

Przydatność kruszyw z recyklingu do produkcji betonu

Dr inż. Michał Babiak, prof. nadzw. dr hab. eur. inż. Tomasz Błaszczński, Politechnika Poznańska, mgr inż. Adrianna Ratajczak, Skanska SA, mgr inż. Szymon Węgliński, Labortest s.c. Brzezińscy

1. Wprowadzenie

Najczęściej stosowanymi materiałami budowlanymi pochodzącymi z recyklingu są kruszywa. Można je pozyskać w procesie kruszenia betonu cementowego i asfaltowego, żelbetu, cegieł lub ceramiki. Pozyskany materiał o odpowiednich frakcjach zastępując kruszywo, może być użyty do wytworzenia betonu cementowego lub asfaltowego. Znane są próby zastąpienia kruszywa odpadami wytworzonymi z tworzyw sztucznych pochodzących z zakładów produkcyjnych, zawierające ok. 80% polietylenu (PE) i 20% polistyrenu (PS). Rozdrobnione odpady tworzyw sztucznych zastępowały kruszywo w ilości odpowiednio 10-, 15- i 20%-wagowych. Wartości wytrzymałości na ściskanie wszystkich próbek betonowych zawierających odpady wykazały zbliżone wartości do próbek kontrolnych. Niektóre przetworzone tworzywa sztuczne mogą być wykorzystane jako spoiwo w betonach cementowych lub w celu ograniczenia rys skurczowych i zwiększenia wytrzymałości na rozciąganie, w postaci włókien jako zbrojenie rozproszone. Dodanie przetworzonych żywic poliestrowych, zsyntezowanych odpadowych PET-ów (poli (tereftalan etylenu) – (C₁₀H₈O₄)_n) zwiększa wytrzymałość betonu na ściskanie i zginanie [1].

Natomiast kruszywo z betonu stanowi już dzisiaj udział ponad 50% spośród kruszyw recyklingowych, wykorzystywanych do nowych mieszanek betonowych [2, 5, 8, 9]. Zaletą betonowego kruszywa, w porównaniu z kruszywem naturalnym, jest niski koszt oraz duża dostępność, jednak wsad otrzymywany z odpadu rozbiórkowego może być zanieczyszczony i niejednorodny.

2. Kruszywa z recyklingu

Beton jest materiałem kompozytowym, którego podstawowymi składnikami są woda, cement oraz kruszywo. Powyższa mieszanina w wyniku hydratacji cementu ulega wiązaniu, a następnie twardnieniu, przez co uzyskuje właściwości zbliżone do kruszyw naturalnych. Szczególne właściwości betonu spowodowały popularność tego materiału, która sięga czasów starożytnych, a rozwój



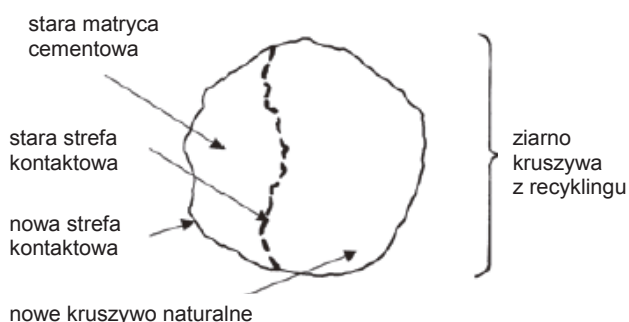
Rys. 1. Rozbiórka skrajnej konstrukcji estakady w ciągu ul. Bolesława Krzywoustego w Poznaniu



Rys. 2. Rozbiórka środkowej konstrukcji estakady w ciągu ul. Bolesława Krzywoustego w Poznaniu



Rys. 3. Rozbiórka konstrukcji parkingu w rejonie Ronda Kaponiera w Poznaniu



Rys. 4. Strefa kontaktowa w betonie z kruszywem recyklingowym betonowym [7]

związany z jego wytwarzaniem trwa do dziś.

Rozwój w każdej dziedzinie przemysłu wywiera wpływ na środowisko naturalne. W przypadku betonu wydobycie oraz obróbka surowców potrzebnych do jego produkcji znacznie obciążają środowisko. Każda nowa konstrukcja z betonu, potencjalnie przyczynia się do powstawania odpadów z gruzu betonowego, które w przyszłości trzeba będzie zagospodarować. Problem zagospodarowania i składowania odpadów budowlanych jest rosnącym, uciążliwym problemem, generującym duże koszty. Zjawisko wyburzania dużej liczby budowli i obiektów inżynierskich przyczynia się do pozyskiwania kruszywa betonowego pochodzącego z pokruszonych elementów betonowych (rys. 1–3) [11].

Rekomendacje RILEM TC 121-DRG TF1 [12] klasyfikują kruszywo z recyklingu pochodzące z rozbiórki według 3 kategorii [3]:

- typ I – kruszywo pochodzące wyłącznie z gruzu ceglanego,
- typ II – kruszywo pochodzące wyłącznie z gruzu betonowego,

- typ III – kruszywo mieszane składające się z co najmniej 80% kruszywa naturalnego i maksymalnie 10% kruszywa typu I.

Składnikami kruszywa z recyklingu betonowego są oprócz kruszywa naturalnego również zaprawa cementowa oraz zanieczyszczenia. Kruszywo naturalne jako składnik betonu źródłowego ma znaczący wpływ na właściwości fizyczno-chemiczne recyklingowego kruszywa betonowego. O wytrzymałości decyduje strefa kontaktowa kruszywo-zaczyn, która ma znaczący wpływ na sposób kruszenia materiału recyklingowego, a także na ilość pozostałej zaprawy [10]. Na rysunku 4 przedstawiono schemat strefy kontaktowej w betonie z kruszywem betonowym recyklingowym.

W obecnych czasach coraz większa świadomość społeczna skłania inwestorów do ochrony środowiska. W myśl programu zrównoważonego rozwoju wspieranie środowiska odbywa się przez zastąpienie materiałów pierwotnych – wtórnymi pochodzącymi z recyklingu. Matrycę cementową (otaczającą kruszywo naturalne) przeznaczoną do pokruszenia można uznać za specyficzny rodzaj zanieczyszczenia kruszywa recyklingowego. Zanieczyszczenia występujące w rodzimym materiale wykorzystanym do produkcji kruszywa z recyklingu mają zawsze negatywny wpływ na właściwości nowego betonu. Szeroka gama zanieczyszczeń powoduje bardzo duże prawdopodobieństwo ich przeniesienia do nowej mieszanki. Mogą one powodować obniżenie wytrzymałości betonu na ściskanie oraz obniżenie modułu sprężystości o 15% w porównaniu z betonem o kontrolowanym składzie [6].

Polskie normy częściowo „porządkują” temat zanieczyszczeń i wskazują ich dopuszczalne stężenie w kruszywie (tab. 1). Zanieczyszczenia występujące w kruszywie w dużej mierze zależą od miejsca wydobycia lub składowania kruszyw. Dodatkowo w kruszywach recyklingowych

Tabela 1. Dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń w kruszywie [4]

Rodzaj zanieczyszczeń		Uziarnienie	Dopuszczalne stężenie masowe/Uwagi
Fizyczne	Gliniaste (A)	01/, 0/2, 0/4	4%
		0/8, 1/2, 1/4, 2/4	3%
		0/16, 0/32, 1/8, 4/8	2%
		0/63, 2/16, 4/16, 4/32	1%
		8/16, 8/32, 16/32, 32/63	0,5%
	Materiały pochodzenia organicznego	0/4	0,5%
	4/63	0,1%	
	Materiały utrudniające twardnienie	-	Stężenie, przy którym próbka betonu wskazuje spadek wytrzymałości powyżej 15%
Chemiczne	Związki siarkowe	-	1%
	Chlorki	-	0,04% (żelbet, kablobeton) 0,02% (strunobeton)
	Alkalia	-	Brak jednoznacznych wytycznych

mogą występować jeszcze inne zanieczyszczenia, związane z eksploatacją obiektu przed wyburzeniem lub wynikające z samego procesu wyburzania.

3. Oznaczenie odporności na rozdrabnianie metodą Los Angeles

Badania odporności na rozdrabnianie kruszyw, zgodnie z normą [14, 15], prowadzi się w bębnie Los Angeles. Metoda ma na celu odtworzenie warunków pracy wbudowanego kruszywa i ocenę jego odporności na ścieranie przez określenie procentowego ubytku masy ziaren. Ubytek masy kruszywa powstaje w wyniku wzajemnego ścierania ziaren oraz ścierania powodowanego kulami stalowymi podczas badania. Do badania wykorzystuje się 11 stalowych kul o średnicy 45–59 mm i masie 400–445 g. Oznaczenie odporności na rozdrabnianie wykonuje się na próbkach kruszywa o frakcji 10–14 mm i masie 5000 ± 5 g. W trakcie badania bęben maszyny wykonuje 500 obrotów ze stałą prędkością od 31 do 33 obr./min. Po zakończeniu badania rozdrobniony materiał poddaje się przemywaniu i przesiewaniu przez sito 1,6 mm. Pozostałość na sicie suszy się do osiągnięcia stałej masy, następnie waży, a uzyskany wynik podstawia się do wzoru 1.1. [15].

$$LA = \frac{5000 - m}{50} \quad 1.1$$

gdzie: m – masa kruszywa pozostająca na sicie 1,6 mm, [g].

4. Część doświadczalna

Materiały

Tabela 2. Skład kruszywa „G” (gruz ogólnobudowlany)

Materiał	Beton i inne hydraulicznie związane materiały	Kruszywa z przekruszonej skały	Żużel	Cegły, mury i bloki betonowe	Płytki ceramiczne i gresowe	Zanieczyszczenia organiczne	Tworzywa sztuczne
Zawartość [%]	79,7	14,3	0,1	5,3	0,4	0,1	0,1

Tabela 3. Wyniki oznaczenia odporności na rozdrabnianie badanych próbek

Kruszywo	Materiał pozostały na sicie 1,6 mm [g]	Wynik badania	Kategoria LA
Żwir „A” 0/31,5	3665	26,7	LA30
Granit „B” 0/31,5	3590	28,2	LA30
Bazalt „C” 0/31,5	3724	25,5	LA30
Melafir „D” 0/63	4236	15,3	LA20
Recykling „E” 0/63	2251	55,0	LA55
Recykling „F”	3626	27,5	LA30
Recykling „G”	2673	46,5	LA50
Recykling „H”	1350	73,0	LA73
Recykling „I”	0	100	LA100
Żużel „J” 0/31,5	3650	27,0	LA30



Rys. 5. Próbkki kruszyw przed pokruszeniem: melafir, bazalt, granit, gruz budowlany, cegła, gazobeton

Do badań wytypowano następujące kruszywa:

- A – kruszywo naturalne (żwir polodowcowy 0/31,5 mm),
- B – kruszywo łamane – granit 0/31,5 mm,
- C – kruszywo łamane – bazalt 0/31,5 mm,
- D – kruszywo łamane – melafir 0/63 mm,
- E – kruszywo recyklingowe – pokruszony beton 0/63 mm, pochodzący z betonowej posadzki przemysłowej, klasa betonu B25,
- F – kruszywo recyklingowe – pokruszony beton, niefrakcjonowany, pochodzący bezpośrednio z budowy, z żelbetowego przęsła estakady drogowej, klasa betonu B30 (obecnie C25/30),
- G – gruz ogólnobudowlany pochodzący z wyburzeń, zebrany na hałdzie,
- H – gruz ceglany,
- I – gruz z gazobetonu,
- J – kruszywo sztuczne – żużel stalowniczy 0/31,5 mm.

Metoda badań

Materiał pochodzący z estakady oraz posadzki przemysłowej zostały przesiane i w stu procentach ich skład-

nikiem jest beton. Podobnie kształtuje się skład gruzu ceglanego oraz gazobetonu. W tabeli 2 przedstawiono składniki mieszanki „G” (gruz ogólnobudowlany). Dla każdego kruszywa, przygotowano próbkę analityczną, o masie 5000 g, z wydzielonej frakcji 10/14 mm. Badania przeprowadzono zgodnie z normą [15]. Na rysunku 5 zilustrowano wybrane próbki badanych kruszyw. Wyniki zestawiono w tabeli 3.

5. Omówienie wyników

Spośród badanych kruszyw najlepszy wynik w badaniu uzyskał melafir, który przyporządkowano do kategorii LA₂₀. Pozostałe kruszywa łamane zaklasyfikowano do niższej kategorii LA₃₀. Kategorię LA₃₀ uzyskało także kruszywo naturalne i żużel. Najlepsze parametry

spośród kruszyw recyklingowych otrzymano dla próbki z niefrakcjonowanym pokruszonym betonem, także LA₃₀. Pozostałe kruszywa z recyklingu – pokruszony beton o frakcji 0/63 mm, gruz ogólnobudowlany oraz ceglany, uzyskały wynik odpowiednio 46,5; 55 i 73. Najgorszy parametr uzyskano dla gazobetonu, który w 100% został przesiany przez sito 1,6 mm.

Wyniki wskazują małą powtarzalność w przypadku kruszyw recyklingowych różnego pochodzenia. Podobna wytrzymałość betonu na ściskanie nie zagwarantowała zbliżonych parametrów odporności na rozdrabnianie.

6. Podsumowanie

Wyniki badań prowadzonych dla betonów na bazie kruszyw naturalnych i wtórnych wykazują większe zróżnicowanie cech betonu recyklingowego w stosunku do zwykłego [9]. Zasadnicze różnice właściwości tych betonów powodowane są różnorodnością kruszyw pochodzących z recyklingu. Ze względu na rozmaite źródła pochodzenia oraz składu kruszywa recyklingowego konieczne jest jego przebadanie zgodnie z zaleceniami ujętymi w normach dla kruszyw do mieszanek betonowych [13]. Na właściwości fizykochemiczne kruszyw z betonu wpływają pierwotna klasa betonu, stopień hydratacji cementu oraz zanieczyszczenia, w tym stara matryca cementowa otaczająca kruszywo. Kruszywo wtórne uzyskane z rozkruszenia betonu o średniej wytrzymałości na ściskanie może stanowić pełnowartościowy składnik nowego betonu cementowego, a powszechnie prowadzone badania w tym temacie, w przyszłości przyczynią się do uzyskania jeszcze wyższej jakości kruszywa recyklingowego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ahn T.H., Kishi., Crack self-healing behavior of cementitious composites incorporating various mineral admixtures, J. Adv. Concrete Technol. 8, 2010, str. 171–186
- [2] Bolden J., Abu-Lebdeh T., Fini E., Utilization of recycled and waste materials in various construction applications., Am. J. Env. Sci. 9, 2013, str. 14–24
- [3] Boltryk M., Pawluczuk E., Ocena przydatności kruszywa wtórnego do betonów zwykłych, Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budownictwo, Zeszyt 31, 2007
- [4] Czaja J., Jaskowska-Lemańska J., Wpływ wybranych zanieczyszczeń kruszywa z recyklingu na zmianę parametrów technicznych betonu, Inżynieria środowiska – Młodym okiem, tom 17, 2015, str. 45–67
- [5] Frondistou-Yannas S., Waste Concrete as aggregate for new concrete, ACI Journal Proceedings, 1997, 74
- [6] Hansen T.C., Recycled aggregates and recycled aggregate concrete. Third-State-of-the-art. Report 1945-1989. Report of Technical Committee 37-DRC Demolition and Reuse of Concrete, London, 1992, str. 1–160
- [7] Jevtić D., Zakić D., Savić A., Achieving sustainability of concrete by recycling of solid waste materials. Mech. Tech. Diagn., 1 (2), 2012, str. 22–39
- [8] Padmini A.K., et. Al., Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. Construction and Building Materials, tom 23, 2009, str. 829–836
- [9] Wolska-Kotańska Cz., Właściwości i zastosowanie kruszywa z recyklingu betonu, Magazyn Autostrady 3, 2005, str. 18–22
- [10] Zając B., Gołębiewska I., (2012), Możliwość redukcji CO2 przez zastosowanie betonu zrównoważonego i kruszywa recyklingowego, Inż. Ap. Chem. 2014, 51 (5), str. 261–265
- [11] Zając B., Gołębiewska I., Nowoczesne metody recyklingu betonu, Inż. Ap. Chem. 2010, 49 (5), str. 136–137
- [12] RILEM Recommendation. Specifications for concrete with recycled aggregates. Materials and Structures. 1994, nr 27, 557–559
- [13] PN-EN 12620:2004 Kruszywa do betonu
- [14] PN-EN 1097:2000-2002 Badanie mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw
- [15] EN 1097-2:2010 Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation

