

Popiół lotny składnikiem betonu zawierającego kruszywa z odzysku gruzu betonowego

Fly ash as a component of concrete containing aggregates from crushed-brick concrete recycling

1. Wprowadzenie

Wraz z procesem użytkowania i starzenia się obiektów budowlanych pojawia się problem zagospodarowania odpadów powstających w trakcie ich demontażu lub rozbiórki. Powstający gruz budowlany niemal w całości trafia na składowiska odpadów i tam jest często wykorzystywany jako materiał do wykonywania warstw przesypowych lub do budowy dróg dojazdowych (1, 2).

Innym kierunkiem zagospodarowania gruzu betonowego jest produkcja kruszyw wtórnych potocznie zwanych „kruszywami z recyklingu” (3-5). Stosowanie kruszyw wtórnych ma oczywiście wpływ na właściwości produkowanych betonów. Opierając się na wynikach prowadzonych prac badawczych można powiedzieć, że betony zawierające kruszywa z odzysku gruzu budowlanego, w stosunku do betonów z kruszyw naturalnych, mają mniejszą wytrzymałość na ścislenie, nieco niższe wytrzymałości na rozciąganie, większy skurcz (wyższa wodożądność kruszyw z odzysku) oraz nieznacznie krótszy początek wiązania (3, 5). Przykładem praktycznego wykorzystania gruzu betonowego jest budowa autostrady A-4. Do wykonania warstwy mrozoodpornej wykorzystano kruszywa otrzymane z pokruszenia płyt ze starej nawierzchni drogi (6).

W prezentowanej pracy autorzy wprowadzili popiół lotny jako dodatek do składu betonu z kruszywami wtórnymi. Opierając się na doświadczeniach praktycznych związanych ze stosowaniem popiołu lotnego (zmniejszenie wodożądności, poprawa urabialności, poprawa wytrzymałości po dłuższym dojrzewaniu, zwiększenie odporności na agresywne oddziaływanie środowiska) (7), postanowiono za cel prowadzonych badań, ocenę wpływu dodatku popiołu lotnego na właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu z różną ilością kruszywa z odzysku gruzu betonowego.

2. Materiały

2.1. Kruszywo z odzysku

Zastosowane w badaniach kruszywo wtórne otrzymano w wyniku przeróbki gruzu budowlanego pochodzącego z rozbiórki kon-

1. Introduction

Along with the process of use and ageing of buildings arises the issue of waste development appearing during their dismantling and demolition. Formed building rubble almost in total amount is transferred to waste storage areas and there is frequently used as a material for the production of separation layers or access roads for individual sectors (1, 2).

Another area where crushed-brick concrete is easily developed is the production of secondary aggregates popularly called recycled aggregates (3-5). The use of recycled aggregate obviously affects the properties of produced concretes. Basing on the results of research works, it can be stated, that concretes containing recycled aggregates, comparing to concretes with natural ones, have lower compressive strengths, slightly lower tensile strengths, bigger shrinkage (higher water demand of recycled aggregates) as well as insignificantly shorter early setting time (3, 5). The construction of A-4 Motorway is an example of practical use of crushed-brick concrete. Frost resistant layer was produced with the use of aggregates received from crushed layer of old road pavement (6).

The authors of this paper present the effect of fly ash addition to the concrete with recycled aggregate. Basing on the practical experience related to the use of fly ash (decreased water demand, better workability, higher strength after longer curing, higher resistant to environmental attack) (7), the study aims at the evaluation of the influence of fly ash addition on properties of the mixture and hardened concrete with variable amount of recycled aggregate.

2. Materials

2.1. Recycled aggregate

Recycled aggregate applied in the tests was obtained as a result of the recovery of building rubble, coming from the demolition of reinforced concrete constructions. The process of recovery consisted the removal of reinforcing steel, grinding of crushed-brick concrete

struktury żelbetonowych. Proces przeróbczy składał się z usunięcia stali zbrojeniowej oraz poddania gruzu betonowego rozdrabnianiu w kruszarce szczękowej, do frakcji 0/63 mm. Uzyskany materiał przesiewano na sitach w celu uzyskania kruszywa o frakcji ziarnowej 2/8 mm oraz 8/16 mm.

Zbadano właściwości kruszywa z odzysku gruzu betonowego (oznaczone dalej jako RCA), badano cechy geometryczne oraz fizyczne zgodnie z normą *PN-EN 12620:2003 Kruszywo do betonu* oraz z wytycznymi niemieckimi (8, 9). Wyniki uzyskanych badań zostały przedstawione w tablicach 1 i 2. Do przygotowania mieszanek betonowych stosowano kruszywa, które wcześniej poddano procesowi pełnego nasączenia wodą.

2.2. Kruszywa naturalne

Kruszywa naturalne stosowano w celu uzupełnienia stosu okruczowego betonu zawierającego kruszywa RCA oraz jako składnik betonu porównawczego. Wyniki badań właściwości geometrycznych oraz fizycznych stosowanego w badaniach kruszywa frakcji 0/2, 2/8 i 8/16 zestawiono w tablicy 1.

2.3. Popiół lotny

W pracy zastosowano popiół lotny krzemionkowy ze spalania węgla kamiennego. Popiół spełniał wymagania normy *PN-EN 450-1:2006 Popiół lotny do betonu – Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności* (strata prażenia – 3,8%; pozostałość na sicie 45 µm – 18,9%).

2.4. Cement

W badaniach stosowano cement portlandzki żuźlowy CEM II/B-S 32,5 R spełniający wymagania normy *PN-EN 197-1:2002 Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku*.

2.5. Domieszki chemiczne

W celu poprawy urabialności i konsystencji mieszanek betonowych zastosowano superplastyfikator na bazie sulfonianów naftaleno-

in jaw crusher to fraction 0/63 mm. The product was then separated on sieves to aggregate fractions 2/8 mm and 8/16 mm.

The aggregate from crushed-brick concrete recycling (RCA) was subjected to geometric and physical tests according to the standard *PN-EN 12620:2003 Aggregate for concrete* and with German procedures (8, 9). The results of the tests are presented in tables 1 and 2. Concrete mixtures were prepared with the use of aggregate previously fully soaked up with water.

2.2. Natural aggregates

Natural aggregate has been used in order to complete the aggregates composition of concrete containing RCA as well as the component of comparative concrete. The results of geometric and physical tests of the aggregates used in the tests (fractions 0/2, 2/8 and 8/16) are presented in Table 1.

2.3. Fly ash

Silicious fly ash of hard coal combustion has been used in the study. Fly ash fulfilled the requirements of *standard PN-EN 450-1:2006 Fly ash for concrete – Part 1: Definitions, specifications and conformity criteria* (loss of ignition – 3,8%; residue on 45 µm – sieve 18,9%).

2.4. Cement

Slag Portland cement CEM II/B-S 32,5 R, fulfilling the requirements of the standard *PN-EN 197-1:2002 Cement – Part 1: Composition, requirements and conformity criteria concerning common used cements*, has been used in the research.

2.5. Chemical admixtures

In order to improve the workability and consistency of concrete mixtures, two types of superplasticizers have been used: based on naphthalene sulfonate and melamine sulfonate. The admixtures complied with the standard *PN-EN 934-2:2002 Chemical admixtures for concrete, mortar and paste. Part 2- Admixtures for concrete. Definitions, requirements, conformity, marking, labelling*.

Tablica 1 / Table 1

WŁAŚCIWOŚCI KRUSZYW STOSOWANYCH W BADANIACH
PROPERTIES OF AGGREGATES USED IN TESTS

Właściwość Property	Kruszywo naturalne/Natural aggregate			Kruszywo z odzysku Recycled aggregate	
	Frakcja/Fraction 0/2	Frakcja/Fraction 2/8	Frakcja/Fraction 8/16	2/8	8/16
Kategoria uziarnienia Granulation class	G _{r85}	G _{r85/20}	G _{r85/20}	G _{r85/20}	G _{r85/20}
Kategoria zawartości pyłów Fume content class <0,063 mm	f ₃	f _{1,5}	f _{1,5}	f _{1,5}	f _{1,5}
Wskaźnik płaskości Flatness ratio	–	Fl ₁₅	Fl ₁₅	Fl ₁₅	Fl ₂₀
Mrozoodporność Frost resistance	–	F ₁	F ₁	F ₁₆	F ₁₆

Tablica 2 / Table 2

WŁAŚCIWOŚCI KRUSZYWA RCA ZGODNIE Z WYTYCZNYMI NIEMIECKIMI (8, 9)

PROPERTIES OF RCA AGGREGATE ACCORDING TO GERMAN PROCEDURES

Kruszywo Aggregate	Zawartość / Content, %						Maksymalna zawartość rozpuszczalnych chlorków, % masy Maximum content of soluble chlorides, % of mass	Minimalna gęstość w stanie suchym Minimum density in dry phase, kg/dm ³	Maksymalna nasiąkliwość masowa Maximum mass absorptability, %
	Beton, naturalne kruszywo Concrete, natural aggregate	Cegła Brick	Tynk Plaster	Inne mineralne składniki Other mineral components	Asfalt / Asphalt	Zanieczyszczenia Contaminations			
Wymagania dla Typu I – Kruszywo z betonu RCA Requirements for Type I – Aggregate from RCA concrete	≥90	≤10	≤10	≤2	≤1	≤0,2	≤0,4	2,000	10
RCA 2/8	99	0,7	0	0,0	0,3	0,2	–	2,288	8,7
RCA 8/16	99	0,5	0	0,0	0,0	0,1	–	2,411	6,2

Tabela 3 / Table 3

SKŁAD MIESZANEK BETONOWYCH

CONCRETE MIXTURE RECIPES

Oznaczenie mieszanki laboratoryjnej Symbol of laboratory mixture	Zawartość składników/Components, kg/m ³					Domieszka chemiczna Chemical admixture, % m.c.	Konsystencja /Consistency	
	Cement CEM II/B-S 32.5 R	Popiół/Fly ash	Woda/Water	Kruszywo naturalne Natural aggregate	Kruszywo RCA TYP I RCA TYPE I aggregate		Stolik rozplywowy, mm (15 min) Flow table, mm (after 15 min)	Opad stożka, mm (po 15 min) Slump, mm (after 15 min)
0p	300	70	160	1814	0	0,9	590	210
10* p	300	70	160	1634	180	0,9	540	190
20p	300	70	160	1454	360	0,9	520	180
30p	300	70	160	1274	540	0,9	550	190
40 p	300	70	160	1090	720	0,9	580	210
50p	300	70	160	913	900	0,9	590	200
0	310	0	160	1886	0	0,9	490	180
10	310	0	160	1699	187	0,9	470	180
20	310	0	160	1511	374	0,9	450	160
30	310	0	160	1324	562	0,9	440	160
40	310	0	160	1137	749	0,9	470	170
50	310	0	160	950	936	0,9	460	170

* – liczba oznacza procentową zawartość kruszywa grubego z odzysku; p – mieszanki z dodatkiem popiołu

* – figure stands for the percentage content of recycled coarse grain aggregate; p – mixtures with fly ash addition

wych oraz sulfonianów melaminowych spełniający wymagania normy PN-EN 934-2:2002 *Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Część 2-Domieszki do betonu. Definicje, wymagania, zgodność, znakowanie, etykietowanie.*

3. Badania

Zbadano następujące właściwości betonu o składzie podanym w tablicy 3:

- konsystencję mieszanki betonowej według PN-EN 12350-5 *Badanie mieszanki betonowej – Badanie konsystencji metodą stolika rozplwowego* oraz według PN-EN 12350-2 *Badania mieszanki betonowej – Badanie konsystencji metodą opadu stożka*,
- wytrzymałość na ściskanie po 7 i 28 dniach dojrzewania zgodnie z PN-EN 12390-3:2002 *Badania betonu Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek*,
- mrozoodporność metodą zwykłą F100 zgodnie z PN-88/B-06250 *Beton zwykły*,
- nasiąkliwość zgodnie z PN-88/B-06250 *Beton zwykły*.



Rys. 1. Zmiany opadu stożka mieszank betonowych zawierających kruszywo wtórne (50% p – z dodatkiem popiołu lotnego; 50% – bez dodatku popiołu)

Fig. 1. Change of slump of concrete mixtures containing recycled aggregate (50%p – with fly ash addition; 50% – without fly ash)

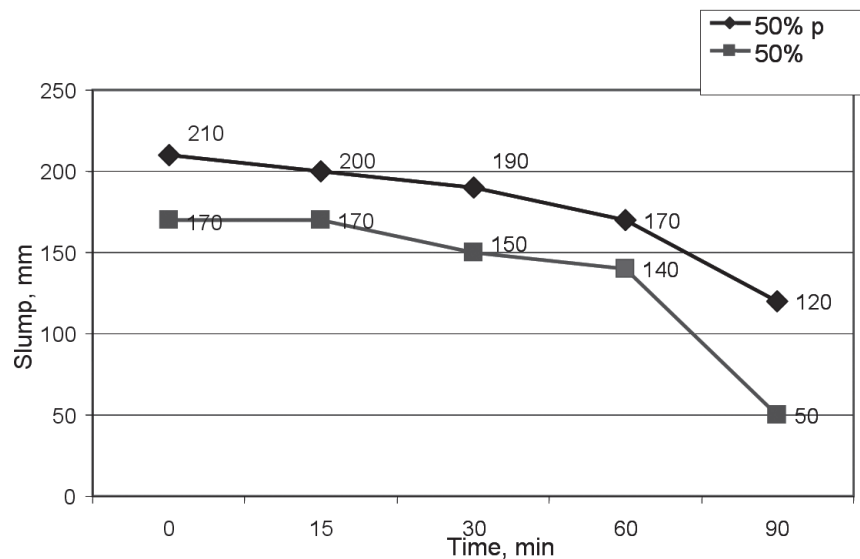
3. Tests

Concrete, with composition presented in Table 3 has been subjected to tests aiming at the following:

- Consistency of concrete mixture acc. to PN-EN 12350-5 *Concrete mixture test – Consistency flow test* as well as acc. to PN-EN 12350-2 *Concrete mixture tests – Consistency slump test*,
- Compressive strength after 7 and 28 days of curing according to PN-EN 12390-3:2002 *Concrete tests Part 3: Compressive strength of test samples*,
- Frost resistance by standard method F100 according to PN-88/B-06250 *Ordinary concrete*,
- Water absorbability according to PN-88/B-06250 *Ordinary concrete*.

4. Test results and comments

The consistency change of concrete mixtures in time, was tested with slump method (Fig. 1) as well as flow method (Fig. 2). The tests show that the flowability of mixtures with fly ash addition is higher. This difference of flowability remains during the whole period of test, i.e. 90 minutes; (Fig. 1 and 2).



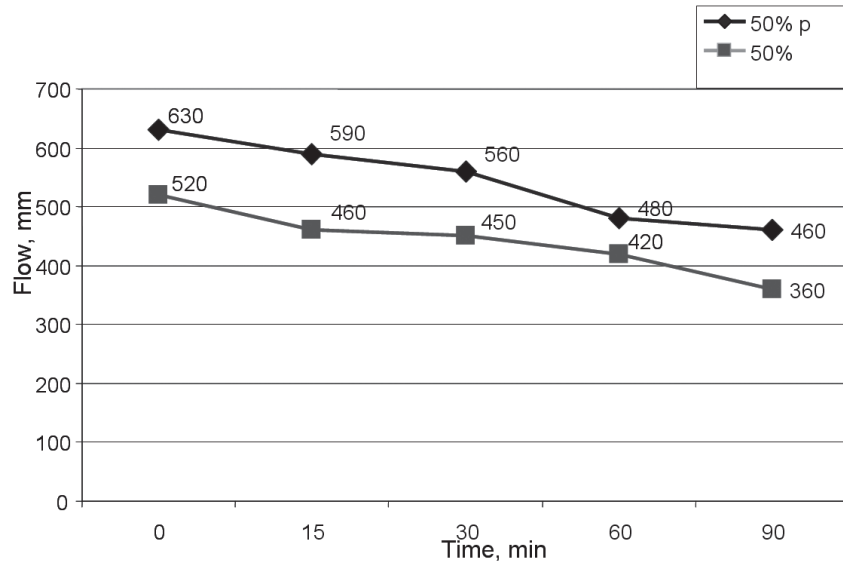
4. Wyniki badań i ich dyskusja

Zmiany konsystencji mieszank betonowych w czasie określone metodą opadu stożka oraz metodą rozplwy pokazano odpowiednio na rysunkach 1 i 2. Z przebiegu krzywych wynika większa płynność mieszank betonowych z dodatkiem popiołu lotnego. Różnica w płynności badanych mieszank utrzymuje się w całym badanym okresie (do 90 minut; rysunki 1 i 2).

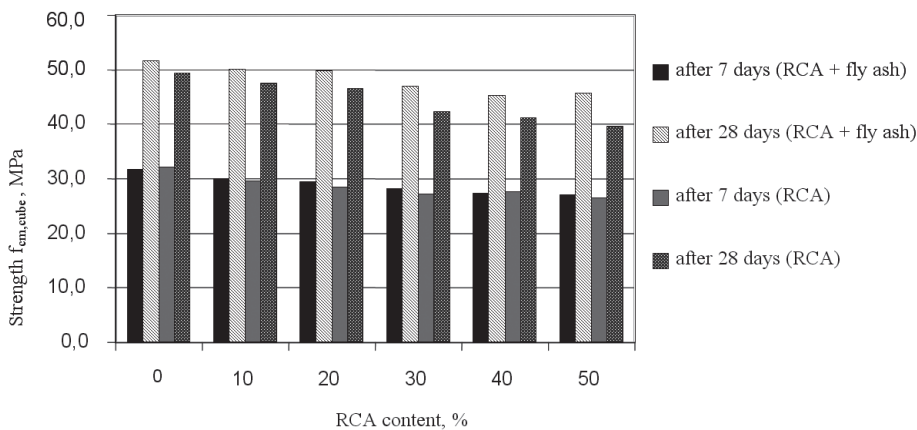
Wytrzymałość na ściskanie betonów wykazuje tendencję spadkową wraz ze wzrostem zawartości kruszywa z odzysku gruzu

Compressive strength of concretes is decreasing with the increase of recycled aggregates content (Fig. 3). The decrease is rather small and amounts to about 12% in case of 50% replacement of natural coarse aggregate by recycled aggregate (Fig. 3). The addition of fly ash (FA) has small influence on the early strength of concrete (after 7 days) however, it improves the compressive strength after 28 days of hardening (Fig.4).

Absorbability of concrete increases with the content of recycled aggregate in concrete composition. The addition of fly ash increases the tightness of concrete texture, which also has an effect lowering



Rys. 2. Zmiany konsystencji mieszanek betonowych zawierających kruszywo z odzysku – metoda rozplywu
Fig. 2. Consistency change of concrete mixtures containing recycled aggregate – according to flow method



Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie betonów zawierających wtórne kruszywo (RCA)
Fig. 3. Compressive strength of concretes containing recycled aggregates (RCA)

betonowego. Spadek ten nie jest duży i wynosi około 12% w przypadku zastąpienia 50% grubego kruszywa naturalnego przez kruszywo wtórne (rysunek 3). Dodatek popiołu lotnego w niewielkim stopniu zmienia wytrzymałość wczesną betonu (po 7 dniach), natomiast poprawia wytrzymałość betonu na ściskanie po 28 dniach twardnienia (rysunek 4).

Nasiąkliwość betonu wzrasta wraz ze wzrostem zawartości kruszywa z odzysku w składzie betonu. Dodatek popiołu lotnego zwiększa szczelność tekstury betonu i dlatego betony zawierające popiół lotny oraz RCA (w ilości powyżej 20%) charakteryzują się niższą nasiąkliwością (rysunek 5).

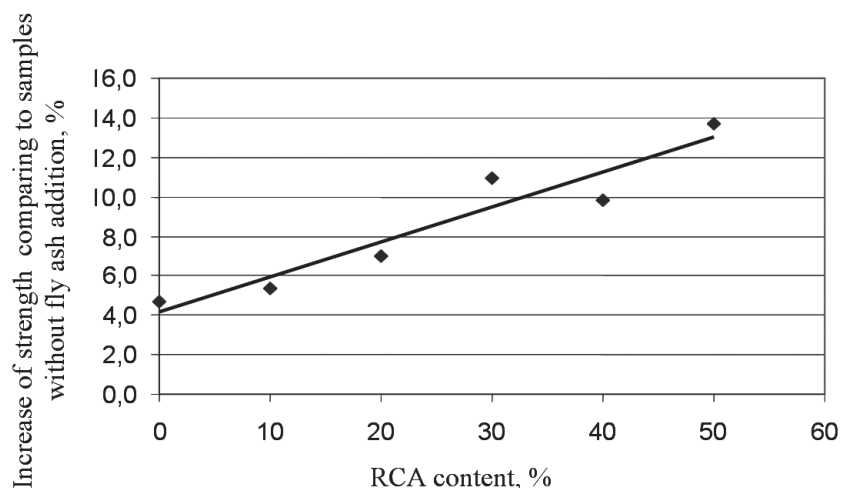
Wyniki badania mrozoodporności po 100 cyklach zamrażania i rozmrażania (F100) betonów z dodatkiem popiołów lotnych, w których zawartość kruszywa RCA przekraczała 20%, wykazują mniejszy spadek wytrzymałości na ściskanie w porównaniu do betonów bez dodatku popiołów lotnych. Zależność ta jest

absorbability of concrete (Fig. 5) containing fly ash and RCA (content higher than 20%).

Frost resistance tests after 100 cycles of freezing and defreezing (F100) of concrete with fly ash addition, where the amount of RCA overcomes 20%, present lower drop of compressive strength comparing to concrete without fly ash. Such relation is particularly evident in case of RCA share over 30% (Fig. 6).

5. Conclusions

Wider use of recycled aggregate in building industry becomes economic as well as eco-



Rys. 4. Wpływ dodatku popiołu lotnego na wytrzymałość betonu z różną zawartością kruszywa wtórnego (RCA)

Fig. 4. Influence of fly ash addition on compressive strength of concrete with different content of recycled aggregate (RCA)

szczególnie widoczna w przypadku udziału kruszywa RCA przekraczającego 30% (rysunek 6).

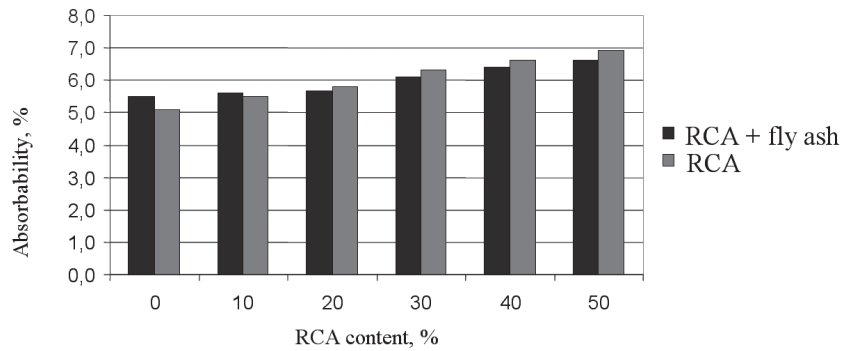
5. Podsumowanie

Szersze stosowanie w budownictwie kruszyw otrzymanych z odzysku gruzu budowlanego staje się koniecznością ekonomiczną i ekologiczną. Kruszywa z odzysku posiadają znacznie wyższą nasiąkliwość niż kruszywa pochodzenia naturalnego. Stąd zaleca się ich stosowanie w stanie nasyconym wodą. Zmiany konsystencji mieszanek betonowych w funkcji ilości kruszywa wtórnego są, w przypadku jego wcześniejszego nasycenia wodą, nieznaczne.

Wprowadzenie popiołu lotnego do składu betonu zawierającego kruszywa z odzysku gruzu budowlanego wpłynęło pozytywnie na konsystencję badanych mieszanek betonowych oraz właściwości stwardniałego betonu (wytrzymałość na ściskanie, nasiąkliwość i mrozoodporność).

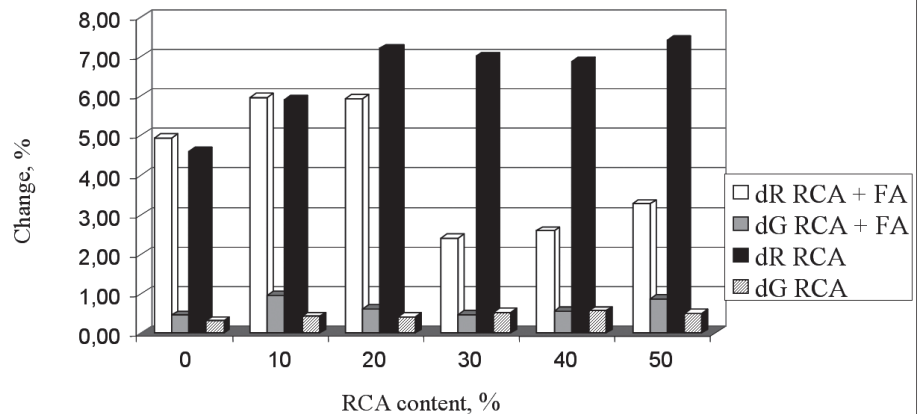
Literatura / References

1. Z. Giergiczny, A. Król, Beton a środowisko. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Infrastruktura podziemna miast". Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, s. 132-141, Wrocław 2005.
2. A. Golda, A. Król, Drugie życie betonu. Budownictwo, Technologie, Architektura, nr 4(36), s. 44-47 (2006).
3. T. Tsung-Yueh, C. Yuen-Yuen, H. Chao-Lung, Properties of HPC with recycled aggregates. Cement and Concrete Research, vol. 36, pp. 943-950 (2006).
4. M. Kozłowski, M. Sawicki, Gospodarka odpadami. Recykling materiałów budowlanych. Maksymalnie Budowlany Przewodnik dla Inwestora, nr 2, s. 24-28 (2004).
5. A. Grodzicka, D. Siemaszko-Lotkowska, Cz. Wolska-Kotańska, Wybrane aspekty charakterystyki kruszyw pochodzących z recyklingu betonu i ich wykorzystanie. Materiały konferencji naukowo-technicznej „Budownictwo spełniające wymagania zrównoważonego rozwoju”, s. 141-150, Mragowo 2002.
6. A. Szydło, Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego. Polski Cement, s. 287, Kraków 2004.
7. Z. Giergiczny, Rola popiołów lotnych krzemionkowych i wapniowych w kształtowaniu właściwości współczesnych spoiw budowlanych i kompozytów cementowych. Seria Inżynieria Lądowa, Monografia 325, s. 193, Kraków 2006.
8. DIN 4226-100, Aggregates for Concrete and Mortar, February 2002.
9. DfStb-Guideline: Concrete with Recycled Aggregates. Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate, 1998.



Rys. 5. Nasiąkliwość betonu z dodatkiem kruszyw z recyklingu (RCA)

Fig. 5. Absorbability of concrete with recycled aggregates addition (RCA)



Rys. 6. Mrozoodporność betonu F 100 zawierającego RCA (dR – spadek wytrzymałości na ściskanie; dG – ubytek masy; FA – dodatek popiołu)

Fig. 6. Frost resistance of concrete (F100) with use of RCA (dR – drop of compressive strength; dG – loss of mass; FA – fly ash addition)

logical necessity. Recycled aggregate show considerably higher absorbability than the natural ones, thus they ought to be applied saturated with water. Influence of RCA on concrete mixture consistency is insignificant, when this aggregate is earlier saturated with water.

The addition of fly ash to concrete containing recycled aggregates has a positive influence on the consistency of the mixtures and on properties of hardened concrete (compressive strength, absorbability and frost resistance).