

Kruszywo grube z recyklingu w betonie, poddane różnej obróbce powierzchniowej

Dissimilar surface treated recycled coarse aggregate in concrete

J. Vengadesh Marshall Raman¹, V. Ramasamy²

¹Department of Civil Engineering, Mailam Engineering College, Mailam, India. 604304

²Department of Civil Engineering, Adhiparasakthi Engineering College, Melmaruvathur, India, 603319

Corresponding author: J. Vengadesh Marshall Raman, venky.kvr7@gmail.com

Streszczenie

Ważne znaczenie dla wytrzymałości i trwałości betonu ma strefa powierzchniowa kruszywa, z recyklingu. Przeprowadzone badania obejmują różne próbki betonu, zawierające naturalne kruszywo grube [NKG], nieprzetworzone kruszywo grube z recyklingu [KGR], kruszywo grube poddane szorowaniu mechanicznemu [KGSM], kruszywo grube poddane działaniu kwasu siarkowego [KGHS] oraz kruszywo poddane działaniu kwasu solnego [KGHCl]. Jest on zamiennikiem naturalnego piasku rzeczego, natomiast w pięciu seriach betonu zastosowano piasek produkowany fabrycznie, w proporcji wymiany 100%. Właściwości mechaniczne: odpowiednio wytrzymałość na ściskanie, rozciąganie przy rozłupywaniu i zginanie, określono po 28 i 56 dniach. Natomiast wytrzymałość, nasiąkliwość, wysychanie, działanie kwasu siarkowego [KGHS], siarczanu sodu i sorpcyjność, określono po 28, 56 i 90 dniach. Wyniki porównano z betonem kontrolnym. Zgodnie z uzyskanymi wynikami, stwierdzono, że KGR nieznacznie zmniejszyło właściwości użytkowe betonu. Natomiast przetworzone kruszywo KGHS, wykazuje znaczną poprawę właściwości użytkowych, w porównaniu z KGR. Zwłaszcza KGHS, znacznie poprawia jakość betonu, w porównaniu z innymi metodami. Ponadto, wyniki badań, przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego, również wykazują lepszą mikrostrukturę, przetworzonego kruszywa z recyklingu, w betonie. Na zdjęciach, przekroju poprzecznego kostki, widać lepszą warstwę kontaktową z ziarnami kruszywa WZK, we wszystkich rodzajach betonów z kruszywem poddanych obróbce, w odróżnieniu nieprzetworzonych betonów, z kruszywem z recyklingu.

Słowa kluczowe: piasek produkowany przemysłowo, właściwości mechaniczne, wytrzymałość, sorpcyjność, kruszywo z recyklingu

Summary

The surface zone of the recycled aggregate plays a significant role in the strength and durability of concrete. In this research, various concrete series incorporating natural coarse aggregate [NCA], untreated recycled coarse aggregate RCA(UN), mechanical scrubbing treated coarse aggregate RCA(MS), sulfuric acid treated coarse aggregate RCA(H₂SO₄) and hydrochloric acid treated aggregate RCA(HCl) were investigated. Manufactured sand was used as an alternative to natural river sand in five series of concrete with 100% replacement ratio. The mechanical properties: compressive, split tensile, and flexural strength, respectively, were determined at the age of 28 and 56 days. Durability properties: water absorption, drying, sulfuric acid, sodium sulphate and sorptivity test were determined at the age of 28, 56 and 90 days and the results were compared to reference concrete. According to the results, RCA(UN) was found to marginally decreased the concrete performance, and the above mentioned treated aggregate shows a significant improvement in overall performance compared to RCA(UN), especially RCA(MS), which enhances the concrete more significantly than other methods. Moreover, the scanning electron microscope results also emphasize the enhanced microstructure of treated recycled aggregate in concrete. The photographic view of the cross sections of the samples shows a superior interfacial transition zone in all kinds of treated aggregate concrete than in untreated recycled aggregate concrete.

Keywords: M- sand, mechanical properties, durability properties, sorptivity test, recycled aggregate

Skróty

NKG – naturalne kruszywo grube
KGR – kruszywo grube z recyklingu
SNPS – stan nasycony, powierzchniowo suchy
WKZK – warstwa kontaktowa z ziarnami kruszywa
NPR – naturalny piasek rzeczny
M sand – piasek wytwarzany przemysłowo
KG(NO) – kruszywo grube z recyklingu, niepoddane obróbce
KGR(SM) – kruszywo grube poddane szorowaniu mechanicznemu
KGR(H₂SO₄) – kruszywo grube poddane działaniu kwasu siarkowego
KGR(HCl) – kruszywo poddane działaniu kwasu solnego
BKN – beton z kruszywem naturalnym
BKNPP – beton z kruszywem naturalnym i piaskiem produkowanym przemysłowo
BKR(NO) – beton z kruszywem z recyklingu, niepoddany obróbce
BKR(SM) – beton z kruszywem z recyklingu, poddanym szorowaniu mechanicznemu
BKR(H₂SO₄) – beton z kruszywem z recyklingu, poddanym działaniu kwasu siarkowego
BKR(HCl) – beton z kruszywem z recyklingu, poddanym działaniu kwasu solnego

1. Wprowadzenie

W krajach rozwijających się, obserwuje się niedobór kruszyw naturalnych, na obszarach miejskich, natomiast występują ogromne ilości odpadów rozbiórkowych. Składowanie odpadów rozbiórkowych, powoduje poważne problemy środowiskowe, natomiast przez ich zastosowanie – recykling, do wytwarzania betonu, można im przeciwdziałać (1).

Zużycie cementu w ostatnich dwóch dekadach, wzrosło trzykrotnie z 1,10 do 3,27 mld ton, a szacuje się, że w 2030 r. jego stosowanie, wyniesie 4,83 mld ton. Zwiększeniu uległa również produkcja betonu, przy czym zwykle, 60-75% składa się z materiałów „obojętnych”. W roku 2015, zużycie kruszywa naturalnego wynosiło około 48 mld ton i stopniowo wzrastało o 5%, w każdym pięcioleciu (2).

Wielu badaczy zajmuje się betonem z recyklingu i różnymi technikami obróbki kruszywa. Badają oni urabialność, właściwości mechaniczne, wytrzymałość i morfologię betonu. Urabialność betonu BKN jest bardzo mała, w porównaniu z betonem kontrolnym, przy tej samej zawartości wody (1). Aby zwiększyć tę urabialność, kruszywo z recyklingu stosuje się w warunkach SNPS (3). W celu zachowania pożądanej urabialności, kruszywo musi być stosowane, we wstępnych warunkach wilgotnych (4). Zastosowanie dodatków znacznie zmniejszających zawartość wody, np. superplastyfikatorów, nieznacznie zwiększa urabialność betonu (10).

Kluczową rolę w określeniu urabialności, wytrzymałości i trwałości, odgrywa stara, przyczepiona do powierzchni kruszywa, zaprawa.

Abbreviations

NCA – Natural coarse aggregate
RCA – Recycled coarse aggregate
SSD – Saturated surface dry condition
ITZ – Interfacial Transition zone
NRS – Natural river sand
M sand – Manufactured sand
RCA(UN) – Untreated recycled coarse aggregate
RCA(MS) – Mechanical scrubbing treated aggregate
RCA(H₂SO₄) – Sulphuric acid treated aggregate
RCA(HCl) – Hydrochloric acid treated aggregate
NAC – Natural aggregate concrete
NCMC – Natural coarse M sand concrete
RAC(UN) – Untreated recycled aggregate concrete
RAC(MS) – Recycled aggregate concrete with mechanical scrubbing treated aggregate
RAC(H₂SO₄) – Recycled aggregate concrete with sulphuric acid treated aggregate
RAC(HCl) – Recycled aggregate concrete with hydrochloric acid treated aggregate

1. Introduction

In developing countries, there is a scarcity of natural aggregates and other hand demolition waste is huge in urban areas. The severe environmental problems are caused by storing the demolishing waste and by recycling the waste disposal into concrete severe problems can be rectified (1). In past two decades consumption of cement was increased by three times, from 1.10 to 3.27 billion tonnes and consumption of cement could be estimated as 4.83 billion tonnes in 2030. The production of concrete volume also increased, normally 60-75% of concrete consists of inert materials. Consumption of natural aggregate was approximately 48 billion tonnes in 2015 and it gradually increased by 5% in every five year (2).

Many researchers examine recycled concrete and different treatment techniques adopted to treat the aggregate. They have studied the workability, mechanical, durability, and morphological properties of concrete. The workability of RAC concrete is lower compared to that of control concrete with the same water content (1). To improve the workability, recycled aggregate is used under SSD conditions (3). To maintain preferred workability, the aggregate must be used under pre-wet conditions (4). Using high range water reducing agents, it is possible to increase the workability of concrete (10). The old mortar attached on the surface of aggregate plays a key role in determining workability, strength, and durability. However, the mineral and chemical admixtures were used to achieve the desired workability (1, 2). The slump value can be increased 50 to 65 mm by peeling the old attached mortar on the RCA surface, so the compressive strength increases from 35.6 MPa to 45 MPa (12). Researchers have reported hardened

Natomiast w celu uzyskania pożądanej urabialności, stosowano domieszki mineralne i chemiczne (1,2). Opad stożka zwiększa się z 50 do 65 mm, przez złuszczenie starej, przyczepionej zaprawy do powierzchni KGR, dzięki czemu wytrzymałość na ściskanie wzrasta z 35,6 N/mm² do 45 N/mm² (12). Autorzy opisali właściwości BKR(NO), w którym zmniejszenie wytrzymałości w KGR (5), wynika z 5% zwiększenia wilgotności i stosunku w/c. Stosowanie KGR bez obróbki, powoduje zBKNzne zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie o 14%, w porównaniu z betonem kontrolnym (7). Wytrzymałość na ściskanie betonu z KGR, niepoddanego obróbce, zmniejszyła się po wszystkich przedziałach czasu dojrzewania, w porównaniu z betonem kontrolnym. Wytrzymałość na ściskanie KGR, z kruszywem poddanym obróbce jest większa, niż KGR z kruszywem, niepoddanym obróbce (8). Jakość KGR, jest zawsze gorsza niż w przypadku KGR, przy zastosowaniu obróbki (6). KGR jest tańsze, od kruszywa naturalnego, ale kruszywo z recyklingu jest poddawane pewnym zabiegom technicznym, co powoduje, że jego koszt jest większy (11). Przepuszczalność NKG wypada dość dobrze, natomiast KGR ma dużą przepuszczalność, co wpływa na gorszą wytrzymałość (13). Trwałość KGR jest zależna od występowania na powierzchni starej zaprawy, z dużą porowatością (14,15). Analiza mikrostruktury betonu, wykazuje dużą porowatość, ze względu na przyczepioną do ziaren zaprawę. Stężenie kwasu, większe od 3%, powoduje efekt opóźniający, w wytwarzaniu betonu (16-18).

Do oczyszczania kruszywa z recyklingu stosuje się następujące metody: obróbka termiczna (7) i chemiczna (10), obróbka mechaniczna metodą szorowania (7), metody karbonizacji (14), zawiesina metakrzemianu wapniowego (30), obróbka cementem (59), dodatki mineralne (25), stosowanie mieszalnika betonu (11), domieszki mineralne (25), ciepła mieszanka asfaltowa i wapno hydratyzowane (21), technika twardnienia za pomocą CO₂ (14), stosowanie żelu krzemionkowego (60), stosowanie emulsji z oleju odpadowego i asfaltu (15), nano-materiały (61), superplastyfikatory (9), metoda składowania (28), hydrofobizacja z zastosowaniem krzemowodorów (62). Wszystkie te metody są stosowane w celu poprawy powierzchni kruszywa, z recyklingu. Po przetworzeniu kruszywa z recyklingu [KR], beton wykazał późne powstawanie pęknięć i przeciwdziałania nietrwałego przenoszenia pęknięć, w porównaniu z betonem bez kruszywa grubego, z recyklingu. Uważa się, że zastosowanie kruszywa z recyklingu, w ilości ograniczonej do 60%, poprawia wytrzymałość betonu (56 – 58). Należy jednak wykonywać beton, zawierający mieszanki, ze śladową ilością kruszywa z recyklingu i dokładnie sprawdzać właściwości projektowane (56).

2. Materiały i metody

2.1. Proces produkcji kruszywa z recyklingu

Na rysunku 1 przedstawiono proces produkcji kruszywa z recyklingu [KR]. Do rozdrabniania kruszywa grubego z recyklingu [KGR], zastosowano kruszarkę szczękową, model Lab. Na rys. 1 zaprezentowano cały proces produkcji KR, krok po kroku. Proces

concrete properties of RAC. The strength reduction in RAC is due to the percentage of replacement ratio, moisture content, and the w/c ratio of RCA (5). Using untreated RCA, the compressive strength has been significantly reduced by up to 14% compared to controlled concrete (7). The compressive strength of untreated RAC has been reduced in all different ages compared to controlled concrete. The compressive strength of treated RAC is enhanced than that of untreated RAC (8). The quality of RAC is still inferior to that of NAC after treatment is adopted (6). RCA are cheaper than natural aggregate, but when the recycled aggregates are treated with some techniques, their cost is more expensive (11). The permeability of NAC is quite good and the RAC has high permeability and it affects the strength parameters (13).

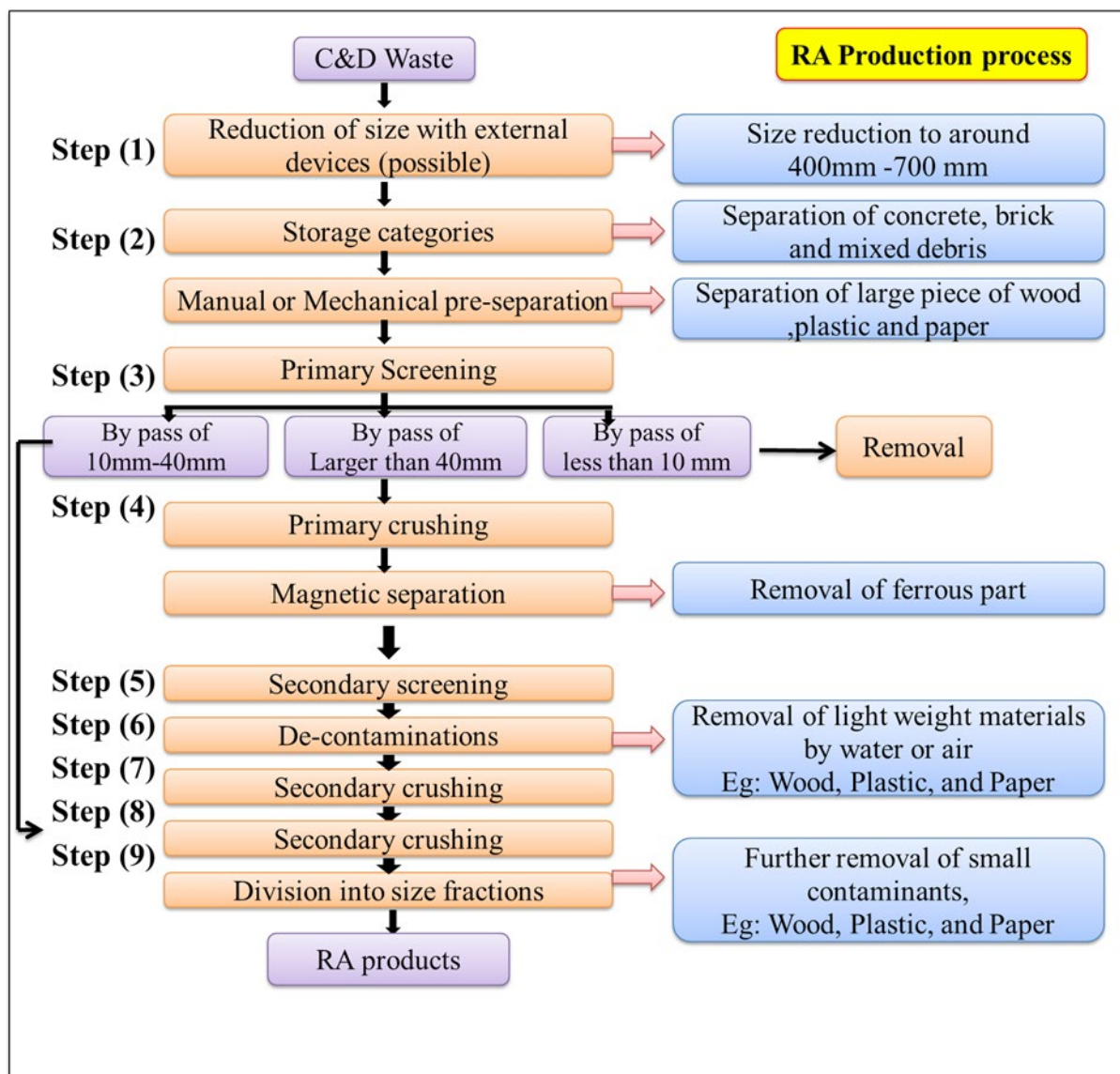
The durability of RAC is affected by the old mortar with high porosity present on the surface (14,15). Due to adhered mortar, high porous areas are detected in microstructure analysis of concrete.

The following methods are used to treat the recycled aggregate: thermal treatment (7), chemical treatment (10), mechanical scrubbing treatment (7), carbonation and wrapping methods (14), calcium metasilicate slurry (30), cement treatment (59), mineral additives (25), modified concrete mixer (11), warm mix asphalt and hydrated lime (21), CO₂ curing technique (14), silica gel techniques (60), waste oil and asphalt emulsion (15), nano materials (61), super plasticizers (9), bio-deposition approach (28), silane-based water repellent (62). All of these methods are adopted to enhance the surface of recycled aggregate. After treatment process of recycled aggregate [RA], concrete enhanced more significant in delaying crack formations and oppose the unstable crack transmission compared to untreated recycled coarse aggregate concrete. Suggested, that use of recycled aggregate was limited up to 60% to improve the fracture and mechanical properties of concrete (56, 57, 58). However, concrete inducing with recycled aggregate trail mixes must be made and gently check the design properties (56).

2. Experimental

2.1. Production process of recycled aggregate

The process of recycled aggregate [RA] production was given in Fig. 1. The Lab model jaw crusher was used to break the recycled coarse aggregate [RCA]. Fig.1 shows clear step by step process of production of RA. There are nearly nine steps to recover the recycled aggregate into required sizes namely, Step [1] Reduction of size, [2] Pre-separation, [3] Primary screening, [4] Primary crushing and Magnetic separation, [5] Secondary screening, [6] Decontamination, [7] Final crushing, [8] Washing, screening and air sifting, and [9] Division into Size fractional. The debris smaller than 10 mm are eliminated after step [3], size of 10-40mm were send directly to step [8] and debris greater than 40 mm are followed to next level of primary crushing step [4].



Rys. 1. Produkcja kruszywa

Fig. 1. The step by step procedure of recycled aggregate production

odzyskiwania kruszywa z recyklingu do wymaganych rozmiarów, obejmuje dziewięć etapów, a mianowicie: [1] redukcję rozmiarów, [2] separację wstępną, [3] przesiewanie wstępne, [4] kruszenie wstępne i separację magnetyczną, [5] przesiewanie wtórne, [6] usuwanie zanieczyszczeń, [7] kruszenie końcowe, [8] mycie, przesiewanie oraz [9] podział na frakcje rozmiarowe. Odłamki mniejsze niż 10 mm, są usuwane [3], a odłamki o wielkości 10-40 mm są kierowane bezpośrednio do etapu [8], natomiast odłamki większe od 40 mm, są kierowane, do następnego etapu, kruszenia wstępnego [4]. Rys. 1 przedstawia produkcję kruszywa z recyklingu, krok po kroku

2.2. Różne techniki obróbki

2.2.1. Technika obróbki chemicznej

W badaniach zastosowano technikę obróbki według Purushottamana i in. (6). W obróbce chemicznej NKG, zanurza się próbki w roztworach kwasu siarkowego i solnego, o stężeniach 0,1 M, na 1 dzień. Po 24 godzinach, kruszywo z recyklingu wyjmuje

2.2. Various treatment techniques

2.2.1. Chemical treatment technique

In this research work, treatment technique is followed by Purushottaman et al. (6). In the chemical technique, the RCA is immersed in sulphuric and hydrochloric acid environment with 0.1 M for 1 day. After the completion of 24 hours, the recycled aggregate is taken out and washed with clean water to remove the acidic solvents present on the aggregate surface. After that, the sample is poured into the Los Angeles abrasion machine with 12 charges for 50 revolutions. After that, the aggregate is distant from the machine and sieved with 4.75 mm IS sieve. The aggregate retained on IS sieve 4.75 mm is washed to remove the dust particles present on the aggregate surface and dried on sunlight. After all the process is completed, the aggregate is used for concrete mixtures. RCA(H_2SO_4) is abbreviated as sulphuric acid-treated recycled aggregate and RCA(HCl) is abbreviated as hydrochloric acid-treated recycled aggregate.

się i przemywa czystą wodą, w celu usunięcia kwaśnych rozpuszczalników, zaadsorbowanych na powierzchni kruszywa. Następnie próbkę wysypuje się do młynka kulowego, 12 porcji, na 50 obrotów. Następnie kruszywo, pobiera się z młynka i przesiewa przez sito IS 4,75 mm. Kruszywo pozostające na sicie IS 4,75 mm, przemywa się, w celu usunięcia cząstek pyłu, z powierzchni kruszywa i suszy na słońcu. Po wykonaniu wszystkich tych czynności, kruszywo stosuje się do wykonania mieszanek betonowych. Skrót KGR(H_2SO_4), oznacza kruszywo grube poddane działaniu kwasu siarkowego, a skrót KGR(HCl), kruszywo poddane działaniu kwasu solnego.

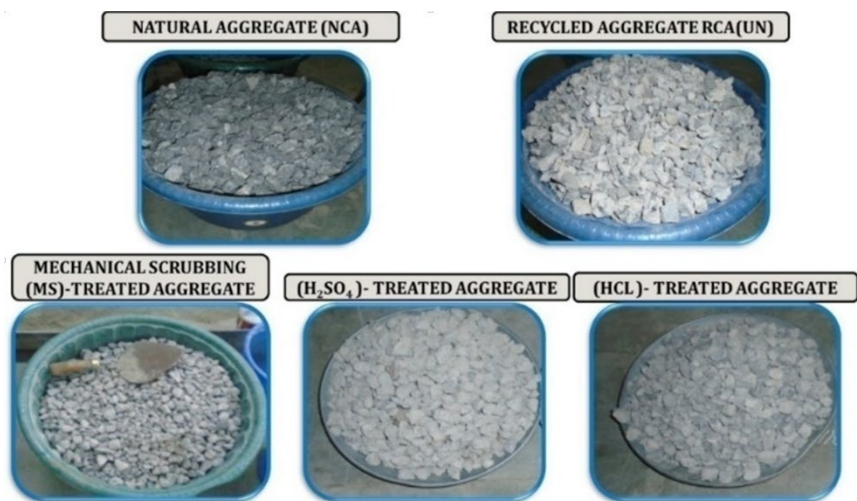
2.2.2. Technika obróbki mechanicznej

Metoda ta była oceniana przez Pandurangana i in.(7), którzy zastosowali ją w swoich doświadczeniach. W technice mechanicznego szorowania, nieobrobione kruszywo grube z recyklingu, wysypuje się do bębna kulowego, na 300 obrotów. Po wykonaniu tych obrotów, kruszywo z recyklingu, zbiera się na tacę i przesiewa, przez sito 4,75 mm. Kruszywo pozostałe na tym sicie, przemywa się czystą wodą, w celu usunięcia cząstek pylistych. Po przemyciu, kruszywo suszy się na słońcu. Po zakończeniu oczyszczania, kruszywo stosuje się, do wytwarzania mieszanek betonowych. Skrót KGR(MS) oznacza kruszywo grube, poddane szorowaniu mechanicznemu. Rys. 2 obrazuje poszczególne rodzaje kruszywa, zastosowane w badaniach.

2.3. Materiały

W prowadzonych badaniach stosowano cement OPC 53, zgodny z normą IS 12269: 2013 (50). Oprócz betonu kontrolnego wszystkie mieszanki są wytwarzane z piaskiem, produkowanym przemysłowo. Ciężar właściwy, piasku rzecznoego wynosi 2,48, a piasku przemysłowego 2,63. Wskaźnik miążkości wynosił 3, dla piasku rzecznoego i 2,75, dla piasku przemysłowego. Nasiąkliwość piasku rzecznoego wynosiła 0,8 %, a piasku przemysłowego 3,51 %. Oba drobne kruszywa, wchodzą w skład, strefy II. Właściwości fizyczne, piasku rzecznoego i piasku przemysłowego, określono zgodnie z normą IS 2386-1963 – część 1-8 (48). Naturalne kruszywo grube, otrzymano z Thiruvakarai w Tamil Nadu, Indie. Kruszywo z recyklingu jest pobierane z ponad 50-letniego, rozebranego, starego budynku, w Villupuram.

Kruszywo z odzysku, uzyskuje się przez kruszenie, starego bloku betonowego. Do badań pobrano kruszywo, pozostające na sicie, IS 4,75 mm. Zgodnie z normą 383-2016 (51), wyznaczono skład ziarnowy kruszywa, które pokazano na rys. 3. Właściwości fizyczne, różnych rodzajów kruszywa grubego, określono stosując IS 2386-1963 (część 1-8) (48), i podano w tablicy 1. Do badań użyto zwykłej, czystej wody wodociągowej, pobranej w Mailam Engineering College.



Rys. 2. Kolejno: kruszywo naturalne, z recyklingu, szorowane po recyklingu, poddane działaniu H_2SO_4 i HCl

Fig. 2. Natural aggregate, treated and untreated recycled coarse aggregate

2.2.2. Mechanical treatment technique

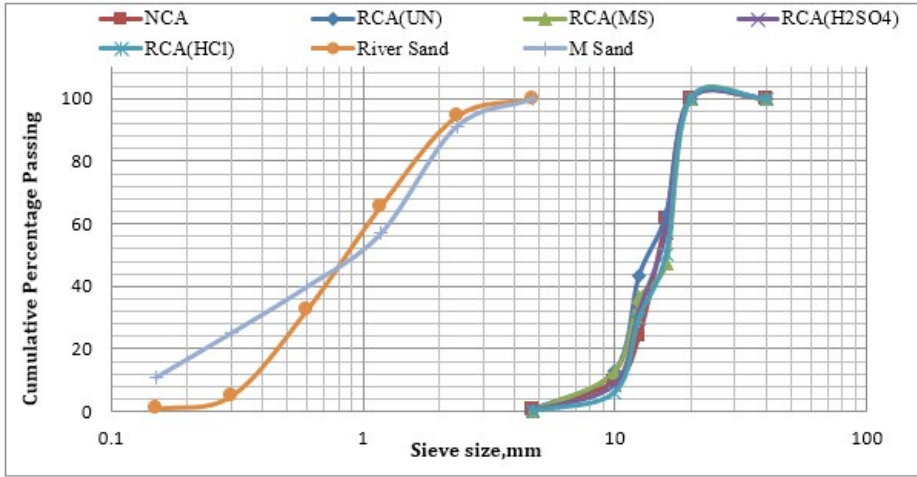
This method was evaluated by Pandurangan et al 2016 (7) and has been implemented in this study. In mechanical scrubbing technique, the raw recycled coarse aggregate is poured into the Los Angeles abrasion machine for 300 revolutions. After revolutions, the recycled aggregate is collected in a tray and sieved with a 4.75 mm sieve. The aggregate retained on 4.75 mm is washed with clean water to eliminate the powder particles. After washing the aggregate is dried out in sunlight. After the completion of treatment, the aggregate is used for concrete mixtures. RCA(MS) is abbreviated as mechanical scrubbing treated recycled aggregate. Fig. 2 represents the various types of aggregate used in this research.

2.3. Materials

In current research OPC 53 grade was used and conforming to IS 12269: 2013 (50). Except control concrete for all the mixes manufactured sand was used. The specific gravity of river sand was 2.48 and M-sand was 2.63. The fineness modulus was determined as 3 for river sand and 2.75 for M-sand. The water absorption for river sand was 0.8 % and M-sand was 3.51 %. Both the fine aggregates were coming under Zone II. The physical properties of river sand and M-sand were determined by following IS 2386-1963 (part 1-8) (48). The natural coarse aggregate was received from Thiruvakarai, Tamil Nadu. The recycled aggregate was obtained from the above 50 years demolished old building in Villupuram, from crushing an old concrete boulder. The aggregate taken for the study was retained on a 4.75 mm IS sieve. As per 383-2016 (51) particle size distribution was determined and exposed in Fig 3. The physical properties of various coarse aggregates determined by using IS 2386-1963 (part 1-8) (48) are shown in Table 1. Normal clean tap water was used for this study and taken in Mailam Engineering College.

2.4. Mix Proportioning

There is no Indian standard method for RCA mix design, IS 10262:2019 (54) is for general mix design. In this study M20 grade of concrete were used. The mix proportion is shown in Table 2. For 1 m³ of concrete, 385 kg of cement was used with 0.41 as W/C ratio. Superplasticizer were used to increase the workability in the amount of 5.77 kg/m³. In RAC, adding water plays a major role to determine the workability. The RCA is maintained as an SSD condition for concrete mixing.



Rys. 3. Skład ziarnowy kruszyw.

Fig. 3. Particle size distributions of aggregates.

Tablica 1 / Table 1

WŁAŚCIWOŚCI KRUSZYWA GRUBEGO

PROPERTIES OF COARSE AGGREGATE

Mieszanki betonowe Concrete mixes	Ciężar właściwy Specific gravity, -	Nasiąkliwość Water absorption, %	Gęstość nasypowa Bulk density, kg/m ³	Wskaźnik mialkości Fineness Modulus, -	Wytrzymałość na miażdżenie Crushing value, %	Udarność Impact value, %	Ścieralność powierzchniowa Abrasion value, %
NKG / NCA	2.74	0.8	1649	8.0	27.15	24.55	29.25
KGR(UN) / RCA(UN)	2.41	3.52	1480	7.8	38.39	31.55	46.50
KGR(MS) / RCA(MS)	2.61	2.1	1589	8.03	30.05	26.45	30.74
KGR(H ₂ SO ₄) / RCA(H ₂ SO ₄)	2.56	2.5	1574	8.01	33.55	28.25	32.45
KGR(HCl) / RCA(HCl)	2.48	2.6	1558	8.13	35.10	29.45	34.25

Tablica 2 / Table 2

SKŁAD MIESZANKI BETONOWEJ W 1 m³

DISSIMILAR CONCRETE MIX PROPORTION FOR 1 m³

Rodzaj kruszywa Aggregate types	Skład mieszanki / Mix proportioning, kg/m ³					Stosunek wodno-cementowy Water-Cement Ratio	Domieszka chemiczna Chemical Admixture, kg/m ³	Woda Water, kg/m ³
	Cement	Fine aggregate		Coarse aggregate				
		Piasek rzeczny River sand	Piasek produkowany przemysłowo Manufactured sand	Kruszywo naturalne Natural Aggregate	Kruszywo z recyklingu Recycled Aggregate			
BKN / NCA	385	622		1212		0.41	5.8	158
BKNPP / NCMC	385	-	608	1212				
KGR(ON) / RCA(UN)	385	-	608	-	1066			
KGR(MO) / RCA(MS)	385	-	608	-	1154			
KGR(H ₂ SO ₄) / RCA(H ₂ SO ₄)	385	-	608	-	1132			
KGR(HCl) / RCA(HCl)	385	-	608	-	1096			

2.4. Składy mieszanek

Nie istnieje, indyjska standardowa metoda projektowania mieszanki KGR, natomiast IS 10262:2019 (54), dotyczy ogólnego projektowania mieszanek. W tym badaniu, zastosowano beton klasy M20. Skład mieszanki, przedstawiono w tabeli 2. W 1 m³ betonu stosowano 385 kg cementu, przy stosunku w/c, wynoszącym 0,41. Dodano także 5,77 kg/m³ superplastyfikatora, w celu zwiększenia urabialności. W przypadku kruszywa grubego z recyklingu [KGR], dodanie wody odgrywa główną rolę, w kształtowaniu urabialności. KGR utrzymuje się, jako stan SNPS –saturated surface dry condition, przy mieszaniu betonu.

2.5. Przygotowanie mieszanki i wzrost właściwości użytkowych

W każdej serii odlano i zbadano, po trzy próbki do przeprowadzenia prób: wytrzymałości na ściskanie, suszenia, nasiąkliwości, z zastosowaniem kwasu siarkowego, z wykorzystaniem siarczanu sodu oraz sorpcyjnej, stosowano próbki o wymiarach 100×100×100 mm. Do badania wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu, stosowano walce, o wymiarach 100×200 mm, a wytrzymałości na zginanie – beleczki 100×100×500 mm. Właściwości mechaniczne określano po 28 i 56 dniach, a wytrzymałość po 28, 56 i 90 dniach. Każdy wynik obliczano jako średnią, dla trzech próbek.

2.6. Badanie próbek

2.6.1. Badanie wytrzymałości na ściskanie

Wpływ KGR, na wytrzymałość betonu, określono na podstawie próbek w kształcie sześciangu, o wymiarze boku 100 mm. Dla każdej serii stosowano trzy kostki, w celu określenia wytrzymałości na ściskanie różnych mieszanek, po 28 i 56 dniach. Zapisywano średnie z trzech wyników. Do badania próbek sześciennych, zastosowano maszynę ściskającą, o BKNisku 3000 kN, zgodną z normą IS 516-1959 (47). Szybkość obciążania próbek utrzymywano na poziomie 140 kg/cm² /min, aż, do skruszenia.

2.6.2. Badanie wytrzymałości na rozciąganie, przy rozłupywaniu

Do wyznaczenia wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu, stosowano próbki walcowe, o wysokości 200 mm i średnicy 100 mm. Próbę rozciągania, przy rozłupywaniu, przeprowadzano zgodnie z normą IS 5816-1999 (50). Po upływie, okresu twardnienia, do rozłupywania walca, stosowano prasę ściskającą. Dla każdej kategorii, badano po trzy próbki i notowano średni wynik.

2.6.3. Badanie wytrzymałości na zginanie

W celu określenia wytrzymałości na zginanie, odlano beleczki, o wymiarach 100×100×500 mm. Próbę zginania, przeprowadzono zgodnie z normą IS 516-1959 (47). Po okresie twardnienia, beleczki poddano próbie zginania. Badania przeprowadzano dla trzech próbek i notowano średnie wartości, wytrzymałości na zginanie.

2.5. Preparation and curing of specimens

In each series, three specimens were cast and tested. To determine compressive strength test, drying test, water absorption test, sulfuric acid test, sodium sulphate test and sorptivity test size of the samples used was 100×100×100 mm. Cylindrical samples \varnothing 100×200 mm were used to determine the split tensile strength. Prisms were used to determine the flexural strength and the size of a samples was 100×100×500 mm. Mechanical properties were determined after 28 and 56 days of hydration. Durability properties were determined for 28, 56 and 90 days, respectively. Each result was determined as the average of three samples' results.

2.6. Testing of Samples

2.6.1. Compressive strength test

To investigate the effect of RCA on concrete strength, 100 mm size cube specimens were used. Three cubes were cast in each category to find the compressive strength of various mixes at 28 and 56 days. The averages of three results were noted. The 3000 kN capacity compression machine was used to test the cube specimen, conforming with IS 516-1959 (47). The loading rates were kept at 140 kg/cm²/min, maintained until the samples to be crushed.

2.6.2. Split tensile strength test

To find out split tensile strength, cylindrical specimens of 200 mm height and 100 mm diameter were used. The split tensile strength was tested conforming to IS 5816-1999 (50). After the curing age, compressive machine were used to split the cylinder. Three samples were tested in each category and average results are noted.

2.6.3. Flexural strength test

To determine flexural strength, prisms were cast in size of 100 x 100 x 500 mm. The flexural test was conforming to IS 516-1959 (47). Three samples were tested and average values of flexural strength are noted.

2.6.4. Water absorption test

ASTM C 642-1981 (46) was followed to determine the water absorption tests. After 28, 56 and 90 days cube samples were removed from curing tank and dried out in an oven for 1 day at 105°C. The dried samples were chilled at room temperature weighted and noted. Dry specimens were immersed in water and every 2 h interval the mass was noted accurately. The values were noted up to two successive observations were the same. Water absorption % was determined by using following equation [1]

$$\% \text{ absorption} = \left[\frac{\text{Saturated mass} - \text{Dry mass}}{\text{Dry mass}} \right] \cdot 100 \quad [1]$$

2.6.5. Drying test

In the drying test, the mass loss of the concrete sample is taken and it is used to predict the durability of concrete. After 28, 56 and

2.6.4. Badanie nasiąkliwości

Badania nasiąkliwości, przeprowadzano zgodnie z normą ASTM C 642-1981 (46). Po 28, 56 i 90 dniach, próbkę sześcienną, wyjmowano ze zbiornika i suszono, w piecu przez 1 dzień, w temperaturze 105°C. Wyszuszone próbki chłodzono, w temperaturze pokojowej, ważono, a wyniki, zapisywano. Suche próbki, zanurzano w wodzie i w odstępach 2 h, zapisywano ich masę. Wartości, zanotowane dla dwóch kolejnych obserwacji, powinny być takie same. Nasiąkliwość w %, określano za pomocą następującego równania [1]:

$$\% \text{ nasiąkliwości} = \left(\frac{\text{nasycona masa} - \text{sucha masa}}{\text{sucha masa}} \right) \cdot 100 \quad [1]$$

2.6.5. Próba suszenia

W próbie suszenia mierzy się ubytek masy próbki betonu, który służy do przewidywania trwałości betonu. Po 28, 56 i 90 dniach, stwardniałe kostki wyjmują się i dokładnie waży, po przetarciu powierzchni, suchą szmatką. Próbki sześciennie przechowywane w piecu, w temperaturze 100°C i, w odstępach co 2 h, notuje się ich masę, aż dwie kolejne wartości, będą takie same. Procentowy ubytek, całej masy próbki, ocenia się, stosując klasyczny wzór [2]:

$$\text{całkowity ubytek masy w \%} = \left(\frac{w_s - w_c}{w_s} \right) \cdot 100 \quad [2]$$

gdzie: w_s – masa próbki w stanie nasyconym, powierzchniowo suchym;

w_c – masa próbki po wysuszeniu w piecu, do stałej masy.

2.6.6. Próba z wykorzystaniem kwasu siarkowego

W celu ustalenia odporności na działanie kwasu, w badaniach zastosowano próbki sześciennie, o wymiarze boku 100 mm. Próbki betonowe twardniały przez 28 dni, a masę próbek, zapisywano jako w_1 . Określono również wytrzymałość na ściskanie próbek po 28, 56 i 90 dniach twardnienia, przed zanurzeniem w rozpuszczalnikach kwaśnych. Następnie, próbki sześciennie zanurzono w 3% roztworze kwasu siarkowego, na 28, 56 i 90 dni. Po zakończeniu odpowiedniego okresu zanurzenia, próbkę wyjmowano z roztworu kwaśnego i wycierano suchą szmatką, w celu usunięcia nadmiaru wody. Następnie, zapisywano masę próbki – w_2 . Wytrzymałość na ściskanie, określano, po zanurzeniu w roztworze kwasu, przez odpowiedni okres. Utratę masy i wytrzymałości na ściskanie, oceniano przez porównanie przed zanurzeniem i po zanurzeniu, próbki sześciennej, w roztworze kwasu (45):

$$\% \text{ ubytek masy} = \left(\frac{w_1 - w_2}{w_1} \right) \cdot 100 \quad [3]$$

w_1 – masa próbki przed zanurzeniem, w roztworze kwasu,

w_2 – masa próbki, po zanurzeniu w roztworze kwasu,

$$\% \text{ spadku wytrzymałości na ściskanie} = \left(\frac{w_b - w_a}{w_b} \right) \cdot 100 \quad [4]$$

90 days cubes were taken out from curing and weighted accurately after wiping the surface with a dry cloth. The cube samples were kept in the oven at 100°C and every 2 h interval the mass was noted until two successive values were the same. The percentage of entire mass loss of the sample is evaluated as [2]

$$\text{Total mass loss in \%} = \left(\frac{w_s - w_c}{w_s} \right) \cdot 100 \quad [2]$$

where: w_s – saturated surface dry mass;

w_c – sample mass after drying in the oven to a constant mass

2.6.6. Sulphuric acid test

To determine the acid resistance 100 mm cube specimen is used in this study. The concrete specimens are cured at 28 days and the mass of the specimen is noted as w_1 . The compressive strength of the specimen is also found out for 28, 56 and 90 days curing before immersion in acid solvents. After that cube specimen has immersed into 3% of sulphuric acid solutions for 28, 56 and 90 days. After the completion of the respective immersion period, the specimen is taken out from an acidic environment and wiped with a dry cloth to remove excess surplus water on it. After that, the mass of the specimen is noted accurately w_2 . The compressive strength is found out after immersion in acid solution at respective period. The mass loss and compressive strength loss is evaluated by comparing with before immersion and after immersion of cube specimen in acid solution (45)

$$\% \text{ of mass loss} = \left(\frac{w_1 - w_2}{w_1} \right) \cdot 100 \quad [3]$$

w_1 – mass of the sample prior to immersion in acid solution

w_2 – mass of the sample later than immersion in acid solution

$$\% \text{ of compressive strength loss} = \left(\frac{w_b - w_a}{w_b} \right) \cdot 100 \quad [4]$$

w_b – compressive strength of cube sample prior to immersion in acid solution

w_a – compressive strength of cube sample later than immersion in acid solution

2.6.7. Sodium sulphate test

To determine the sulphate resistance 100 mm cube sampling is used in this learning. The concrete samples were cured at 28 days and the mass of a sample are noted as w_1 . The compressive strength of the sample for 28, 56 and 90 days curing before immersion in sulphate solution is determined. After that cube sample had immersed into 5% of sodium sulphate solutions for 28, 56 and 90 days. After the completion of the respective concentration period, the samples are taken out from sulphate solution and wiped with a dry cloth to remove excess surplus solution on it. After that, the mass of the specimen is noted accurately w_2 . The compressive

w_b – wytrzymałość na ściskanie próbki sześcienniej, przed zanurzeniem w roztworze kwasu,

w_a – wytrzymałość na ściskanie próbki sześcienniej, po zanurzeniu w roztworze kwasu.

2.6.7. Próba z zastosowaniem siarczanu sodu

W celu ustalenia odporności na działanie siarczanów, w badaniach zastosowano próbki sześciennie, o wymiarze boku 100 mm. Próbki betonowe, twardniały przez 28 dni, a masy próbek zapisano, jako w_1 . Określono wytrzymałość na ściskanie próbek po 28, 56 i 90 dniach twardnienia, przed zanurzeniem w roztworze siarczanu. Następnie, próbki sześciennie zanurzone w 5% roztworze siarczanu sodu, na 28, 56 i 90 dni. Po zakończeniu odpowiedniego okresu zanurzenia, próbki wyjmowano z roztworu i przecierano suchą szmatką, aby usunąć nadmiar cieczy. Następnie zapisywano masę próbki – w_2 . Wytrzymałość na ściskanie określa się po zanurzeniu w roztworze siarczanu, przez okres 28, 56 i 90 dni. Ubytek masy oraz utratę wytrzymałości na ściskanie, ocenia się przez porównanie masy próbek, przed zanurzeniem i po zanurzeniu próbek sześciennych, w roztworze siarczanu sodu (40):

$$\% \text{ ubytku masy} = \left(\frac{w_1 - w_2}{w_1} \right) \cdot 100 \quad [5]$$

w_1 – masa próbki, przed zanurzeniem w roztworze siarczanu

w_2 – masa próbki, po zanurzeniu w roztworze siarczanu

$$\% \text{ ubytku wytrzymałości na ściskanie} = \left(\frac{w_b - w_a}{w_b} \right) \cdot 100 \quad [6]$$

w_b – wytrzymałość na ściskanie próbki, przed zanurzeniem w roztworze siarczanu

w_a – wytrzymałość na ściskanie próbki, po zanurzeniu w roztworze siarczanu

2.6.8. Badanie sorpcyjności

Do określenia sorpcyjności betonu stosuje się próbki sześciennie o wymiarze boku 100 mm, zgodnie z normą ASTM C 1585. Badanie sorpcyjności prowadzono przez 28 dni. Po zakończeniu okresu twardnienia, kostkę przechowuje się w piecu przez 3 dni, w temperaturze $50 \pm 2^\circ\text{C}$. Na próbkę, po ochłodzeniu w temperaturze pokojowej, nakłada się dwie warstwy powłoki epoksydowej, natomiast strona zasysająca jest niepowlekana. Po nałożeniu powłoki epoksydowej, notuje się masę początkową. Próbkę sześcienną umieszcza się na tacy, a następnie wylewa się na nią wodę do wysokości 3 mm i zanurza w niej próbkę, co przedstawia rysunek 21. Pierwotne badanie sorpcyjności przeprowadza się w odstępie 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 300 i 360 min, a wtórne badanie sorpcyjności przeprowadza się na próbkach od 1 do 7 dnia, natomiast masę próbek określa się, po usunięciu nadmiaru wody z powierzchni. Pierwotną nasiąkliwość, wyznaczono po 5 do 360 minut, a wtórna po 1 do 7 dni. (43):

$$\text{sorpcyjność}(I) = [m_t / (a \cdot d)] \quad [7]$$

strength was established after immersion in sulphate solution at 28, 56 and 90 days. The loss of mass and loss of compressive strength is evaluated by comparing with before immersion and after immersion of cube samples in sodium sulphate solutions [40].

$$\% \text{ of mass loss} = \left(\frac{w_1 - w_2}{w_1} \right) \cdot 100 \quad [5]$$

w_1 – specimen mass prior to immersion in sulphate solution,

w_2 – specimen mass later than immersion in sulphate solution,

$$\% \text{ of compressive strength loss} = \left(\frac{w_b - w_a}{w_b} \right) \cdot 100 \quad [6]$$

w_b – compressive strength of the sample prior to immersion in sulphate solution,

w_a – compressive strength of the sample later than immersion in sulphate solution.

2.6.8. Sorptivity test

To determine the concrete sorptivity 100 mm size cube specimen is used and followed by ASTM C 1585. The sorptivity test was conducted for 28 days. After completion of the curing period, a cube is kept in the oven for 3 days at $50 \pm 2^\circ\text{C}$. After those two layers of epoxy coating are given to the specimen after cooling at room temperature, while the suction face is uncoated. After epoxy coating, the initial mass is noted accurately. The support is given to the cube specimen on the tray, water is poured on the tray up to 3 mm of the specimen is immersed presented in Fig. 21. The primary sorptivity test is conducted at an interval of 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 300 and 360 min and the secondary sorptivity test is conducted from 1 to 7th-day specimens mass is noted accurately after removing excess surplus water from the surface. Primary water absorption rates were plotted from 5 to 360 minutes and secondary water absorption rates were plotted from 1 to 7th day. (43)

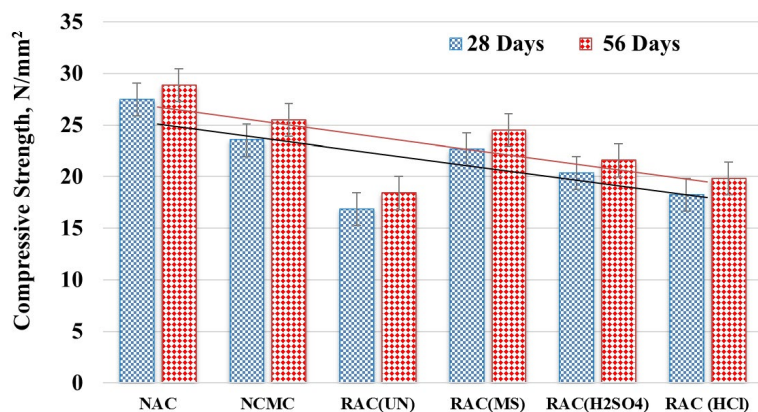
$$\text{Sorptivity}(I) = [m_t / (a \cdot d)] \quad [7]$$

where, I = sorptivity in mm, m_t = change in specimen mass in grams at time t , a = Area of specimen in mm^2 and d = density of the water in g/mm^3 .

3. Results and discussion

3.1. Compressive strength test

Compressive strength for 28 and 56 days are represented in Fig. 4 and Table 3. The strength is drastically reduced when recycled coarse aggregate is replaced in concrete. By treating with mechanical scrubbing and acid the properties of RCA are enhanced; so the compressive strength is also improved, compared to RCA-(UN) in concrete. By using RCA(UN) in concrete the strength is lowered up to 28.5% compared to NCMC and 38.8% compared



Rys. 4. Wytrzymałość na ściskanie różnych serii betonu

Fig. 4. Compressive strength of different concrete Series

gdzie, l – sorpcyjność w mm, m_t – zmiana masy próbki w gramach w czasie t , a – powierzchnia próbki w mm² i d – gęstość wody w g/mm³.

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Badanie wytrzymałości na ściskanie

Wytrzymałość na ściskanie po 28 i 56 dniach, przedstawiono na rys. 4 i w tabelicy 3. Wytrzymałość zBKNznie spada, gdy w betonie

Tablica 3 / Table 3

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE RÓŻNYCH MIESZANEK, PO 28 I 56 DNIACH

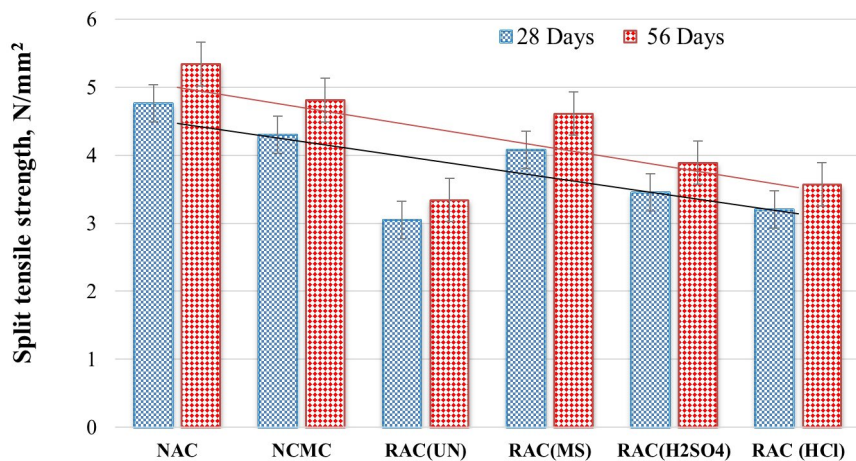
COMPRESSIVE STRENGTH OF VARIOUS MIXES AT 28 AND 56 DAYS

Serie mieszanek betonowych Concrete mix series	Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach Compressive strength at 28 days, N/mm ²	Średnia Mean, N/mm ²	Odchylenie standardowe Standard deviation, N/mm ²	Wytrzymałość na ściskanie po 56 dniach Compressive strength at 56 days, N/mm ²	Średnia Mean, N/mm ²	Odchylenie standardowe Standard deviation, N/mm ²
BKN / NAC	28.6	27.48	1.06	30.03	28.86	1.121
	26.5			27.83		
	27.35			28.72		
BKNPP / NCMC	24.5	23.55	0.926	26.71	25.52	1.131
	22.65			24.46		
	23.5			25.38		
BKR(NO) / RAC(UN)	16.75	16.83	0.3329	18.43	18.41	0.525
	17.2			18.92		
	16.55			17.87		
BKR(MS) / RAC(MS)	21.55	22.68	1.06	23.27	24.5	1.146
	23.65			25.54		
	22.85			24.68		
BKR(H ₂ SO ₄) / RAC(H ₂ SO ₄)	21.2	20.35	0.785	22.47	21.57	0.832
	19.65			20.83		
	20.2			21.41		
BKR(HCl) / RAC(HCl)	18.5	18.25	0.804	19.98	19.84	1.032
	18.9			20.79		
	17.35			18.74		

to NAC at 28 days. Similarly, the strength got reduced by 27.9 % compared to NCMC and 36.3% compared to NAC at 56 days. All three kinds of treatment have enhanced the properties of RCA; Strength is improved in the range lies between 7.78 – 25.79 % at 28 days compared to RCA (UN) in concrete and 7.20%-24.85% at 56 days compared to RCA (UN) in concrete. The mechanical scrubbing treatment plays a vital role to improve the strength of concrete and is the best method to remove the old adhered mortar on the aggregate surface. Peeling the old adhered mortar from RCA it will regain almost its original surface of aggregate and it improves the bonding capacity. After the removal of attached mortar, the RCA surface is improved so that the ITZ in between the old aggregate and new cement paste is enhanced. By removing adhered mortar, the density of concrete is improved. [1]

3.2. Split tensile strength test

Average of three sample results is shown in fig. 5 and table 4. The results show that the mechanical scrubbing treated aggregate sample had higher strength than acid-treated aggregate concrete. The RCA(MS) sample improvement was 18.8 % and 19.0% at 28 and 56 days compared to RCA(UN). When a sample is subjected to longitudinal compressive load, in vertical diameter traverse tensile stress is developed. By removing the adhered mortar, the



Rys. 5. Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu, różnych serii próbek betonu

Fig. 5. Split tensile strength of various concrete series

zastosuje się kruszywo grube z recyklingu. Przez obróbkę, w postaci szorowania mechanicznego i kwasową, właściwości kruszywa grubego z recykling [KGR] ulegają poprawie, dzięki czemu zwiększa się również wytrzymałość na ściskanie, w porównaniu z KG(NO) [niepoddany obróbce], w betonie. Przez zastosowanie KG(NO), w betonie, wytrzymałość ulega zmniejszeniu do 28,5%, w stosunku do BKNPP i 38,75%, w stosunku do BKN, po 28 dniach. Podobnie, wytrzymałość zmniejszyła się o 27,86 %, w porównaniu

surface is modified and bonding is increased. The mechanical and acid treatment of recycled aggregate enhances the surface to regain the original surface. The surface modification tends to improve the strength of concrete (8).

3.3. Flexural strength test

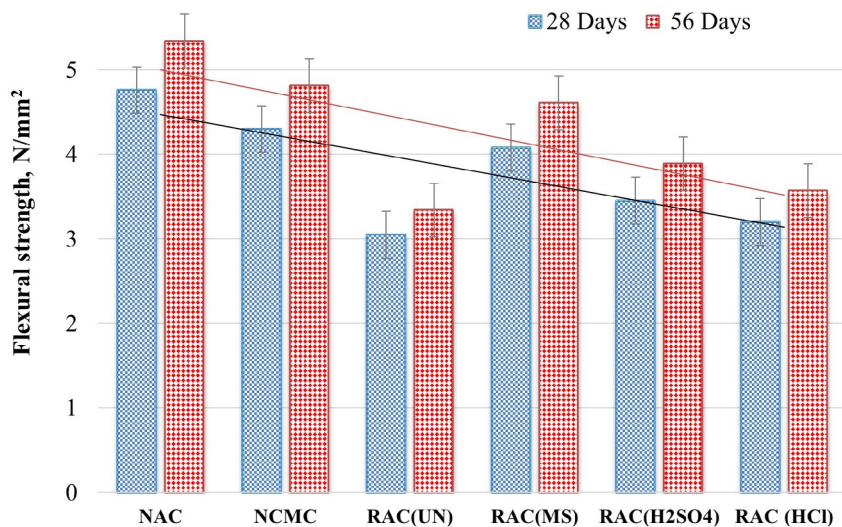
Flexural strength results are shown in Fig. 6 and Table 5. Followed by compressive strength and split tensile strength; the flexural strength also decreased while replaced with RCA. It can be modified by several surface treatments to enhance the concrete properties. Comparing mechanical and acid treatment; mechanically treated aggregate shows better results in flexural strength also. The flexural strength was improved lies in the range of 4.8% to 25.3% at 28 days, 6.3% to 27.5 % at 56 days compared to RCA(UN). The flexural strength is reduced in RCA(UN) due to the poor bond between old and latest cement paste. So, that the old mortar is removed by mechanical and acid treatment to enhance the properties of aggregate. All the treatment techniques are improved the RAC but in especially mechanical scrubbing treatment shows better performance (45).

Tablica 4 / Table 4

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ROZCIĄGANIE PRZY ROZŁUPYWANIU, PO 28 I 56 DNIACH

SPLIT TENSILE STRENGTH OF VARIOUS MIXES AT 28 AND 56 DAYS

Serie mieszanek betonowych Concrete mix series	Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach Compressive strength at 28 days, N/mm ²	Średnia Mean, N/mm ²	Odchylenie standardowe Standard deviation, N/mm ²	Wytrzymałość na ściskanie po 56 dniach Compressive strength at 56 days, N/mm ²	Średnia Mean, N/mm ²	Odchylenie standardowe Standard deviation, N/mm ²
BKN / NAC	3.73	3.72	0.04	4.1	4.15	0.059
	3.68			4.12		
	3.76			4.21		
BKNPP / NCMC	3.52	3.45	0.07	3.94	3.86	0.066
	3.38			3.82		
	3.45			3.83		
BKR(ON) / RAC(UN)	2.64	2.72	0.076	2.93	3.03	0.095
	2.74			3.04		
	2.79			3.12		
BKR(SM) / RAC(MS)	3.42	3.35	0.07	3.83	3.75	0.1193
	3.28			3.61		
	3.36			3.8		
BKR(H ₂ SO ₄) RAC(H ₂ SO ₄)	3.14	3.1	0.0053	3.45	3.44	0.0612
	3.04			3.37		
	3.12			3.49		
BKR(HCl) RAC(HCl)	2.85	2.87	0.161	3.19	3.26	0.209
	2.72			3.1		
	3.04			3.5		



Rys. 6. Wytrzymałość na zginanie, różnych mieszanek betonowych

Fig. 6. Flexural strength of various concrete mixtures

z BKR(NO) i o 36,3% w porównaniu z BKN, po 56 dniach. Wszystkie trzy rodzaje obróbki poprawiły właściwości KGR; wytrzymałość zwiększyła się od 7,8 do 25,8 %, po 28 dniach, w porównaniu do KG(NO) betonu i o 7,2 – 24,9% po 56 dniach, w porównaniu do KG(NO), w betonie. Zabieg mechanicznego szorowania, odgrywa ważną rolę w poprawie wytrzymałości betonu i jest najlepszą metodą usuwania starej, przylegającej zaprawy, z powierzchni

Tabela 5 / Table 5

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ZGINANIE RÓŻNYCH MIESZANEK BETONOWYCH, PO 28 I 56 DNIACH TWARDNIENIA

FLEXURAL STRENGTH OF VARIOUS MIXES AT 28 AND 56 DAYS

Serie mieszanek betonowych Concrete mix Series	Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach Compressive strength at 28 days, N/mm ²	Średnia Mean, N/mm ²	Standard deviation, N/mm ²	Wytrzymałość na ściskanie po 56 dniach Compressive strength at 56 days, N/mm ²	Średnia Mean, N/mm ²	Standard deviation, N/mm ²
BKN / NAC	4.86	4.76	0.106	5.44	5.34	0.152
	4.65			5.16		
	4.78			5.4		
BKNPP / NCMC	4.58	4.3	0.313	5.13	4.81	0.348
	4.35			4.87		
	3.96			4.44		
BKR(ON) / RAC(UN)	3.12	3.05	0.07	3.43	3.34	0.075
	2.98			3.31		
	3.05			3.29		
BKR(SM) / RAC(MS)	4.16	4.08	0.062	4.74	4.61	0.121
	3.98			4.5		
	4.1			4.59		
BKR(H ₂ SO ₄) RAC(H ₂ SO ₄)	3.55	3.45	0.105	3.94	3.89	0.05
	3.45			3.9		
	3.34			3.84		
BKR(HCl) RAC(HCl)	3.28	3.2	0.093	3.71	3.57	0.139
	3.23			3.55		
	3.1			3.44		

3.4. Water absorption test

The water absorption test plays a crucial role to identify better treatment techniques among mechanical and acid treatment. By extending of curing period the level of water absorption is reduced in RAC and is represented in Fig 7 (a) (b) (c) and Fig 8. The reduction of water absorption in later ages was due to the contribution of the hydration reaction in concrete. The NAC water absorption is 3.67, 3.35 and 2.95 % at curing period of 28, 56, and 90 days; which is increases to 6.6, 5.7, and 4.85 % in RAC(UN) at curing period of 28, 56, and 90 days respectively. The water absorption capacity was enhanced by all the treated aggregate concretes and especially in mechanical scrubbing it was improved higher compared to other chemical treatments. In RAC (MS) water absorption reduces to 4.55, 4.35 and 3.85 at curing time of 28, 56 and 90 days respectively compared to RAC (UN). In raw recycled aggregate have a more void structure and micro-cracks leads to consuming more water. High water absorption reduces the solid phase in a specimen, which produces a lower density of concrete specimens. The same results were concluded by previous researchers (1).

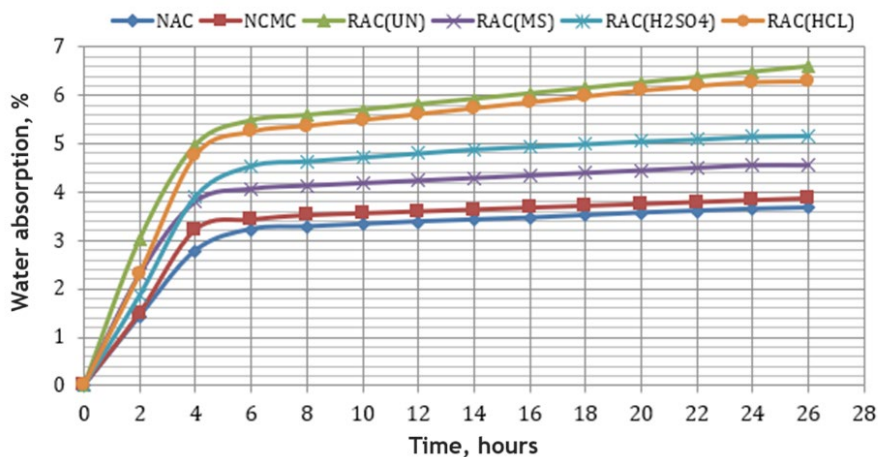
kruszywa. Złuszczenie starej, przylegającej zaprawy z KGR, powoduje odtworzenie prawie naturalnej powierzchni kruszywa i poprawia zdolność wiązania, z matrycą. Po usunięciu przyczepionej zaprawy, powierzchnia KGR jest oczyszczona i warstwa kontaktowa starego kruszywa z nowym zaczynem cementowym, jest zwiększona. Ponadto usunięcie przyczepionej zaprawy, poprawia gęstość betonu (1).

3.2. Badanie wytrzymałości na rozciąganie, przy rozłupywaniu

Średnie wyniki z trzech prób, przedstawiono na rys. 5 i w tabeli 4. Wyniki pokazują, że próbka kruszywa, poddana mechanicznemu szorowaniu, miała większą wytrzymałość niż beton z kruszywem, poddany działaniu kwasu. Poprawa w przypadku próbki KGR(MS) wynosiła 18,79% i 19,03% po 28 i 56 dniach, w porównaniu z KG(NO). Gdy próbka poddawana jest wzdłużnemu obciążeniu ściskającemu, w średnicy pionowej powstają poprzeczne naprężenia rozciągające. Przez usunięcie przyczepionej zaprawy, następuje modyfikacja powierzchni i zwiększenie przyczepności. Mechaniczna i kwasowa obróbka kruszywa z recyklingu, poprawia powierzchnię, odzyskując jej pierwotną formę. Modyfikacja powierzchni wykazuje również tendencję do poprawy wytrzymałości betonu (8).

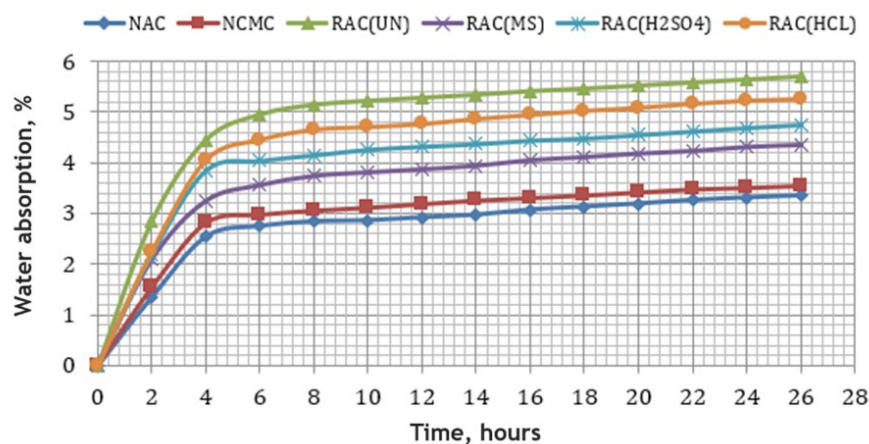
3.3. Badanie wytrzymałości na zginanie

Wyniki wytrzymałości na zginanie przedstawiono na rys. 6 i w tablicy 5. W ślad za wytrzymałością na ściskanie i rozciąganie przy rozłupywaniu, zmniejszyła się również wytrzymałość na zginanie, po zastąpieniu przez KGR. Ta ostatnia może być modyfikowana, za pomocą kilku obróbek powierzchniowych, w celu poprawy właściwości betonu. Porównując obróbkę mechaniczną i kwasową, kruszywo poddane obróbce mechanicznej wykazuje lepsze wyniki, również w zakresie wytrzymałości na zginanie. Poprawa wytrzymałości na zginanie, mieści się w zakresie 4,79 i 25,25% po 28 dniach, 6,23 i 27,46% po 56 dniach, w porównaniu z KGR(ON). Wytrzymałość na zginanie jest mniejsza w przypadku KGR(ON), ze względu na słabe wiązanie starego zaczynu cementowego, z nowym. Starą zaprawę usuwa się, przez obróbkę mechaniczną i kwasową, aby poprawić właściwości kruszywa. Wszystkie metody oczyszczania poprawiają BKR, jednak szczególnie oczyszczanie mechaniczne, daje dobre wyniki (45).



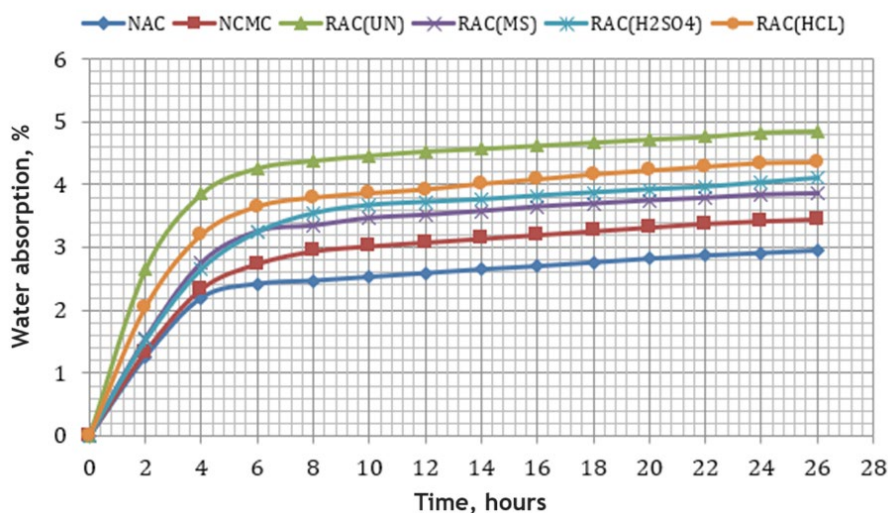
(a) Nasiąkliwość mieszanek betonowych po 28 dniach

(a) Water absorption of concrete mixtures at 28 days



(b) Nasiąkliwość mieszanek betonowych po 56 dniach

(b) Water absorption of concrete mixtures at 56 days

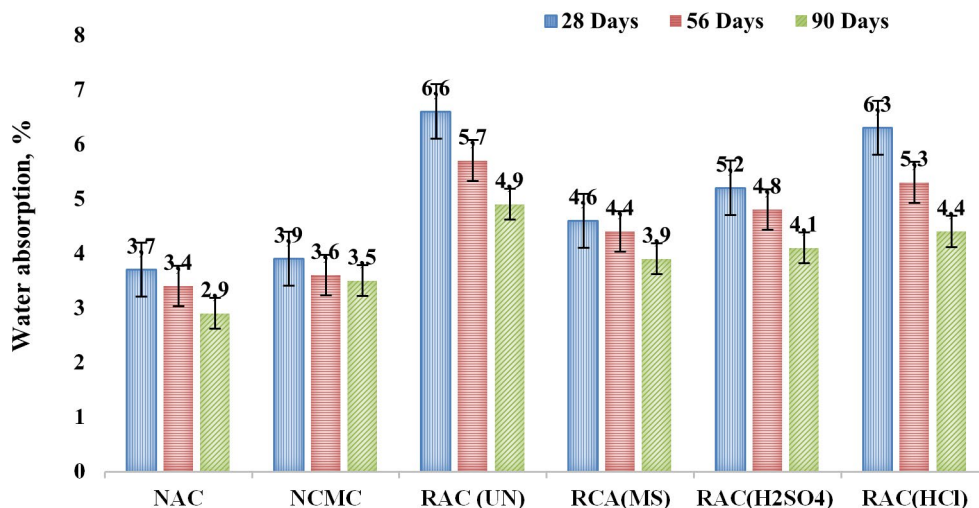


(c) Nasiąkliwość mieszanek betonowych po 90 dniach

(c) Water absorption of concrete mixtures at 90 days

Rys. 7. (a) (b) (c). Nasiąkliwość po 28, 56 i 90 dniach

Fig. 7 (a) (b) (c). The water absorption at ages of 28, 56 and 90 days



Rys. 8. Nasiąkliwość różnych mieszanek po 28, 56 i 90 dniach

Fig. 8. Water Absorption of Different Mixes at 28, 56 and 90 days

3.4. Badanie nasiąkliwości

Badanie nasiąkliwości, odgrywa ważną rolę w wyborze lepszych metod obróbki, mechanicznej i kwasowej. Przez zwiększenie okresu twardnienia, zmniejsza się poziom nasiąkliwości w BKR, co przedstawiają rys. 7 (a) (b) (c) i rys. 8. Obniżenie nasiąkliwości w późniejszych fazach twardnienia, wynikało z przebiegu reakcji hydratacji w betonie. Nasiąkliwość BKN wynosiła 3,67, 3,35 i 2,95 %, po okresie twardnienia przebiegająca 28, 56 i 90 dni, co zwiększa się do 6,6, 5,7 i 4,85 % w BKR(NO), po odpowiednio 28, 56 i 90 dniach. Nasiąkliwość wzrosła, w przypadku wszystkich betonów z kruszywem z recyklingu, a szczególnie była większa w przypadku mechanicznego oczyszczania, w porównaniu z inną obróbką, np. chemiczną. W przypadku BKR(SM), nasiąkliwość zmniejsza się do 4,6, 4,4 i 3,9, po czasie twardnienia wynoszącą odpowiednio 28, 56 i 90 dni, w porównaniu do BKR(NO). W surowym kruszywie z recyklingu, mikrostruktura jest słabo wykształcona, a mikropęknięcia powodują większe zużycie wody. Duża nasiąkliwość zmniejsza ilość fazy stałej w próbce, co powoduje mniejszą gęstość mieszanek betonowych. Do takich samych wniosków, doszli poprzedni autorzy (1).

3.5. Próba suszenia

Próba suszenia, wykazuje bezpośrednio przepuszczalność próbki betonowej. Z uwagi na trwałość betonu, przepuszczalność próbek jest ważnym czynnikiem. Na rys. 9 (a) (b) (c) i rys. 10, przedstawiono ubytek masy próbek betonowych w %, po różnym okresie twardnienia.

Podobne problemy, występujące w przypadku badania nasiąkliwości, są w utBKRIe masy, w próbie suszenia. Straty masy podczas suszenia BKR(NO), są większe niż w przypadku BKN. Po dłuższym okresie twardnienia, utrata masy po suszeniu jest minimalna, przy czym spełnione są warunki ciągłej hydratacji. Ubytek masy po suszeniu w BKN, wynosi 2,7, 2,2 i 1,8%, który ulega zwiększeniu w BKR(NO) i wynosi 6,8, 5,3 i 4,1% po twardnieniu, odpowiednio

3.5. Drying test

The drying test directly indicates the permeability of the concrete specimen. To measure the durability of concrete permeability of specimen shows a clear suggestion. Figs. 9 (a) (b) (c) and 10 show the mass loss percentage of concrete specimens at different curing ages. Similar issues faced in the water absorption test are observed in the mass loss of the drying test also. The mass losses on drying of RAC(UN) are higher than that of NAC. At higher curing ages the mass loss on drying is minimized, while continuous hydration reaction is satisfied. Loss of mass on drying in NAC is 2.74, 2.2 and 1.84%; which is increased in RAC(UN) is 6.75,

5.26 and 4.13% at curing ages of 28, 56 and 90 days respectively. The drying loss is minimized by RAC(MS) are 4.8, 3.93 and 3.18 at age of 28, 56 and 90 days respectively. Other researchers reported as due to high porosity and voids present in recycled aggregate shows a decline in results. By treating the RCA mass loss on drying is minimized by mechanical and chemical treatment. The especially maximum reduction is determined by RAC(MS) specimens (1).

3.6. Sulphuric acid test

Acid resistance is one of the crucial properties mandatories in a chemical environment. The Concrete has a slight resistance to acid attack, due to higher calcium compounds. Fig. 11 and 12 shows the mass loss and compressive strength loss at the age of 28, 56 and 90 days deep in an acidic environment. The RAC (UN) specimen represents decreases in mass and compressive strength against acid environment at all the ages of concrete compared to NAC. For example, the NAC specimen mass loss is 2.69, 3.85 and 4.42 %; which is increases to 4.99, 7.13 and 8.2 % for RAC(UN) at 28, 56 and 90 days respectively. The compressive strength loss for NAC is 3.7, 4.9 and 6.5 %; which increases to 7.7, 10.3 and 13.8 % for RAC(UN) at 28, 56 and 90 days respectively.

In various treated aggregates, the improvement is noted against acid resistance. Among all the treatments, RAC(MS) shows better resistance compared to RAC(UN). Removal of old adhered mortar in recycled aggregate reduces the porosity and absorption capacity. The RAC(MS) shows higher resistance against acid attack is better than RAC(UN) in all ages. For example, the losses of mass for RAC(MS) represent 3.5, 5.0 and 5.7 % respectively at 28, 56 and 90 days. The loss of compressive strength for RAC(MS) is 5.1, 6.8 and 9.0 % at 28, 56 and 90 days respectively. The reduction of mass loss and compressive strength is improved in RAC(MS) compared to RAC(UN). But compared to NAC the losses are high in all the treated aggregate concrete. This is associated with higher absorption capacity and porosity of RAC(UN) than NAC, due to this acidic ion have penetrated the concrete and caused

28, 56 i 90 dni. Straty suszenia są zmniejszone przez zastosowanie mechanicznego czyszczenia – BKR(SM) i wynoszą 4,8, 3,9 oraz 3,2%; odpowiednio po 28, 56 i 90 dniach.

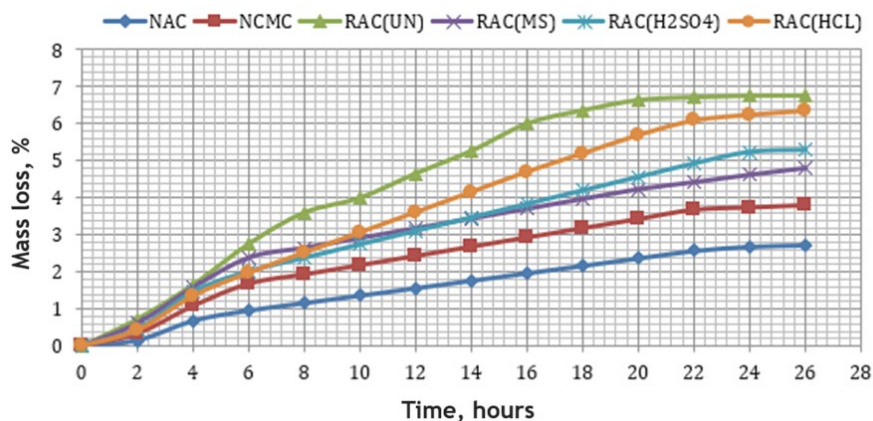
Inni autorzy podali, że ze względu na dużą porowatość i puste przestrzenie matrycy w betonie, z kruszywem pochodzącym z recyklingu, wyniki badań ulegają pogorszeniu. Dzięki zabiegom mechanicznym i chemicznym KGR, utrata masy w procesie suszenia, jest zmniejszona. Szczególnie duże zmniejszenie wykazują próbki BKR(SM) (1).

3.6. Próba z kwasem siarkowym

Odporność na działanie kwasów jest jedną z najważniejszych właściwości, wymaganych w środowisku chemicznym. Beton ma niewielką odporność na działanie kwasów, ze względu na dużą zawartość związków wapnia. Na rys. 11 i 12 przedstawiono ubytek masy i spadek wytrzymałości na ściskanie po 28, 56 i 90 dniach, w środowisku kwaśnym. Próbka BKR(NO) wykazuje spadek masy i wytrzymałości na ściskanie, w środowisku kwaśnym, w każdym okresie eksploatacji betonu, w porównaniu z BKN. Dla przykładu, utrata masy próbki BKN wynosi 2,7, 3,9 i 4,4%; a wzrasta do 5,0, 7,1 i 8,2% dla BKR(NO), odpowiednio po 28, 56 i 90 dniach. Utrata wytrzymałości na ściskanie dla BKN wynosi 3,7, 4,9 i 6,5%; a zwiększa się do 7,7, 10,3 i 13,8% dla BKR(NO), odpowiednio po 28, 56 i 90 dniach.

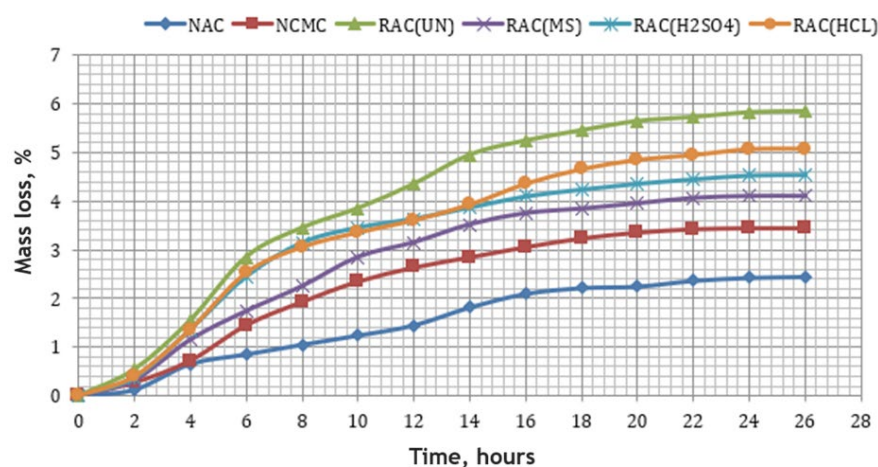
W różnych kruszywach poddanych oczyszczaniu, stwierdza się poprawę odporności na kwasy. Spośród wszystkich zabiegów, lepszą odporność wykazuje BKR(SM), w porównaniu do BKR(NO). Usunięcie starej, przylegającej zaprawy na kruszywie z recyklingu, zmniejsza porowatość i chłonność BKR(SM) oraz wykazuje większą odporność, na działanie kwasów. Jest także lepszym rozwiązaniem niż BKR(UN), po wszystkich okresach czasu. Dla przykładu, ubytki masy w przypadku BKR(MS) wynoszą 3,5, 5,0 i 5,7%, odpowiednio po 28, 56 i 90 dniach. Utrata wytrzymałości na ściskanie dla BKR(SM) wynosi 5,1, 6,8 i 9,0%, odpowiednio po 28, 56 i 90 dniach.

Zmniejszenie ubytku masy i wytrzymałości na ściskanie, są lepsze w przypadku BKR(MS), w porównaniu z BKR(NO). Jednak, w porównaniu z BKN straty są duże, we wszystkich betoBKNh, wykonanych z wykorzystaniem oczyszczonego kruszywa. Jest to związane z większą chłon-



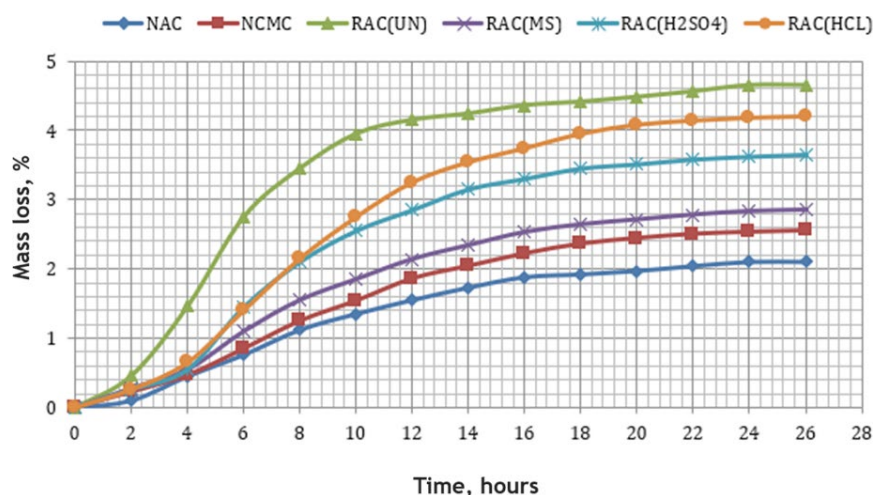
(a) Ubytki masy mieszanek betonowych, suszonych przez 28 dni

(a) Mass losses of concrete mixes on drying at 28 days



(b) Ubytki masy mieszanek betonowych, suszonych przez 56 dni

(b) Mass losses of concrete mixes on drying at 56 days

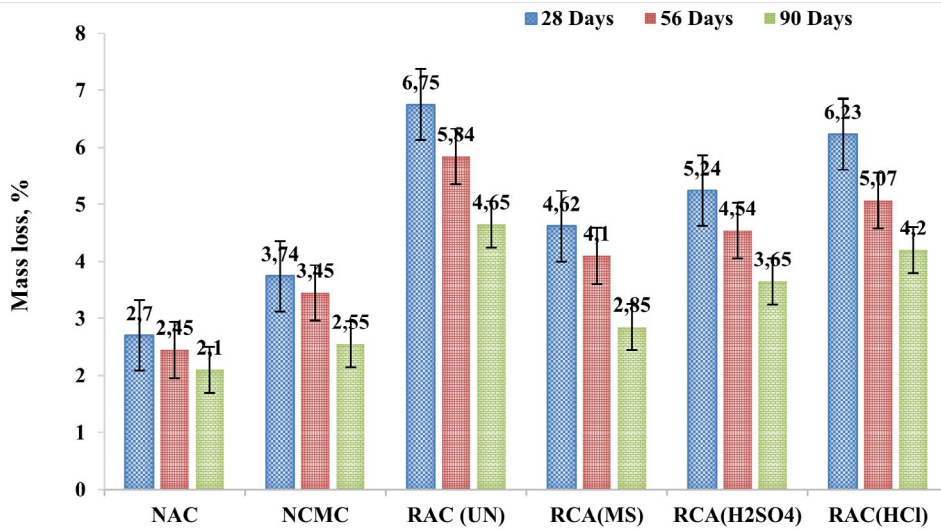


(c) Ubytki masy mieszanek betonowych, suszonych przez 90 dni

(c) Mass losses of concrete mixes on drying at 90 days

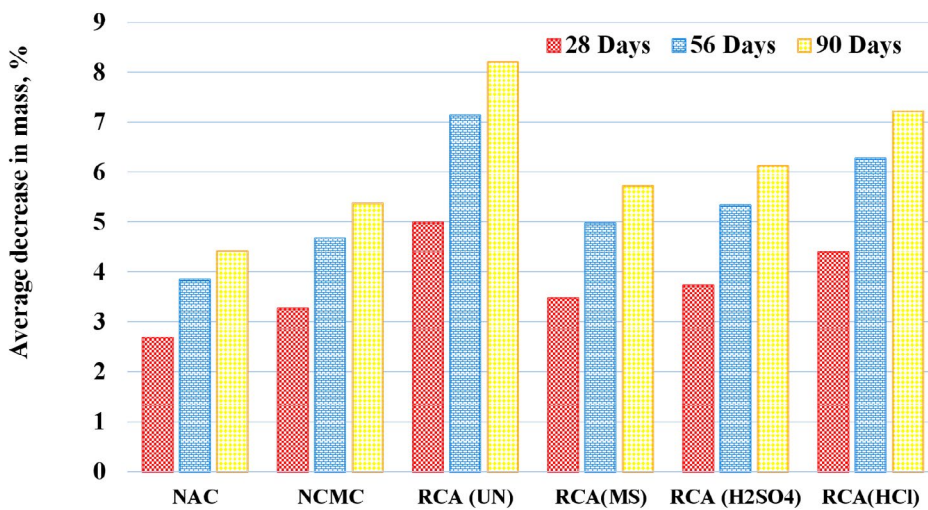
Rys. 9 (a) (b) (c). Ubytki masy różnych mieszanek, suszonych przez 28, 56 i 90 dni

Rys. 9 (a) (b) (c). Loss of mass on drying of different mixes at 28, 56 and 90 days



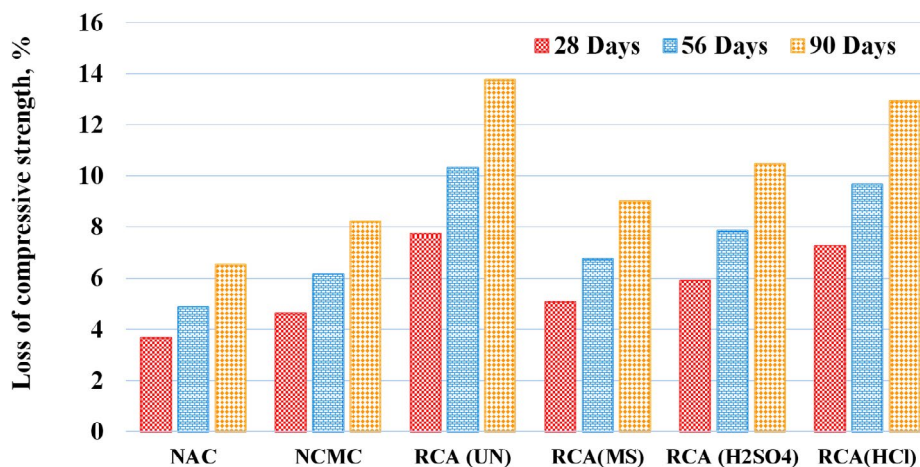
Rys. 10. Ubytek masy mieszanek, suszonych przez 28, 56 i 90 dni

Fig. 10: Loss of mass on drying at 28, 56 and 90 days



Rys. 11. Średnie zmniejszenie masy

Fig. 11. Average reductions in mass



Rys. 12. Średni spadek wytrzymałości na ściskanie

Fig. 12. Average loss of compressive strength

a suspension of calcium silicate hydrate (C-S-H) and calcium hydroxides in concrete are decalcification. Past researchers are also given similar results (45).

3.7. Sodium sulphate test

Figure 13 and 14 represents the loss of mass and compressive strength after immersion of specimen under sodium sulphate environment for 28, 56 and 90 days respectively. The losses are increased; while the immersion period is increased. The loss of mass for NAC is 0.56, 1.32 and 1.85 %; which is increases in RAC(UN) 1.8, 2.5 and 3.2% at curing period of 28, 56 and 90 days respectively. Similarly, loss in compressive strength for NAC is 2.1, 3.2 and 5.4, which is increases for RAC(UN) is 5.63, 8.5 and 10.23% at curing period of 28, 56 and 90 days. The mechanical scrubbing treated aggregate shows better performance compared to other treatments. The mass loss of RAC(MS) is 1.04, 1.72 and 2.32 %; losses in compressive strength of RAC(MS) are 3.3, 4.7 and 6.3 at curing period of 28, 56 and 90 days respectively. RAC(MS) has reduced the mass loss and compressive strength loss compared to RAC(UN). The entire three treated specimen shows better performance in sulphate resistance, but especially RAC(MS) shows the better outcome. The higher absorption capacity leads to becoming more losses (40).

3.8. Sorptivity test

Figs. 15 and 16 shows the primary [5 min to 6 h] and secondary [1 to 7 days] water sorptivity result at 28 days and time $[m^{1/2}]$ represents that the time period of capillary rise of water. The RAC(UN) specimen has increased in water sorptivity results compared to NAC and NCMC. The RCA(UN) has high porosity and water absorption capacity so it has high water sorptivity results. The RCA(UN) has a very poor quality of concrete, due to adhered mortar present on it. The secondary sorptivity result clearly shows the variation of water sorptivity. The recycled aggregate has been treated with mechanical scrubbing and acid treatment to take away the attached mortar on the aggregate surface. Mechanical scrubbing is the best method

nością i porowatością BKR(NO), niż BKN. Dzięki temu jony wapnia, przenikają do betonu i zwiększają zawartość fazy C-S-H, a stężenie wodorotlenku wapnia ulega w betonie zmniejszeniu. Podobne wyniki, wcześniej otrzymali również inni autorzy (45).

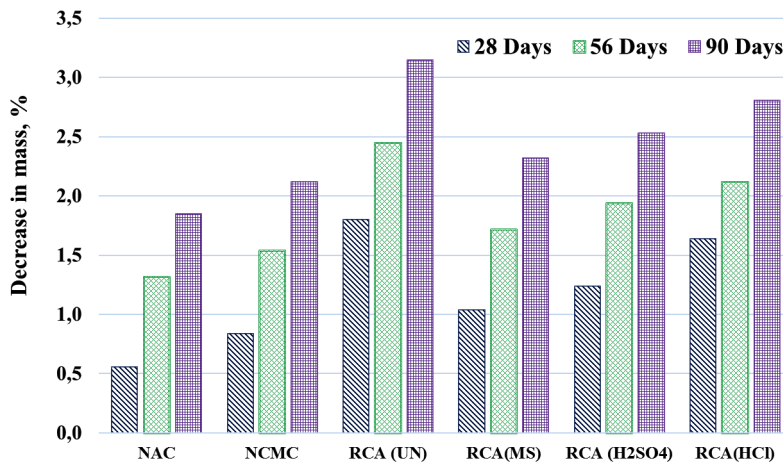
3.7. Próba z wykorzystaniem siarczanu sodu

Rysunki 13 i 14 przedstawiają utratę masy i wytrzymałości na ściskanie, po zanurzeniu próbek w środowisku siarczanu sodu, przez 28, 56 i 90 dni. Po dłuższych okresach zanurzenia, zwiększają się straty masy. Ten ubytek masy dla BKN wynosi 0,56, 1,3 i 1,9%, a w przypadku BKR(NO) wzrasta do 1,8, 2,5 i 3,2%, po okresie twardnienia, wynoszącym odpowiednio 28, 56 i 90 dni. Podobnie utrata wytrzymałości na ściskanie dla BKN, wynosi 2,1, 3,2 i 5,4, a wzrasta dla BKR(NO) do 5,6, 8,5 i 10,2%, po okresie twardnienia wynoszącym 28, 56 i 90 dni. Kruszywo poddane mechanicznemu szorowaniu, wykazuje lepsze właściwości, w porównaniu z pozostałymi metodami oczyszczania. Ubytek masy dla BKR(SM), wynosi 1,0, 1,7 i 2,3%. Straty wytrzymałości na ściskanie BKR(SM) wynoszą 3,3, 4,7 i 6,3, po okresie twardnienia przez 28, 56 i 90 dni. W przypadku BKR(SM) stwierdzono mniejszy ubytek masy i spadek wytrzymałości na ściskanie, w porównaniu z BKR(NO).

Wszystkie trzy, poddane obróbce próbki wykazują lepszą odporność na siarczany, a szczególnie BKR(SM), ma najlepszy wynik. Większa zdolność absorpcyjna siarczanów, powoduje coraz większy ubytek masy (40).

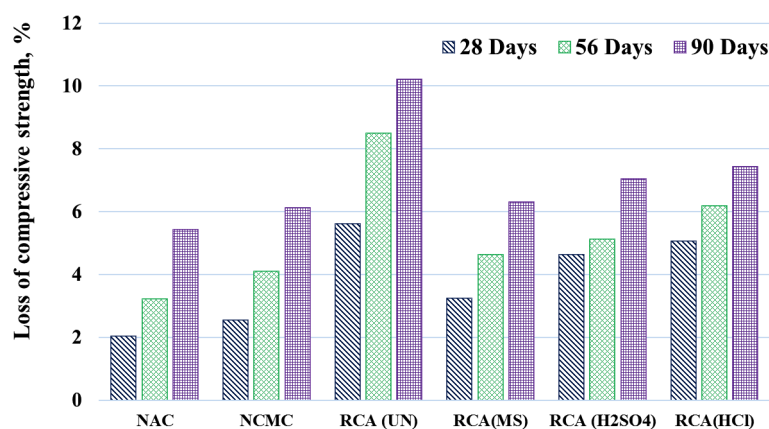
3.8. Badanie sorpcyjności

Na rysunkach 15 i 16 przedstawiono wyniki sorpcyjności pierwotnej – od 5 min do 6 h i wtórnej – od 1 do 7 dni oraz po 28 dniach, a czas w $m^{1/2}$, oznacza okres podciągania kapilarnego wody. W próbce KG(NO) stwierdzono wzrost sorpcyjności, w porównaniu z BKN i BKNPP. KG(NO) ma dużą porowatość i nasiąkliwość, więc wykazuje zBKLną sorpcyjność. KGR (UN) wykazuje bardzo złą jakość betonu, ze względu na przylegającą do niego zaprawę. Sorpcyjność wtórna wyraźnie pokazuje jej zmienność. Kruszywo z recyklingu zostało poddane mechanicznemu szorowaniu oraz obróbce kwasowej, w celu usunięcia przyczepionej zaprawy, z powierzchni kruszywa. Mechaniczne szorowanie jest najlepszą metodą na usunięcie zaprawy, przyczepionej do kruszywa. Po usunięciu tej zaprawy zmniejsza się nasiąkliwość i poprawiają się również wyniki sorpcyjności. Wszystkie betony z oczyszczonym kruszywem poprawiły swoje właściwości, ale ważną rolę w usuwaniu przylegającej zaprawy, odgrywa mechaniczne szorowanie (43).



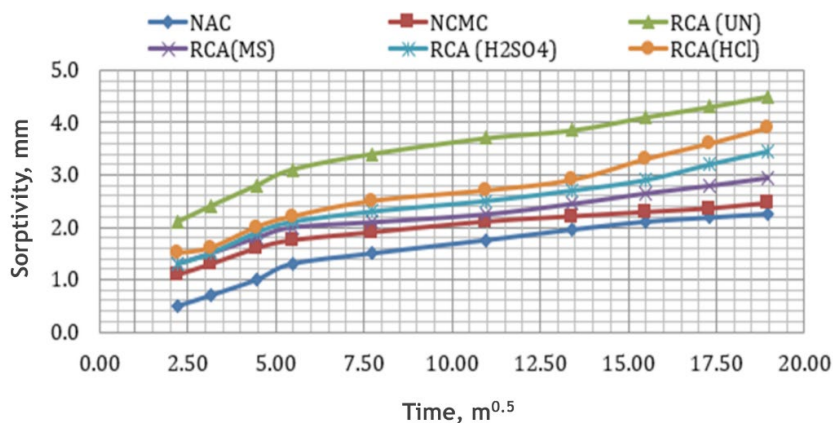
Rys. 13. Średnie zmniejszenie masy

Fig. 13. Average reductions in mass



Rys. 14. Średnie zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie

Fig. 14. Average Loss of Compressive Strength



Rys. 15. Pierwotny wskaźnik sorpcyjności

Fig. 15. Primary rate of water sorptivity

to remove the adhered mortar on it. After removal of attached mortar, the water absorption capacity is reduced and it's improved in the sorptivity test also. All the treated aggregate enhanced its properties but mechanical scrubbing plays a major role to reduce the adhered mortar (43).

3.9. Skaningowa mikroskopia elektronowa

W celu analizy morfologii i mikrostruktury betonów, z różnymi kruszywami, wykorzystano skaningowy mikroskop elektronowy. Na rysunku 17 przedstawiono mikrostrukturę betonu z kruszywem naturalnym, betonu z kruszywem bez obróbki i betonu z kruszywem z recyklingu, poddanym obróbce. BKR(NO) wykazywał więcej przyczepionej starej zaprawy i była ona usuwana za pomocą wszystkich trzech rodzajów obróbki.

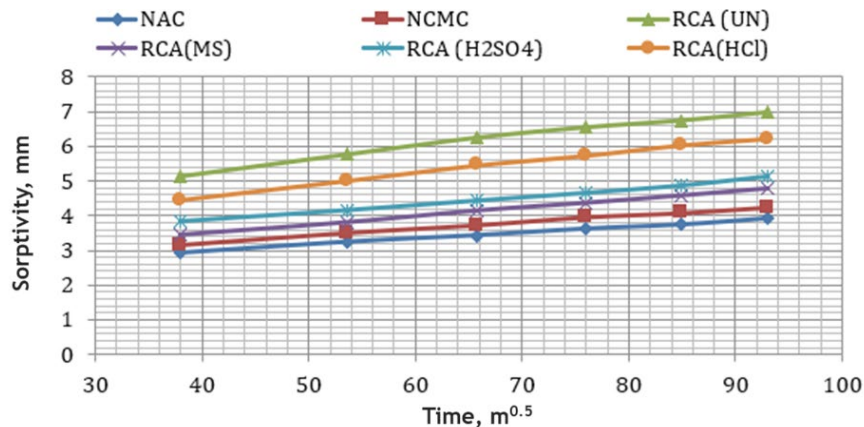
Stwierdzono, że więcej przyczepionej zaprawy, usunięto w przypadku zastosowania BKR(SM), a mniejszą dla BKR(HCl), co przedstawiono na rys. 17. Kruszywo w betonie BKR(SM) wykazuje poprawę powierzchni, w porównaniu z pozostałymi kruszywami, poddanymi obróbce. Po usunięciu przyczepionej zaprawy zwiększono gęstość betonu, w porównaniu z betonem, z nieoczyszczonym kruszywem (55).

3.10. Zdjęcia przekroju poprzecznego

Warstwa kontaktowa z ziarnami kruszywa [WKZK] została pokazana, na rysunkach 18. WKZK, odnosząca się do kruszywa i zaczynu cementowego, stanowiła ładny obszar w betonie. W przekroju poprzecznym BKN i BKNPP (rys. 18 a i b) stwierdzono, że występuje mniejsza porowatość, a gęstość matrycy betonowej, jest doskonała. W BKR (UN) korozja starego kruszywa z recyklingu, jest widoczna na jego powierzchni, a w strefie WKZK widać znaczne przyleganie zaprawy, co pokazano na rys. 18c. W betonie z kruszywem poddanym obróbce, obszar WKZK wykazuje mniej przylegającej zaprawy, zgodnie z rys. 18 d, e, f. Przez zmniejszenie przyczepionej zaprawy, w większym stopniu poprawia się wiązanie zaczynu cementowego z kruszywem (8, 17, 55).

4. Wnioski

1. Właściwości fizyczne poddanego obróbce kruszywa grubego z recyklingu, są lepsze niż analogicznego kruszywa niepoddanemu obróbce.
2. Wytrzymałość na ściskanie ulega znacznemu pogorszeniu, po dodaniu kruszywa z recyklingu, a wzrasta po zastosowaniu kruszywa, poddanego różnym zabiegom. Wytrzymałość zwiększyła się w zakresie 7,8 - 25,8 % po 28 dniach i 7,2 - 24,9% po 56 dniach, w odniesieniu do betonu BKR(NO).
3. Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu, również zmniejszyła się po wprowadzeniu KGR. Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu, zwiększa się w przypadku BKR(SM). Wyniki poprawiły się o 18,8 i 19,0% po 28 i 56 dniach, w porównaniu do BKR(NO).
4. Podobnie wytrzymałość na zginanie ulega pogorszeniu, w przypadku zastąpienia kruszywa naturalnego, kruszywem



Rys. 16. Wtórny wskaźnik sorpcyjności

Fig. 16. Secondary rate of water sorptivity

3.9. Scanning electron microscope

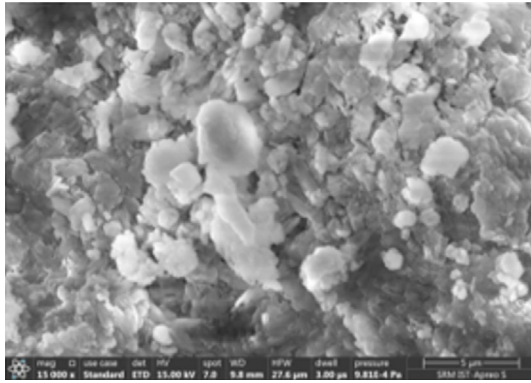
The scanning electron microscope [SEM] was used to observe morphological and microstructure characteristics of various aggregate concrete. The microstructure of natural aggregate concrete, untreated and treated recycled aggregate concrete were shown in Fig. 17 (a-f). The RCA(UN) has attached more old mortar and it was removed in all three kinds of treatment. It was found that better removal of adhered mortar was observed in RCA(MS) and removal of lesser adhered mortar was observed in RCA(HCl) in Fig. 17 (a-f) (8). The RCA(MS) shows better improvement in surface characteristics than other treated aggregates. After removal of adhered mortar the densification of concrete were increased compared to untreated aggregate concrete (55).

3.10. Photographic view of cross section

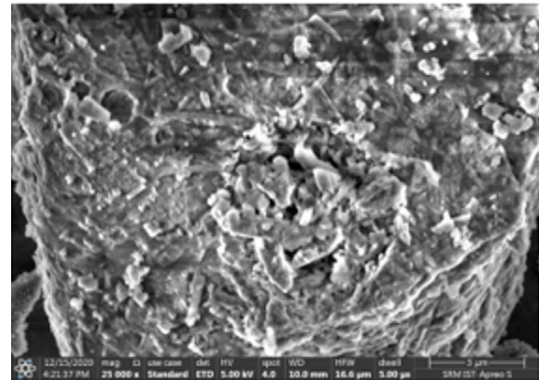
The interfacial transition zone [ITZ] was shown in Fig. 18a - 18f. The ITZ concerning aggregate and cement paste was significant region in concrete. From the cross sectional view of NAC and NCMC [Figs. 18a and 18b] observed that limited porous are found and density of concrete matrix was excellent. In RCA(UN) the corrosion of old recycled aggregate are exposed in surface and more significant adhered mortar are seen in ITZ area are shown in fig. 18(c). The adhered mortar in the ITZ area are minimized in treated aggregate concrete and seen in figs. 18 d, e and f. By reducing the attached mortar the bonding between cement paste and aggregate are enhanced more significantly (8,17,55).

4. Conclusions

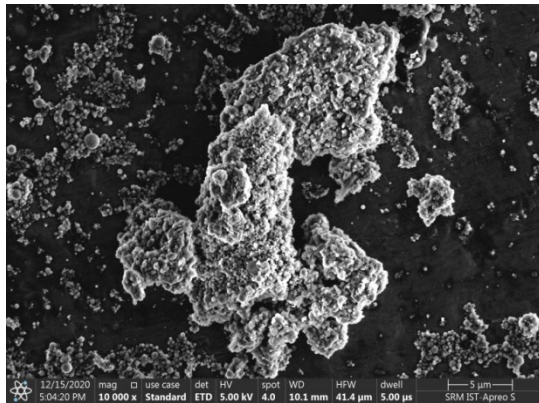
1. The physical properties of treated RCA are shown improved performance than the untreated RCA.
2. The compressive strength is significantly reduced by replacing with recycled aggregate and it's improved by being replaced with various treated aggregate. The strength has increased with a range of 7.8 – 25.8% at 28 days and 7.2-24.9% at 56 days compared to RCA(UN) in concrete.



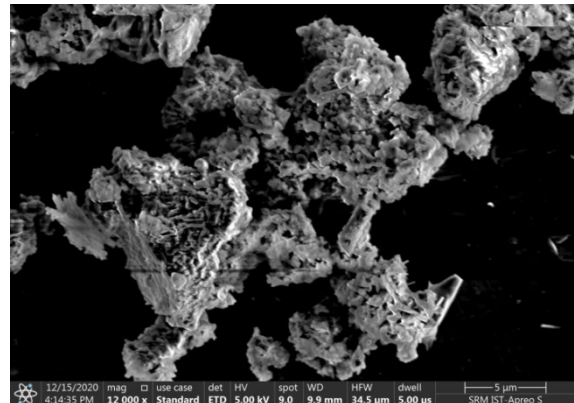
(a) Beton z kruszywa naturalnego
(a) Natural aggregate concrete [NAC]



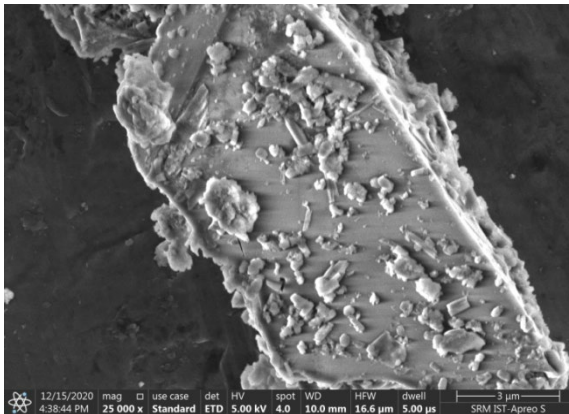
(b) Beton z kruszywa naturalnego i piasku produkowanego fabrycznie
(b) NAC and M-Sand concrete



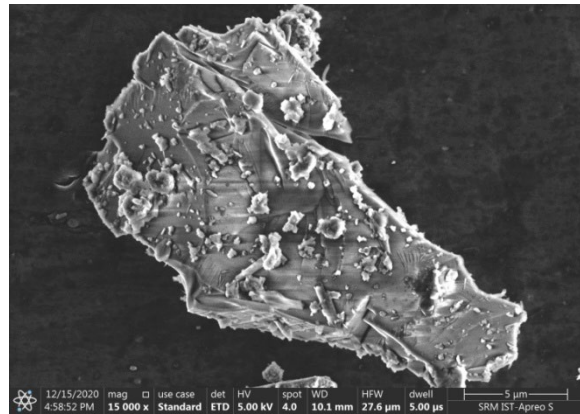
(c) Niepoddane obróbce kruszywo grube z recyklingu
(c) Untreated recycled coarse aggregate Concrete RCA(UN)



(d) Beton z kruszywem z recyklingu, poddanym szorowaniu mechanicznemu
(d) Mechanical scrubbing treated recycled aggregate concrete RCA(MS)



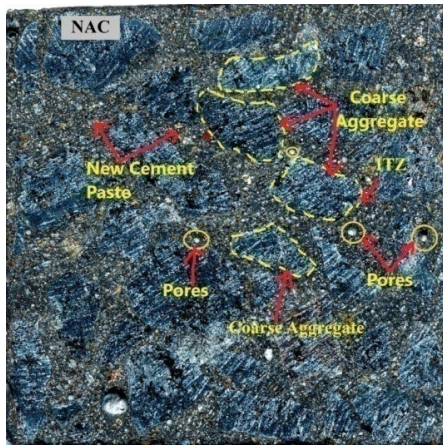
(e) Beton z kruszywem z recyklingu, poddanym działaniu kwasu siarkowego
(e) Sulphuric acid treated recycled aggregate concrete RCA(H₂SO₄)



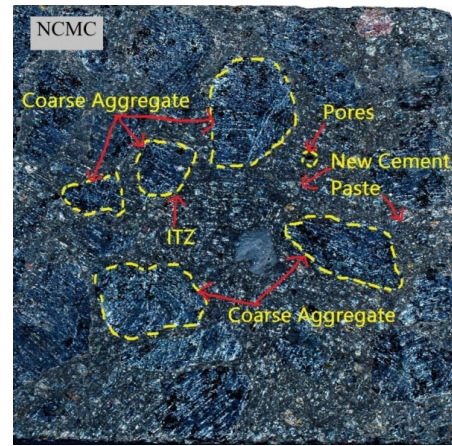
(f) Beton z kruszywem z recyklingu, poddanym działaniu kwasu solnego
(f) Hydrochloric acid treated recycled aggregate concrete RCA(HCl)

Rys. 17. Obrazy SEM kruszywa grubego, betonu z kruszywem z recyklingu poddanym i niepoddanym obróbce

Fig. 17. SEM image of coarse aggregate, treated and untreated recycled aggregate concrete



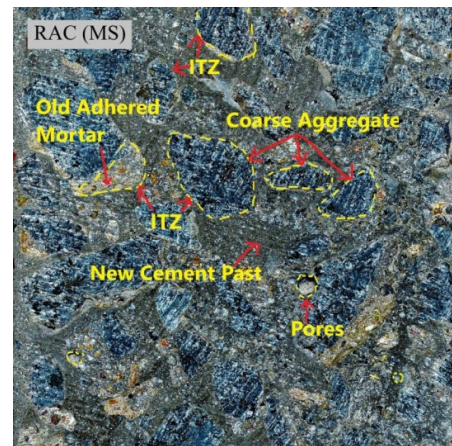
(a) Naturalne kruszywo drobne i grube
(a) Natural fine and coarse aggregate [NAC]



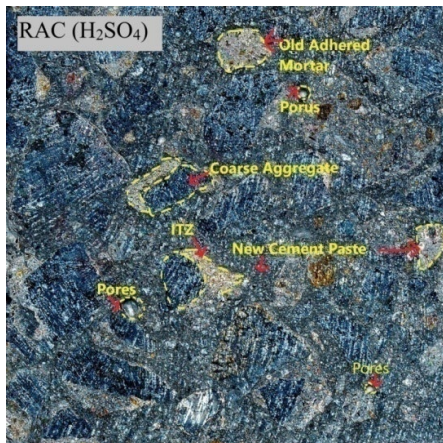
(b) Beton z naturalnym kruszywem grubym i piaskiem produkowanym fabrycznie
(b) Natural coarse aggregate and M-sand Concrete [NMC]



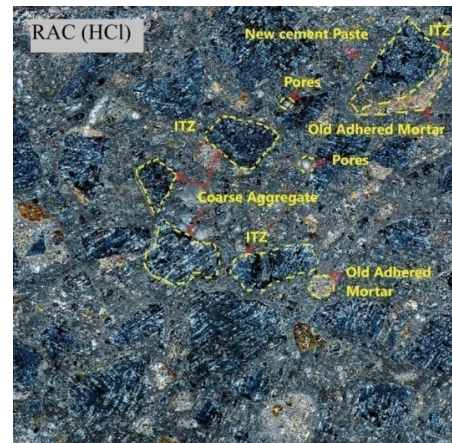
(c) Beton z kruszywem z recyklingu i piaskiem przemysłowym
(c) Untreated recycled aggregate and M-sand concrete RAC(UN)



(d) Beton z kruszywem z recyklingu, poddanym szorowaniu mechanicznemu i piaskiem przemysłowym
(d) Mechanical scrubbing treated aggregate and M-sand concrete RAC(MS)



(e) Beton z kruszywem z recyklingu, poddanym działaniu kwasu siarkowego, z piaskiem przemysłowym
(e) Sulphuric acid treated aggregate and M-sand Concrete RAC(H₂SO₄)



(f) Beton z kruszywem z recyklingu, poddanym działaniu kwasu solnego, z piaskiem przemysłowym
(f) Hydrochloric acid treated aggregate and M-sand concrete RAC(HCl)

Rys. 18. Przekrój kruszywa grubego, betonu z kruszywem z recyklingu poddanym i niepoddanym obróbce

Fig 18. Cross section of coarse aggregate, treated and untreated recycled aggregate concrete

- z recyklingu. Poprawa wytrzymałości następuje w zakresie 4,8 - 25,3 % po 28 dniach i 6,2 - 27,5 % po 56 dniach, w odniesieniu do BKR(NO).
5. W badaniu nasiąkliwości wyniki uległy poprawie, w późniejszym przedziale czasowym. Po 90 dniach następuje poprawa nasiąkliwości, dzięki ciągłemu procesowi hydratacji cementu. Stwierdzono, że beton z kruszywem z recyklingu, absorbuje więcej wody, z powodu starej, przylegającej zaprawy, którą zawiera. Powierzchnia starej zaprawy jest bardziej porowata, więc wchłania więcej wody.
 6. W próbie suszenia ubytek masy jest większy, w betonie z kruszywem z recyklingu. Natomiast porównując okresy 28, 56 i 90 dni, wyniki po 90 dniach poprawiły się w zakresie ubytku masy, ze względu na zakończenie procesu hydratacji. Strata przy suszeniu jest najmniejsza w przypadku BKR(SM) i wynosi odpowiednio 4,8, 3,9 i 3,2% po różnym wieku twardnienia. Zabieg mechanicznego szorowania, daje lepsze wyniki, w porównaniu z innymi zabiegami.
 7. Odporność na kwas siarkowy wskazuje na osiągniętą dużą wytrzymałość. Po 90 dniach ubytek masy i wytrzymałości na ściskanie, są znaczne w porównaniu z 28-dniowym, zanurzeniem w roztworach kwasów. Ubytek masy i wytrzymałość na ściskanie, ulegają zwiększeniu w przypadku BKR(SM). Ubytek masy w przypadku BKR(SM) wynosi 3,5, 5,0 i 5,7%, a spadek wytrzymałości na ściskanie dla BKR(SM) wynosi 5,1, 6,8 i 9,0% , odpowiednio po 28, 56 i 90 dniach.
 8. Próba odporności na siarczany wykazuje odporność na atak soli. BKR(NO) wykazuje słabą odporność, która jest poprawiona w każdym wieku, dla BKR(SM). Dłuższy czas zanurzenia w roztworze siarczanów, powoduje gwałtowny wzrost ubytku masy i stratę wytrzymałości przy ścisaniu. Ubytek masy BKR(NO) wynosi 1,8, 2,5, 3,2%, a spadek wytrzymałości na ściskanie 5,6, 8,5, 10,2% , po twardnieniu przez 28, 56 i 90 dniach.
 9. Próba sorpcyjności odzwierciedla twardość poziomu powierzchniowego. BKR(NO) ma dużą nasiąkliwość, ze względu na złą powierzchnię starego kruszywa. Wszystkie kruszywa poddane obróbce wykazały poprawę tej właściwości, a głównie w przypadku BKR(SM). Porównując wyniki badań pierwotnych i wtórnych, trzeba stwierdzić, że twardość powierzchni jest lepsza w BKR(SM), w porównaniu z BKR(NO).
3. The split tensile strength also decreased by replacing the RCA. The split tensile strength is increased by being replaced with RAC(MS). Results have enhanced 18.8 % and 19.0% at 28 and 56 days compared to RAC(UN).
 4. Similarly flexural strength is reduced when natural aggregate is replaced with recycled aggregate. Strength is improved in the range of 4.8 - 25.3% at 28 days and 6.2- 27.5% at 56 days compared to RAC(UN).
 5. In the water absorption test, the results were improved at later ages. At the end of 90 days, the water absorption capacity is improved due to the continuous hydration process of concrete. It is identified recycled aggregate concrete absorb more water due to old adhered mortar present on it. The old mortar surface has more porous so it absorbs more water.
 6. In the drying test, loss of mass is increased in recycled concrete. But comparing 28, 56, and 90 days, 90 days results have improved in mass loss, due to completion of the hydration process. The drying loss is minimized by RAC(MS) are 4.8, 3.9, and 3.2 at various curing ages respectively. The mechanical scrubbing treatment shows better results compared to other treatments.
 7. Sulphuric acid resistance shows the performance of durability conditions. At 90 days, the loss of mass and compressive strength is high compared to 28 days immersion of acid solutions. The loss of mass and compressive strength is enhanced by RAC(MS). The mass loss of RAC(MS) shows 3.5, 5.0, 5.7% and compressive strength loss for RAC(MS) is 5.1, 6.8 and 9.0% at 28, 56, and 90 days respectively.
 8. Sulphate resistance test shows a resistance of salt attack. The RAC(UN) shows poor resistance and is enhanced by RAC(MS) at all ages. By increasing the immersion time in sulphate solution, the mass loss and compressive losses are increased rapidly. The mass loss of RAC(UN) is 1.8, 2.5, 3.2% and losses of compressive strength are 5.6, 8.5, 10.2% at curing ages of 28, 56, and 90 days.
 9. Sorptivity test reflects the hardness of the surface level. The RAC(UN) has a high absorption level due to the poor surface of the old aggregate. It's improved by all the treated aggregate and mainly modified by RAC(MS) method. In the primary and secondary tests, the sorptivity is improved in RAC(MS) compared to RAC (UN).

Finansowanie

Nie zapewniono finansowania ze strony władz centralnych lub państwowych, a także na poziomie instytucjonalnym.

Funding

No Funding is provided by central or state government and Institutional level.

Literatura / References

1. P. Revathi, R.S. Selvi, S.S. Velin, Investigations on Fresh and Hardened Properties of Recycled Aggregate Self Compacting Concrete. J. Inst. Eng. India Ser. **94**(3), 179–185 (2013).<https://doi.org/10.1007/s40030-014-0051-5>

2. B. Wang., L. Yan., Q. Fu, B. Kasal, A Comprehensive Review on Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. *Resour. Conserv. Recycl.* **171** 105565 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105565>
3. P.L. Yong, D.C.L. Teo, Utilization of recycled aggregate as coarse aggregate in concrete. *J. Civil Eng.* **1**(1), 23 (2009).
4. F.K Fong, S.K.Y Jaime, Production and application of recycled aggregates, in *Proceedings of the International Conference on Innovation and Sustainable Development of Civil Engineering in the 21st Century* (China Civil Engineering Society, Hong Kong, 2002).
5. A. Rao, K.N. Jha, S. Misra, Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resour. Conserv. Recycl.* **50**(1), 71–81 (2005). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.05.010>
6. R. Purushothaman, R.R. Amirthavalli, L. Karan, Influence of Treatment methods on the Strength and Performance Characteristics of Recycled Aggregate Concrete. *J. Mater. Civ. Eng.* **27**(5), 04014168 (2015). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001128](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001128)
7. K. Pandurangan, A. Dayanithy, S. Om Prakash, Influence of treatment methods on the bond strength of recycled aggregate concrete. *Constr. Build. Mater.* **120**, 212–221 (2016). <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.093>
8. P. Saravanakumar, K. Abhiram, B. Manoj, Properties of treated recycled aggregates and its influence on concrete strength characteristics. *Constr. Build. Mater.* **111**, 611–617 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.064>
9. D. Matias, J.D. Brito, A. Rosa, D. Pedro, Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – Influence of the use of super plasticizers. *Constr. Build. Mater.* **44**, 101-109 (2013). <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.011>
10. J.V.M. Raman, V. Ramasamy, Augmentation of dissimilar Technique for Enhancing the Concrete properties with Recycled Coarse Aggregate and Manufactured Sand. *J. Mater. Res. Techn.* **14**, 1180-1190 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.06.094>
11. G. Dimitriou, P. Savva, M.F. Petrou, Enhancing mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete. *Constr. Build. Mater.* **158**, 228–235 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.137>
12. M. Renjie, P. Ganghua, K.M. Liew, K. Tong, Utilizing recycled aggregate concrete in sustainable construction for a required compressive strength ratio. *J. Clean. Prod.* **276**, 124249 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124249>
13. D. Xuan, B. Zhan, C.S. Poon, Durability of recycled aggregate concrete prepared with carbonated recycled concrete aggregates. *Cem. Concr. Comp.* **84**, 214-221 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.09.015>
14. B.J. Zhan, D.X. Xuan, W. Zeng, C.S. Poon, Carbonation treatment of recycled concrete aggregate: Effect on transport properties and steel corrosion of recycled aggregate concrete. *Cem. Concr. Comp.* **104**, 103360 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103360>
15. J. Zhou, M. Zeng, Y. Chen, M. Zhong, Evaluation of cement stabilized recycled concrete aggregates treated with waste oil and asphalt emulsion. *Constr. Build. Mater.* **199**, 143–153 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.028>
16. L. Wang, J. Wang, X. Qian, P. Chen, Y. Xu, J. Guo, An environmentally friendly method to improve the quality of recycled concrete aggregates. *Constr. Build. Mater.* **144**, 432–441 (2017). <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.191>
17. R. Wang, N. Yu, Y. Li, Methods for improving the microstructure of recycled concrete aggregate: A review. *Constr. Build. Mater.* **242**, 118164 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118164>
18. X. Wang, R. Yu, Z. Shui, Q. Song, Z. Liu, M. Bao, Z. Liu, S. Wu, Optimized treatment of recycled construction and demolition waste in developing sustainable ultra-high-performance concrete. *J. Clean. Prod.* **221**, 805e816 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.201>
19. J.V.M. Raman, V. Ramasamy, Various treatment techniques involved to enhance the recycled the recycled coarse aggregate in concrete: A review. *Mater. Today* **45**(7), 6356-6363 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.935>
20. S. Yehia, K. Helal, A. Abusharkh, A. Zaher, H. Istaitiyeh, Strength and Durability Evaluation of Recycled Aggregate Concrete. *Int. J. Concr. Struct. Mater.* **9**, 219–239 (2015). <https://doi.org/10.1007/s40069-015-0100-0>
21. A. Albayati, W. Yu, W. Yan, J. Haynes, A sustainable pavement concrete using warm mix asphalt and hydrated lime treated recycled concrete aggregates. *Sustain. Mater. Techn.* **20**, e00081 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2018.e00081>
22. H.K. Alwan Al-Bayati, P.K. Das, L. Susan, S.L. Tighe, H. Baaj, Evaluation of various treatment methods for enhancing physical and morphological properties of coarse recycled concrete aggregate. *Const. Build. Mater.* **112**, 284-298 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.176>
23. B.M. Bibhuti, V. Sudhirkumar, Influence of Nano-Silica on the properties of recycled aggregate concrete. *Constr. Build. Mater.* **55**, 29-37 (2014). <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.003>
24. L. Butler, J.S. West, S.L. Tighe, The effect of recycled concrete aggregate properties on the bond strength between KGR concrete and steel reinforcement. *Cem. Concr. Res.* **41**, 1037–1049 (2011). <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.06.004>
25. O. Cakır, Experimental analysis of properties of recycled coarse aggregate (KGR) concrete with mineral additives. *Constr. Build. Mater.* **68**, 17–25 (2014). <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.032>
26. M. Chakradhara Rao, S.K. Bhattacharyya, S.V. Barai, Influence of field recycled coarse aggregate on properties of concrete. *Mater. Struct.* **44**, 205–220 (2011). <https://doi.org/10.1617/s11527-010-9620-x>
27. Y.S. Cho, S.K. Baek, Y.T. Lee, S.H. Kim, S.U. Hong, Estimation of compressive strength of high-strength concrete with recycled aggregate using non-destructive test and numerical analysis. *Mater. Res. Innov.* **18**, 270 – 277 (2014). DOI: 10.1179/1432891714Z.000000000415
28. W. Chun-Ran, Y.G. Zhu, X.T. Zhang, K. Shi-Cong, Improving the properties of recycled concrete aggregate with bio-deposition approach. *Cem. Concr. Comp.* **94**, 248-254 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.09.012>
29. X. Ding, C. Li, Y. Xu, F. Li, S. Zhao, Experimental study on long-term compressive strength of concrete with manufactured sand. *Constr. Build. Mater.* **108**, 67–73 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.028>
30. S. Ismail, M. Ramli, Mechanical Strength and Drying Shrinkage Properties of Concrete containing Treated Coarse Recycled Concrete aggregates. *Constr. Build. Mater.* **68**, 726-739 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.058>
31. S. Ismail, M. Ramli, Engineering properties of treated recycled concrete aggregate (KGR) for structural applications. *Constr. Build. Mater.* **44**, 464–476 (2013). <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.014>
32. T. Ji, C.Y. Chen, Y. Zhuan, J.F. Chen, A mix proportion design method of manufactured sand concrete based on minimum paste theory. *Con-*

- str. *Build. Mater.* **44**, 422–426 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.074>
33. H. Katkhuda, N. Shatarat, Improving the mechanical properties of recycled aggregate using basalt fibers and acid treatment. *Constr. Build. Mater.* **140**, 328–335 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.128>
34. A. Kavussi, A. Hassani, F. Kazemian, M. Taghipoor, Laboratory evaluation of treated recycled concrete aggregate in asphalt mixtures. *Int. J. Pavement Res. Techn.* **12**, 26–32 (2019). <https://link.springer.com/article/10.1007/s42947-019-0004-5>.
35. V.P. Kukadia, D.N. Pareshk, R.K. Gajjar, Influence of aggregate's treatment on properties of recycled aggregate concrete. *IJCIET* **8**(3), 351–361 (2017).
36. A. Mistri, S.K. Bhattacharyya, N. Dhami, A. Mukherjee, V. Sudhir Kumar, A review on different treatment methods for enhancing the properties of recycled aggregates for sustainable construction materials. *Constr. Build. Mater.* **233**, 117894 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117894>
37. M. Kazemi, R. Madandoust, J. de Brito, Compressive strength assessment of recycled aggregate concrete using Schmidt rebound hammer and core testing. *Constr. Build. Mater.* **224**, 630–638 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.110>
38. J. Pacheco, J.D. Brito, C. Chastre, L. Evangelista, Experimental investigation on the variability of the main mechanical properties of concrete produced with coarse recycled concrete aggregates. *Constr. Build. Mater.* **201**, 110–120 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.200>
39. K. Shahid, A. Ammar, M.K. Imran, Recycled Construction Debris as Concrete Aggregate for Sustainable Construction Materials. *Proc. Eng.* **145**, 1518 – 1525 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.191>
40. S. Ahmad et al., Effect of abrasion and chemical treatment of recycled aggregate on the workability, strength, and durability properties of concrete. *Eur. J. Environ. Civil Eng.* **26**(8), 1010–1039 (2020). <https://doi.org/10.1080/19648189.2020.1797886>
41. C. Thomas, J. Setien, J.A. Polanco, P. Alaejos, M. Sanchez de Juan, Durability of recycled aggregate concrete. *Constr. Build. Mater.* **40**, 1054–1065 (2013). <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.106>
42. C. Thomas, J. Setien, J.A. Polanco, A.I. Cimentada, C. Medina, Influence of curing conditions on recycled aggregate concrete. *Constr. Build. Mater.* **172**, 618–625 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.009>
43. S. Kothandaraman et al., The effect of controlled permeable formwork liner on the mechanical and durability properties of self compacting concrete. *Constr. Build. Mater.* **118**, 319–326 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.083>
44. D. Xuan, B. Zhan, C.S. Poon, Assessment of mechanical properties of concrete incorporating carbonated recycled concrete aggregates. *Cem. Concr. Comp.* **65**, 67–74 (2016). <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.10.018>
45. S.M.S. Kazmi, Effect of recycled aggregate treatment techniques on the durability of concrete: A comparative evaluation. *Constr. Build. Mater.* **264**, 120284 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120284>
46. ASTM C 642 “Standard test method for density, absorption and voids in hardened concrete.” C642-1981, West Conshohocken, PA (1981).
47. Bureau of Indian Standards “Indian standard methods of tests for strength of concrete.” IS 516-1959, New Delhi, India (1959).
48. Bureau of Indian Standards “Indian standard methods of tests for aggregate for concrete.” IS 2386(Part1-8)-1963, New Delhi, India (1963).
49. Bureau of Indian Standards “Indian standard methods of tests for Split tensile strength of concrete.” IS 5816-1999, New Delhi, India (1999).
50. Bureau of Indian Standards “Indian standard code of pBKRtice for Ordinary Portland cement.” IS 12269-1987(Reaffirmed2004), New Delhi, India (2015).
51. Bureau of Indian Standards “Coarse and fine aggregates from natural sources for concrete.” IS 383-2016, New Delhi, India (2016).
52. Bureau of Indian Standards “Indian standard methods for Plain and reinforced concrete.” IS 456-2016, New Delhi, India (2018).
53. Bureau of Indian Standards “Indian standard methods of tests for sampling and analysis of concrete.” IS 1199-2018, New Delhi, India (2018).
54. Bureau of Indian Standards “Guidelines for concrete mix design proportioning.” IS 10262-2019, New Delhi, India (2019).
55. J.J. Zhang, C. Shi, Y. Li, X. Pan, C. Poon, Z. Xie, Influence of carbonated recycled concrete aggregate on properties of cement mortar. *Constr. Build. Mater.* **98**, 1–7 (2015). <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.087>
56. O. Cakir, H. Dilbas, Durability properties of treated recycled aggregate concrete: Effect of optimized ball mill method. *Constr. Build. Mater.* **268**, 121776 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121776>
57. H. Dilbas, O. Cakir, Physical and Mechanical Properties of Treated Recycled Aggregate Concretes: Combination of Mechanical Treatment and Silica Fume, *J. Mater. Civil Eng.* **33**(6), (2021).
58. H. Dilbas, O. Cakir, H. Yıldırım, An experimental investigation on fB-KRtice parameters of recycled aggregate concrete with optimized ball milling method. *Constr. Build. Mater.* **252**, 119118 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119118>.
59. F. Agrela, A. Barbudo, A. Ramirez, J. Ayuso, M.D. Carvajal, J.R. Jiménez, Construction of road sections using mixed recycled aggregates treated with cement in Malaga, Spain. *Resour. Conserv. Recycl.* **58**, 98–106 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.11.003>.
60. J. Church, H. Kannan, J. An, W.H. Lee, S. Santra, B.H. Nam, Recycled concrete coated with quaternary ammonium compounds for water disinfection, *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **14**(3) 543–552 (2017). <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1168-z>.
61. H. Zhang, Y. Zhao, T. Meng, S.P. Shah, Surface Treatment on Recycled Coarse Aggregates with Nanomaterials. *J. Mater. Civ. Eng.* **28**(2) 04015094, (2016). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001368](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001368).
62. G. Zhu, S.C. Kou, C.S. Poon, J.G. Dai, Q.Y. Li, Influence of silane-based water repellent on the durability properties of recycled aggregate concrete. *Cem. Concr. Compos.* **35**(1), 32–38 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.08.008>.