

## KRUSZYWA Z RECYKLINGU W BUDOWNICTWIE

Barbara Sadowska-Buraczewska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok, e-mail: barbara.sadowska@pb.edu.pl

### STRESZCZENIE

Wykorzystanie ponowne materiału po rozbiórce obiektów budowlanych stało się bardzo popularne i znaczące dla otaczającego nas środowiska. Jednocześnie poprzez ponowne wykorzystanie gruzu budowlanego w betonach chronimy w pewien sposób zasoby naturalne. Oczywiście nie jesteśmy w stanie zastąpić w całości kruszywa naturalnego kruszywem z recyklingu w mieszance betonowej, ale przynajmniej w jego większej części. Przedstawiona praca zawiera badania eksperymentalne z wykorzystaniem wysokowartościowego kruszywa z recyklingu w elementach konstrukcji.

**Słowa kluczowe:** recykling, środowisko, konstrukcja, badania eksperymentalne.

### THE RECYCLED AGGREGATE IN CONSTRUCTION

#### ABSTRACT

Using construction and demolition debris as a substitute for natural aggregate in producing concrete mixtures is gaining more and more supporters because of both economic and ecological reasons. The use of construction and demolition debris means limiting the use of expensive natural aggregate, and thus minimising the negative impact on the natural environment. The maximum benefit is achieved when the biggest possible amount of recycled aggregate is used in the production of concrete. It is to be hoped that the continuous development of technologies in the construction sector will lead to minimising the amount of waste as well as to increasing the number of materials undergoing the recycling process and reused to building new structures.

**Keywords:** recycling, environment, construction, experimental researches.

### WSTĘP

Przemysł budowlany powinien spełniać wymagania trwałego oraz ekologicznego budownictwa. Wiele czynników wpływa na fakt, iż konstrukcje betonowe mogą być uznane za niespełniające podstawowych zasad zrównoważonego rozwoju.

Problemem jest zmieniający się klimat, spadek zasobów naturalnych oraz nieekologicznej produkcji betonu. Proces wytwarzania cementu produkuje znaczne ilości gazów do środowiska powodując globalne efekty cieplarniane. Spadek zasobów naturalnych tak cennych surowców, jak piasek, żwir, woda, spowodowany jest ich użyciem podczas produkcji betonu.

W przeciągu ostatnich kilkudziesięciu lat nastąpił gwałtowny rozwój procesów projektowania, optymalizacji i udoskonalania receptur betonów, co umożliwiło stosowanie rozwiązań bardziej ekonomicznych i funkcjonalnych. Zastosowanie takich betonów korzystnie wpłynęło na zmniejszenie surowców naturalnych. W przyszłości jednak będziemy musieli w uzasadnionych przypadkach pozbywać się obiektów wykonanych z betonów wysokiej wytrzymałości, a powstały gruz umieć i móc wykorzystać ponownie w konstrukcji.

Rosnąca świadomość ekologiczna społeczeństwa prowadzi do poszukiwania nowych rozwiązań w przemyśle budowlanym. Należy prowadzić działania systematycznie i wdrażać w życie zasady zrównoważonego rozwoju [Pawłowski A. 2009, Pawłowski L. 2011, Adameczyk J., Dylewski R. 2010] tak, by efekty na rzecz ochrony środowiska były widoczne i długotrwałe. Praktyki ekologiczne powodują, iż zaobserwować można rosnącą tendencję do stosowania materiałów uzyskanych z recyklingu. Wykorzystanie gruzu budowlanego jako zamiennika kruszywa naturalnego przy produkcji mieszanek betonowych znajduje coraz większe grono zwolenników. Spowodowane jest to względami ekonomiczno – ekologicznymi. Wykorzystując gruz budowlany ogranicza się zużycie drogich kruszyw naturalnych, przez co następuje również minimalizacja negatywnego wpływu na środowisko naturalne. Znaczącą korzyść osiągniemy, gdy możliwie największa ilość kruszyw recyklingowych zostanie wykorzystana do produkcji betonu.

Z upływem lat coraz większe znaczenie mają aspekty związane z ochroną środowiska naturalnego, stąd rosnące zainteresowanie alternatywnymi rozwiązaniami w budownictwie.

Dwa zasadnicze powody, które powodują, że recykling jest coraz bardziej popularny to ciągle przyrost ilości odpadów betonowych oraz stały wzrost zużycia betonu jako materiału budowlanego. Wielu autorów w swoich publikacjach prezentowało badania betonów z użyciem kruszywa z recyklingu, ale w większości kruszyw pochodzących z betonów zwykłych [Bołtryk M., Pawluczuk E. 2008, Golda A., Król A. 2006, Zajac B, Gołębiowska I. 2010]. Niewielu jest autorów zajmujących się wykorzystaniem wysokowartościowych kruszyw recyklingowych w betonach [Ajdukiewicz A., Kliszczewicz A. 2009, Sadowska-Buraczewska B., Rutkowski P. 2013], jak również w elementach konstrukcyjnych [Sadowska-Buraczewska B., Rutkowski P. 2013]. W artykule zaproponowano wykorzystanie powstałego wysokowartościowego kruszywa z recyklingu ponownie w betonie i w elementach konstrukcji.

## **BADANIA EKSPERYMENTALNE ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH Z UŻYCIEM KRUSZYWA RECYKLINGOWEGO W BETONIE**

Wykonano badania eksperymentalne żelbetowych belek w skali modelowej o wymiarach 80×120×1100 mm. Badania wykonano w zakresie doraźnym mierząc ugięcia, odkształcenia betonu, obserwując rozwój rys, czyli znaczące dane dla belkowego ele-

mentu konstrukcyjnego. Przed przystąpieniem do wykonania belek przeprowadzono badania materiałowe betonu wykorzystywanego w badanych elementach belkowych z użyciem wysokowartościowego kruszywa recyklingowego. Zastosowany beton w swym składzie zawierał 100% wysokowartościowego kruszywa recyklingowego grubych frakcji, natomiast frakcje drobne to kruszywo naturalne. Zastosowanie kruszywa recyklingowego drobnych frakcji nie byłoby wartościowe, gdyż kruszywa takie posiadają najwięcej zaprawy cementowej.

## BADANIA PRÓBEK BETONOWYCH

Wykonano podstawowe badania próbek betonowych wykonanych z BWW celem określenia parametrów wytrzymałościowych użytego betonu. Na rysunkach 1, 2, 3, 4 pokazano wybrane badania próbek betonowych zgodnych z obowiązującymi zasadami normowymi [PN-EN 12390-1, PN-EN 12390-3, PN-EN 12390-5].



**Rys. 1.** Badania w maszynie wytrzymałościowej próbek kostkowych sześciennych 10×10×10 cm celem określenia wytrzymałości na ściskanie betonu

**Fig. 1.** Test of samples in machine



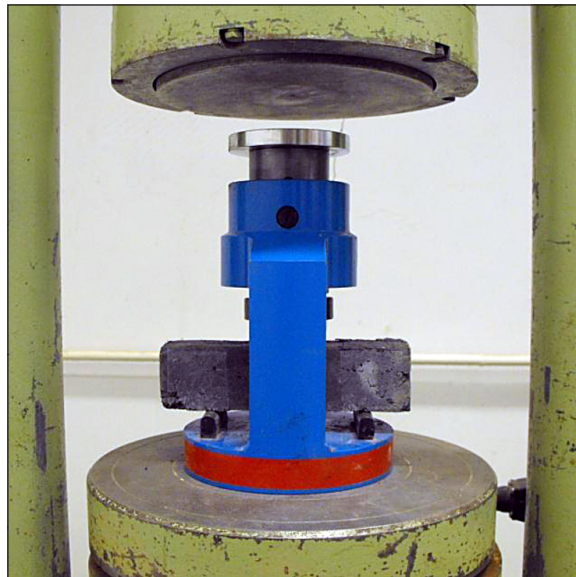
**Rys. 2.** Próbkki betonowe po badaniu

**Fig. 2.** Cubic specimens after performance test



Rys 3. Widok próbki prostokątnej 10×10×40 cm podczas badania wytrzymałości na zginanie wg [PN-EN 12390-5]

Fig. 3. The beam of 10×10×40 cm during test condition of tensile strength under flexure



Rys. 4. Widok próbki 4×4×16 cm na stanowisku badawczym na rozciąganie przy zginaniu

Fig. 4. Test condition of tensile strength under flexure of the sample 4×4×16 cm

Po wykonaniu wszystkich niezbędnych badań na próbkach betonowych z powstałego gruzu uzyskano wysokowartościowe kruszywo recyklingowe. Na rysunku 5 pokazano jedną z uzyskanych frakcji od 4 do 8 mm.



**Rys. 5.** Wysokowartościowe kruszywo recyklingowe frakcji 4–8 mm użyte do betonu w celu wykonania elementów badawczych

**Fig. 5.** Recycled high-performance aggregate 4–8 mm

## **BADANIA DOŚWIADCZALNE ŻELBETOWYCH BELEK Z UŻYCIEM WYSOKOWARTOŚCIOWEGO KRUSZYWA RECYKLINGOWEGO**

Badano belki w 4 seriach po 3 belki w każdej serii. Wszystkie serie belek w składzie betonu zawierały wysokowartościowe kruszywo recyklingowe frakcji powyżej 4 mm. Drobne frakcje poniżej 4 mm to kruszywo naturalne. Składy betonów różniły się zawartością kruszywa z recyklingu i gatunkiem cementu, ewentualnie dodatkiem włókien stalowych 6 mm. Belki ze 100% wysokowartościowym kruszywem z recyklingu z cementem 52,5 R oznaczono jako REC-1-A, belki ze 100% wysokowartościowym kruszywem z recyklingu z cementem 42,5 R - REC-2-B, belki serii REC-3-C z 50% ilością kruszywa recyklingowego i z dodatkiem włókien stalowych i cementem 42,5 R oraz seria REC-4-D z 50% zawartością wysokowartościowego kruszywa z recyklingu i cement 42,5 R. Na rysunku 6 pokazano belkę na stanowisku badawczym.



**Rys. 6.** Widok na stanowisku badawczym jednej z belek wybranej serii

**Fig. 6.** The beam on the test stand in testing machine

## Pomiar odkształceń betonu

Odkształcenia belek mierzono za pomocą miernika Demec i odczytywano co 5 kN. Wyniki pomiarów zamieszczono w tabeli 1. Najmniejsze wartości odkształcenia betonu strefy ściskanej uzyskano dla belek serii REC-1-A. Wartości odkształceń betonu belek serii REC-3-C i REC-4-D są bardzo zbliżone do siebie. Dodanie włókien staklowych nie wpłynęło znacząco na wartość odkształceń betonu strefy ściskanej.

## Pomiar ugięć belek

Pomiarów ugięć dokonywano za pomocą czujników zegarowych w środku rozpiętości belek i na podporach. Pomiarów dokonywano po każdym zwiększeniu obciążenia o 5 kN. Wyniki pomiarów ugięć dla poszczególnych belek ujęto w tabeli 2. Najmniejsze ugięcia zanotowano dla serii REC-3-C. Dodanie włókien stalowych znacznie wpłynęło

**Tabela 1.** Wartości średnie odkształceń strefy ściskanej dla poszczególnych serii belek  
**Table 1.** Mean compressive strength for the selected series

Siła $F$ [kN]	Średnie odkształcenie betonu w strefie ściskanej $\varepsilon$ [‰] dla belek poszczególnych serii			
	REC-1-A	REC-2-B	REC-3-C	REC-4-D
5	-0,013	-0,053	-0,080	-0,080
10	-0,107	-0,213	-0,200	-0,200
15	-0,187	-0,347	-0,387	-0,360
20	-0,227	-0,453	-0,467	-0,467
25	-0,293	-0,600	-0,587	-0,573
30	-0,373	-0,747	-0,720	-0,680
35	-0,507	-0,933	-0,867	-0,867
40	–	–	-1,000	-1,013

**Tabela 2.** Wartości średnie ugięć dla poszczególnych serii belek  
**Table 2.** Mean deflections for the beams series

Siła $F$ [kN]	Średnie wartości ugięć $a$ [mm] dla poszczególnych serii belek			
	REC-1-A	REC-2-B	REC-3-C	REC-4-D
5	0,07	0,08	0,03	0,05
10	0,41	0,39	0,28	0,33
15	1,32	1,29	0,95	1,16
20	2,74	2,24	1,58	1,93
25	3,63	3,04	2,21	2,68
30	4,42	4,01	3,23	3,47
35	6,41	6,37	3,67	4,35
40	–	–	5,88	8,24

na zmniejszenie wartości ugięć belek. Wartości ugięć belek serii REC-1-A i REC-2-B są niemal identyczne.

## WNIOSKI

1. Z przeprowadzonych badań i ich analizy wyników można stwierdzić, iż zastosowanie wysokowartościowego kruszywa recyklingowego jako alternatywy dla kruszywa grubego naturalnego w elementach konstrukcyjnych jest możliwe.
2. Nie zauważono szczególnie dużej różnicy wartości odkształceń betonu w strefie ściskanej oraz ugięć belek na wysokowartościowych kruszywach recyklingowych w poszczególnych seriach pomimo zróżnicowania składów projektowanych i użytych betonów. Należy jednak powtórzyć badania i dążyć do opracowania optymalnej receptury betonu z wykorzystaniem kruszywa z recyklingu w celu porównania z elementami wykonanymi na przykład z betonu zwykłego.
3. W obecnie zmieniającym się ekologicznym i ekonomicznym świecie kruszywo z recyklingu może będzie stosowane jako pełnowartościowy składnik betonu konstrukcyjnego.

## PIŚMIENNICTWO

1. Pawłowski A. 2009. Teoretyczne uwarunkowania rozwoju zrównoważonego. Annual Set of Environment Protection, Vol. 11.
2. Pawłowski L. 2011. Rola monitoringu środowiska w realizacji zrównoważonego rozwoju. Annual Set of Environment Protection, Vol. 13.
3. Adamczyk J., Dylewski R. 2010. Recykling odpadów budowlanych w kontekście budownictwa zrównoważonego. W: Problemy ekorozwoju, Zielona Góra.
4. Bołtryk M., Pawluczuk E. 2008. Metoda ustalania wody efektywnej w mieszance betonowej na kruszywie z recyklingu. W: Zagadnienia materiałowo-technologiczne infrastruktury i budownictwa. Material and technology issues of infrastructure and construction. Praca zbiorowa pod redakcją A. Łapko, M. Broniewicza, J. A. Prusiel, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok.
5. Golda A., Król A. 2006. Drugie życie betonu, Budownictwo – Technologie – Architektura, październik-grudzień.
6. Zając B, Gołębiowska I. 2010. Nowoczesne metody recyklingu. Inżynieria i Aparatura Chemiczna, nr 5.
7. Ajdukiewicz A., Kliszczewicz A..2009. Recykling betonu konstrukcyjnego – cz. I. Inżynier Budownictwa, nr 2, 65–69.
8. Ajdukiewicz A., Kliszczewicz A. 2009. Recykling betonu konstrukcyjnego – cz. II. Inżynier Budownictwa, nr 3, 61–64.

9. Sadowska-Buraczewska B., Rutkowski P. 2013. Betony z użyciem kruszywa recyklingowego wysokiej wytrzymałości-dziedzina zrównoważonego rozwoju. Annual Set of Environment Protection Vol. 15.
10. PN-EN 12390-1: Badania betonu. Kształt, wymiary i inne wymagania dotyczące próbek do badania i form, PKN, Warszawa 2001.
11. PN-EN 12390-3: Badania betonu. Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań, PKN, Warszawa 2001.
12. PN-EN 12390-5: Badania betonu. Wytrzymałość na zginanie próbek do badania, PKN, Warszawa 2001.