.43	19.09	3.90	15252
RCC	100/0	CEM II 32.5R	300	28	17.57	23.46	5.05	24352
RCC	60/40		300	28	16.70	21.15	4.01	23449
RCC+FOR / RCC+RSF	60/40		300	28	17.59	23.80	5.26	20783
RCC	100/0	Doroport TB 25	250	28	9.61	14.88	3.52	13268
RCC	100/0		250	42	10.52	17.16	3.76	18241
RCC	100/0		350	28	13.07	17.28	3.91	19577
RCC	100/0		350	42	15.27	19.53	4.10	20334
RCC	60/40		300	28	10.84	16.81	2.92	17362
RCC	60/40		300	42	12.08	18.72	3.42	18273
RCC+FOR / RCC+RSF	60/40		300	28	12.05	17.52	3.79	13941
RCC+FOR / RCC+RSF	60/40		300	42	12.70	18.04	4.00	14842
BcR / PCC	100/0	CEM I 42.5R	330	28	35.88	45.87	6.48	38886
BcR / PCC	60/40		330	28	35.54	45.32	6.10	32328
BcR+FOR / PCC+RSF	60/40		330	28	43.62	52.19	7.05	29318

utilizate la prepararea betoanelor de ciment rutiere investigate prezintă ca efect o reducere a performanțelor cuprinsă între 5-10%.

De asemenea, se observă o diminuare a caracteristicilor de performanță ale RCC la utilizarea CEM I 42.5R ca liant, față de cazul CEM II 32.5R, datorită insuficienței cantității de apă pentru hidratarea completă a cimentului CEM I 42,5R; acesta fiind foarte reactiv, consumă apa în procesele de hidratare inițială.

Utilizarea liantului hidraulic Doroport TB 25 la realizarea amestecurilor din RCC este justificată tehnico-economic datorită costului redus și rezistențelor mecanice apropiate de cele ale compozițiilor cu CEM II 32,5R și CEM I 42,5R.

Tehnologia de armare dispersă cu FOR a betoanelor BcR și RCC confecționate cu AR conduce la atingerea și chiar depășirea, rezistențelor mecanice ale betoanelor realizate integral cu AN, dar și la o reducere semnificativă a modulului de elasticitate, cuprinsă între 10-20% [12].

Analizând valorile modurilor de elasticitate, se poate observa o variație a acestora între 13000 MPa și 39000 MPa. Normativul actual de dimensionare NP034-99 [13] a structurilor rutiere rigide aeroportuare permite proiectarea dalelor din beton numai pentru o valoare unică a modulului de elasticitate $E=30000$ MPa. Deoarece diagramele de dimensionare nu permit determinarea grosimii dalelor de beton pentru alte valori ale modulului E , utilizarea betoanelor de ciment confecționate cu materiale reciclate este practic imposibilă.

În figura 5 sunt prezentate creșterile valorilor tensiunii σ_t în cazul variației valorii

The results of tests indicate that by replacing 40 % of NA with RA to the manufacturing of investigated cement concrete types leads to the reduction of their mechanical performances by 5 to 10%.

Also, a decrease of the RCC performance characteristics can be observed when using the CEM I 42.5 R as a binder, compared to the CEM II 32.5 R, due insufficient water content necessary for the full hydration of CEM I 42.5R which is a very reactive binder and consumes water in the initial hydration process.

The use of the Doroport TB 25 hydraulic binder in the manufacturing of RCC compositions is justified, from both technical and economical point of view, due to lower costs and the mechanical results similar to those when CEM II 42.5R and CEM I 42.5R binders were used.

The RSF reinforcement technology of RA manufactured PCC and RCC leads to the achieving and even the exceeding of the mechanical strengths of the concretes manufactured exclusively using NA, but also a significant decrease by 10 to 20 % for the elasticity modulus is noticed [12].

By analyzing the values of the elasticity modulus a variation of 13000 MPa to 39000 MPa can be observed. The current NP034-99 [13] rigid airport pavement structures design standard only allows the design of the concrete slabs for a single value of $E=30000$ MPa of the elasticity modulus. Because the design diagrams do not allow the calculation of concrete slabs thickness for any other values of E , the use of RA-manufactured cement concretes is virtually impossible.

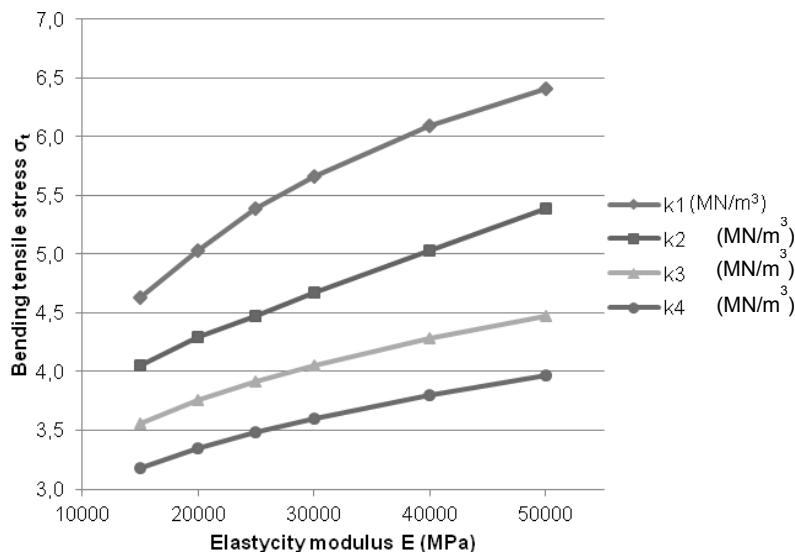


Fig. 7 – Creșterea valorii tensiunii σ_t în funcție de variația modului de elasticitate E
The rise of σ_t depending on the variation on E- elasticity modulus.

modulului de elasticitate E de la 15000-50000 (MPa).

Valorile tensiunii σ_t au fost determinate utilizând programul cu element finit tridimensional [14] Ansys 11, folosind încărcări exterioare specifice aeronavelor moderne cu aterizoare complexe cu șase roți, masa aeronavei la decolare, distribuită pe aterizorul principal fiind: P=170 tf.

Calculul comparativ a fost efectuat pentru următoarele valori ale parametrilor: modulul de reacție la suprafața stratului de fundare $k_1=20$ MN/m³, $k_2=40$ MN/m³, $k_3= 80$ MN/m³, $k_4= 150$ MN/m³; modulul de elasticitate $E_1=15000$ MPa, $E_2=20000$ MPa, $E_3=25000$ MPa, $E_4=30000$ MPa, $E_5=40000$ MPa, $E_6=50000$ Mpa; și pentru valori ale coeficientului Poisson corespunzătoare BcR și RCC, 0,15 respectiv 0,25.

Acest studiu a fost efectuat pentru o dală din beton de ciment având dimensiunile în plan de 5x7 m, corespunzătoare dimensiunii maxime a utilajului de așternere și distanței maxime între rosturile de contracție dilatație. Studiul efectuat pe mai multe dimensiuni în plan a dalei de beton justifică utilizarea dalei de 5x7 m deoarece generează valori maxime ale tensiunii la întindere din încovoiere σ_t [15]. Grosimea dalei de beton care a făcut obiectul studiului a fost de 35 cm și este justificată deoarece generează tensiuni la întindere din încovoiere apropiate de cele ale betoanelor studiate. Încărcarea provenită de la aeronavă a fost transmisă printr-o forță uniform distribuită pe suprafața de contact pneu-dală aplicată tangent la rostul longitudinal [16].

În tabelul 6 sunt prezentate diferențele procentuale ale valorilor tensiunilor σ_t , provenite la întindere din încovoiere, pentru diferite valori ale modului de elasticitate. Diferențele obținute, de până la 19% pentru valorile tensiunilor σ_t justifică

Figure 5 presents the increases in σ_t tensile stress depending on the variation of E- elasticity modulus values from 15000 to 50000 MPa.

The values of σ_t tensile stress had been determined with the Ansys 11 tridimensional finite element [14] computer software, using external loads from modern airplanes fitted with complex landing gears with six-wheels bogie. The weight of the airplane at takeoff, distributed in the main landing gear is P=170 tf.

The comparative determination had been performed for the next parameters values: reaction modulus at the surface of the foundation layer $k_1=20$ MN/m³, $k_2=40$ MN/m³, $k_3= 80$ MN/m³, $k_4= 150$ MN/m³; elasticity modulus $E_1=15000$ MPa, $E_2=20000$ MPa, $E_3=25000$ MPa, $E_4=30000$ MPa, $E_5=40000$ MPa, $E_6=50000$ MPa and for the values of the Poisson coefficient for the PCC and RCC, of 0.15 and 0.25, respectively.

This research has been performed on a concrete slab measuring 5x7 m, which represent the maximal dimension of the casting equipment and also the maximal distance between the contraction-expansion joints. The study performed on several plane dimensions of the concrete slab justifies the use of a 5x7 m slab, as it generates maximal values of σ_t bending tensile stress [15]. The thickness of the concrete slab in the study was 35 cm and it is justified because it generates bending tensile stress values close to those of the concretes studied in the research. The load from the aircraft was transmitted through a force uniformly distributed on the tire-slab contact area tangentially applied to the longitudinal joint [16].

Table 6 presents the differences of σ_t bending tensile stress percentage values depending on different values of the elasticity modulus. The obtained differences of up to 19 % in the σ_t stresses values justify the necessity of

Tabelul 6

Diferențele procentuale ale valorilor σ_t (MPa) în funcție de diferite valori ale modulului de elasticitate, specifice dalelor cu grosimea de 35cm / Percentage differences of value σ_t (MPa) values depending on different values of the elasticity modulus, specific to 35cm thickness slabs

$k^a)$ (MN/m ³)	$E^b)$ (MPa)	$\sigma_t^c)$ (MPa) – BcR / PCC ($\nu_1=0.15$)	% ^{d)}	$\sigma_t^e)$ (MPa) – RCC ($\nu_2=0.25$)	% ^{f)}
20	15000	4.6289	18.31	4.8080	18.06
	20000	5.0317	11.20	5.2017	11.35
	25000	5.3833	4.99	5.5707	5.06
	30000	5.6661	-	5.8676	-
	40000	6.0950	7.57	6.3179	7.67
40	50000	6.4058	13.05	6.6441	13.23
	15000	4.0554	12.39	4.1995	12.66
	20000	4.2954	7.20	4.4433	7.59
	25000	4.4722	3.39	4.6415	3.46
	30000	4.6289	-	4.8080	-
80	40000	5.0317	8.70	5.2017	8.19
	50000	5.3833	16.30	5.5707	15.86
	15000	3.5602	12.21	3.6774	12.43
	20000	3.7554	7.40	3.8826	7.55
	25000	3.9169	3.42	4.0530	3.49
150	30000	4.0554	-	4.1995	-
	40000	4.2854	5.67	4.4433	5.81
	50000	4.4722	10.28	4.6415	10.53
	15000	3.1775	11.80	3.2776	11.94
	20000	3.3460	7.13	3.4532	7.22
200	25000	3.4842	3.29	3.5978	3.34
	30000	3.6028	-	3.7221	-
	40000	3.8012	5.51	3.9309	5.61
	50000	3.9652	10.06	4.1041	10.26

^{a)} Modulul de reacție la suprafața straturilor de fundare / Reaction modulus at the surface of the foundation layer

^{b)} Modulul de elasticitate a betonului de ciment din structura studiată / The elastic modulus of cement concrete from investigated pavement

^{c)} Tensiunea la întindere din încovoiere calculată în cazul BcR ($\nu_1=0.15$) / Bending tensile stress calculated for PCC ($\nu_1=0.15$)

^{d)} Diferența procentuală a valorilor σ_t calculată în cazul BcR având ca referință valoarea unică σ_t utilizată în normativul actual în vigoare pentru $E=30000$ (Mpa) / Percentage difference of value σ_t for PCC using as a benchmark the unique value from current standard of the elasticity modulus $E=30000$ (MPa)

^{e)} Tensiunea la întindere din încovoiere calculată în cazul RCC ($\nu_1=0.25$) / Bending tensile stress calculated for RCC ($\nu_1=0.25$)

^{f)} Diferența procentuală a valorilor σ_t calculată în cazul RCC având ca referință valoarea unică σ_t utilizată în normativul actual în vigoare pentru $E=30000$ (MPa) / Percentage difference of value σ_t for PCC using as a benchmark the unique value from current standard of the elasticity modulus $E=30000$ (MPa)

necesitatea adaptării normelor actuale de dimensionare care să permită proiectarea structurilor rutiere aeroportuare rigide, cu valori efective ale modulului de elasticitate E , corespunzătoare diferitelor tipuri de betoane rutiere.

4. Concluzii

Cercetarea a urmărit dezvoltarea de noi tehnologii și principii de proiectare în vederea construirii sau reabilitării structurilor rutiere rigide aeroportuare, cu impact ecologic redus. Astfel, s-a studiat posibilitatea utilizării agregatelor reciclate și a fibrelor de oțel recuperate din anvelope uzate, la prepararea betoanelor de tip BcR și RCC, pentru o valorificare economică adecvată și preservarea resurselor naturale.

Utilizarea eficientă a betoanelor de ciment realizate cu materialele reciclate presupune o bună cunoaștere a caracteristicilor de performanță, și anume: rezistența la compresiune; rezistența la întindere din încovoiere și modulul de elasticitate, acestea fiind necesare procesului de proiectare și dimensionare.

În acest scop, s-a dezvoltat un program

adaptation / improvement of the current design standards in order to allow the design of airport rigid pavement structures with actual E values of the elasticity modulus corresponding to different types of plain cement concretes.

4. Conclusions

This research intended to develop new technologies and design principles in order to construct or rehabilitate airport rigid pavement structures with a low environmental impact. For this purpose, the research analyzed the possibility of using recycled aggregates and steel fibers recovered from used tires to manufacture PCC and RCC for an economic exploitation and the conservation of the natural resources.

The efficient use of RA manufactured cement concretes involves proper knowledge of the performance characteristics, namely compression strength, bending tensile stress, elasticity modulus, needed in the design process.

With this aim an experimental research programme has been developed the behavior of test specimens manufactured with 40 % RA and 3

experimental de laborator în care s-a evaluat comportarea unor epruvete din BcR și RCC realizate cu un conținut de 40% AR și 3% FOR. Pentru studiul comparativ s-au încercat probe martor, confecționate cu agregat natural, AN, integral.

Atât pentru probele martor cât și pentru cele confecționate cu AR, s-au obținut valori apropiate ale rezistențelor mecanice și adecvate utilizării în tehnica rutieră. Totuși, epruvetele din BcR prezintă performanțe mecanice comparabile cu cele ale unor betoane de înaltă rezistență, atingând rezistența la întindere din încovoiere de până la 7MPa.

Variabilitatea rezultatelor obținute la evaluarea caracteristicilor de rigiditate a BcR și RCC impune necesitatea îmbunătățirii normelor actuale de proiectare, care permit doar dimensionarea pentru o valoare singulară a modulului de elasticitate de 30.000 MPa. În sprijinul acestui concept, studiul întreprins evidențiază diferențe de până la 20% ale tensiunii admisibile la întindere din încovoiere între cazurile modulului de elasticitate real și cel impus de norme pentru evitarea supradimensionării (când $E_{real} > E_{30.000}$) sau subdimensionării (când $E_{real} < E_{30.000}$).

Mulțumiri

Această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul "Dezvoltarea și susținerea de programe postdoctorale multidisciplinare în domeniul tehnice prioritare ale strategiei naționale de cercetare - dezvoltare - inovare" 4D-POSTDOC, contract nr. POSDRU/89/1.5/S/52603, proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

REFERENCES

1. J. Johnson, RCC pavement provides performance and economy at Denver international airport. Portland Cement Association, 2008, http://www.cement.org/pavements/pv_rcc_DIA.asp
2. M.T. Muscalu, R. Andrei, I. Lungu, N. Țăranu, M. Budescu, B. Cazaciu, Technical solutions to improve performance of the recycled cement concrete aggregates for durable road pavements, Environmental Engineering and Management Journal, 2012, 12(3), 595.
3. M.T. Muscalu, and N.Țăranu, Use of recycled materials in pavement construction, Proceedings of the 8th International Symposium "Highway and Bridge Engineering 2010", Iași, Romania, 10 December 2010, 15.
4. EC Directive, Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives, Official Journal of the European Union, L 312/3, 2008.
5. T.C. Hansen, Recycling of Demolished Concrete and Masonry, Report of Technical Committee 37-DRC, RILEM Report 6, 1992.
6. M. Georgescu, C. Stirbu, and A. Puri, Concretes Containing Nonconventional Aggregates, Romanian Journal of Materials, 2009, 39 (3) 246.
7. T. Vârlan, C. Zbarnea, C. Bulău, and M.T. Muscalu, Construction activity at D.R.D.P. Iasi in the area of roller compacted concrete pavement structures reinforced with recycled fibers derived from tire recycling, (in Romanian),

% RSF has been evaluated. For comparison, specimens made entirely with NA have also been tested.

Testing of both, NA reference specimens and AR manufactured specimens, have shown close characteristic strength values, adequate for use in pavement construction techniques. However, the PCC specimens demonstrate mechanical performances comparable to those of some high strength concretes, reaching bending tensile stress values of up to 7MPa.

The variability of the results obtained at the evaluation of rigidity characteristics of PCC and RCC imposed the necessity of improvement of the current standards which allow the design only for a single value of $E=30000$ MPa of the elasticity modulus. To support this concept, a study has been performed and it highlights differences of up to 20% of the allowed bending tensile stress between the real elasticity modulus and the elasticity modulus specified by the current standard, in order to avoid both the: oversize (when $E_{real} > E_{30.000}$) or undersize (when $E_{real} < E_{30.000}$).

Acknowledgments:

This paper was supported by the project "Develop and support multidisciplinary postdoctoral programs in primordial technical areas of national strategy of the research - development - innovation" 4D-POSTDOC, contract POSDRU/89/1.5/S/52603, project co-funded from European Social Fund through Sectorial Operational Program Human Resources 2007-2013.

- XIIIth National Roads and Bridge Congress, 15-17. September, Poiana Brasov, Romania, 2010, Volume II, 53.
8. D. Georgescu and R. Gavrilescu, Modern approaches to ensure concrete performances regarding durability, Romanian Journal of Materials, 2013, 43 (2) 119.
9. M.T. Muscalu, R. Andrei, M. Budescu, N. Țăranu, and E. Florescu, Use of recycled materials in the construction of roller compacted concrete (RCC) pavements, Advanced Materials Research Vol. 649, Trans Tech Publications, Switzerland, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.649.262, 2013, 262.
10. M.T. Muscalu, R. Andrei, M. Budescu, and N. Țăranu, Recycled aggregates and rigid pavement engineering, Journal of Applied Engineering Sciences, vol. 2(15), issue2_2012, 2012, 61.
11. S. Altoubat, J. Roesler, D. Lange, and K. Rieder, Simplified method for concrete pavement design with discrete structural fibers, Construction and Building Materials, 2008, 22, 384.
12. ***Airport rigid pavement structures design norm, Ind. NP 034-99.
13. H. Gh.Zarojanu, I. Ciongradi, M. Budescu, and O. Roșca, Finite element Modeling of the reinforced Airport Slabs Vol. Proceedings of the 5th International Conference on Boundary and Finite Element, Oradea, 2000.
14. R. Andrei, N. Țăranu, and R. Cojocaru, Numerical analysis and parametric study of SFRC pavements subjected to traffic, EcoLanes FP6 Project, 2009.
15. R. Cojocaru, J. C. Pais, R. Andrei, and M. Budescu, Modelling of Airport Rigid Pavement Structure Made of RCC and Recycled Cement Concrete for Complex Configuration of Landing Gears, Advanced Materials Research, 2013, 649, 25
