

## KSZTAŁTOWANIE STREFY KONTAKTOWEJ KRUSZYWO-ZACZYN W BETONACH RECYKLINGOWYCH

Edyta PAWLUCZUK\*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** Dotychczasowe badania betonów zawierających kruszywo z recyklingu wskazują głównie na wysoką nasiąkliwość tego kruszywa spowodowaną obecnością w jego składzie starej zaprawy cementowej. Wpływa to między innymi na szybką utratę urabialności mieszanki betonowej. W celu ograniczenia prędkości absorpcji wody przez ziarna kruszywa z recyklingu zrealizowano doświadczenie, w którym zmiennymi były: kolejność dozowania składników mieszanki betonowej oraz stopień wstępnego nasycenia kruszywa z recyklingu przed dodaniem go do mieszanki. Właściwościami analizowanymi w eksperymencie były: wytrzymałość betonu na ściskanie po 28 dniach dojrzewania, nasiąkliwość i współczynnik sorpcji wody. Zaobserwowane, w wyniku przeprowadzonego eksperymentu, korzystne zmiany cech betonów wyjaśniono poprzez obserwacje mikrostruktury strefy kontaktowej kruszywo z recyklingu-zaczyn cementowy.

*Słowa kluczowe:* kruszywo z recyklingu, strefa kontaktowa, kolejność dozowania, stopień wstępnego nasycenia.

### 1. Wprowadzenie

Badania betonów a w szczególności strefy kontaktowej kruszywa z matrycą cementową są prowadzone od wielu lat. Zainteresowanie tą strefą wynika z roli jaką odgrywa ona w procesie niszczenia betonu. Mikrospękania rozwijają się bowiem w obszarze granicznym z uwagi na zaburzenie własności ośrodka spowodowane niedoskonałością wiązania zaczynu z kruszywem (Pichór i Dyczek, 1999). Ze względu na zwiększoną porowatość wywołaną tak zwanym „efektem ściany” strefa przejściowa uważana jest powszechnie za najłabszy element mikrostruktury betonów. Mimo wieloletnich badań budowa tej strefy ciągle budzi kontrowersje. Dowodem na to jest fakt, że w literaturze można spotkać kilka różnych jej modeli (Barnes i in., 1978; Zimbelmann, 1985; Monteiro, 1986; Ollivier i Grandet, 1982). Istnieją również znaczne rozbieżności dotyczące grubości strefy przejściowej w betonie, która szacowana jest na 40-60  $\mu\text{m}$ . Pomimo różnic w budowie i rozmiarach strefy kontaktowej, większość autorów jest zgodna co do zwiększonej jej porowatości oraz występowania strefy wzbogaconej w portlandyt w stosunku do zaczynu oddalonego od powierzchni kruszywa. W przypadku znacznego zmniejszenia wody w betonach wysokich wytrzymałości porowatość strefy przejściowej drastycznie maleje a mikrostruktura matrycy otaczającej ziarna kruszywa jest taka sama jak w części oddalonej od ziarna

(Kurdowski, 2010). Z kolei w betonach zawierających kruszywo lekkie grubość strefy kontaktowej jest kilkukrotnie mniejsza w porównaniu z betonem na kruszywie naturalnym i wynosi 5-10  $\mu\text{m}$ . Przyczyną takiego stanu rzeczy jest przenikanie zaczynu cementowego przez porowatą powierzchnię kruszywa lekkiego na pewną głębokość (Lo i Cui, 2004). Dzięki temu, obecny w betonach zwykłych tak zwany „efekt ściany”, w tym przypadku nie występuje. Niektórzy autorzy wskazują z kolei na brak występowania strefy przejściowej między kruszywem lekkim a zaczynem, rozumianej jako warstwa o odmiennej strukturze w porównaniu do matrycy, znajdującej się w dalszej odległości od powierzchni kruszywa (Domagała, 2011). Stwierdzono natomiast korzystny wpływ stosowania suchego kruszywa lekkiego na porowatość matrycy cementowej, co wynika z pochłaniania wody w tych mikroobszarach przez porowate kruszywa (Elsharief i in., 2005).

Coraz powszechniej do betonów wykorzystuje się również kruszywa pochodzące z recyklingu gruzu budowlanego (Zega i in. 2010; Bołtryk i Pawluczuk, 2010 i 2011). Z tym zagadnieniem wiąże się jednak wiele problemów ze względu na zróżnicowane, w porównaniu z kruszywem naturalnym, właściwości kruszywa recyklingowych. Na jakość kruszywa z recyklingu wpływa głównie obecność w jego składzie zaprawy cementowej, która poprzez swoją wysoką porowatość, między innymi

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: e.pawluczuk@pb.edu.pl

zwiększa nasiąkliwość tego kruszywa i powoduje szybką utratę urabialności mieszanki betonowej.

Celem niniejszej pracy jest poprawa wybranych cech fizyczno-mechanicznych betonów w wyniku ograniczenia wchłaniania wody przez kruszywa z recyklingu podczas przygotowania mieszanki betonowej oraz wyjaśnienie zaobserwowanych zmian poprzez badanie mikrostruktury strefy przejściowej kruszywo – zaczyn cementowy.

## 2. Materiały stosowane do badań

W badaniach laboratoryjnych zastosowano cement portlandzki z Cementowni Ożarów CEM I 32,5R, zgodny z wymaganiami normy PN-EN 197-1:2002. Jako drobne kruszywo zastosowano piasek rzeczny płukany frakcji 0/2 mm. Naturalne frakcje grube stanowił żwir o uziarnieniu: 2/4, 4/8 oraz 8/16 mm.

Kruszywo z recyklingu uzyskano z rozkruszenia laboratoryjnych próbek betonowych o klasie wytrzymałości C20/25. Tak więc otrzymany materiał był pozbawiony zanieczyszczeń. Następnie uzyskane kruszywo zostało wypłukane i przesiane na frakcje 4/8 i 8/16 mm. Podstawowe właściwości kruszywa naturalnego i kruszywa z recyklingu zamieszczono w tablicy 1.

## 3. Plan eksperymentu

Wysoka zawartość zaprawy cementowej w kruszywie z recyklingu wpływa na kilkukrotny wzrost jego nasiąkliwości w porównaniu z kruszywem naturalnym. W celu ograniczenia prędkości absorpcji wody przez ziarna kruszywa podczas przygotowania mieszanki betonowej zaplanowano eksperyment uwzględniający następujące zmienne:

$X_1$  – kolejność dozowania składników mieszanki betonowej (Tam i in., 2007):

A – kolejność tradycyjna, w której dodawano kolejno: piasek + cement + kruszywo grube z recyklingu + woda zarobowa + (mieszanie około 180 s);

B – kolejność zmodyfikowana, w której dodawano kolejno: piasek + kruszywo grube z recyklingu + (mieszanie około 60 s) + około 1/2 wody zarobowej + (mieszanie około 60 s) + cement + (mieszanie około 30 s) + około 1/2 wody zarobowej + (mieszanie około 180 s);

$X_2$  – stopień wstępnego nasycenia kruszywa z recyklingu przed dodaniem go do mieszanki betonowej. Kruszywo dozowano: w stanie wysuszonym do stałej masy (0 %), w stanie częściowo nasyconym powierzchniowo suchym (50 %) oraz w stanie nasyconym powierzchniowo suchym (około 100 %).

Poszczególne składy betonów projektowano przy założeniu stałej ilości cementu, stałej objętości kruszywa oraz przy zachowaniu klasy konsystencji V3 ustalonej według metody Vebe zgodnie z PN-EN 12350-3:2001. Receptury poszczególnych mieszanek betonowych przedstawiono w tablicy 2. Do badań przyjęto plan dwuczynnikowy kompletny o  $2 \times 3 = 6$  kombinacjach. Dodatkowo przygotowano również serię betonu kontrolnego o numerze próby „0” (tab. 2).

Każdą próbę powtórzono 2-krotnie, a następnie losowo wybrano 4 próbki o wymiarach  $10 \times 10 \times 10$  cm do badania wytrzymałości na ściskanie oraz po 3 próbki do badania nasiąkliwości i współczynnika sorpcji wody.

## 4. Wyniki badań i ich analiza

W tablicy 3 zamieszczono średnie wartości z uzyskanych wyników badań dla poszczególnych serii betonów.

Tab. 1. Podstawowe właściwości badanych kruszyw

Właściwości	Kruszywo naturalne			Kruszywo z recyklingu	
	Frakcja [mm]			Frakcja [mm]	
	2/4	4/8	8/16	4/8	8/16
Zawartość zaprawy cem., % masy	–	–	–	29,0 <sup>1)</sup>	20,6 <sup>1)</sup>
Nasiąkliwość $WA_{24}$ , %	1,5	1,3	1,0	4,8	4,3
Gęstość objętościowa $\rho_a$ , g/cm <sup>3</sup>	2,65	2,66	2,66	2,43	2,44
Gęstość ziarn wysuszonych $\rho_{rd}$ , g/cm <sup>3</sup>	2,60	2,62	2,62	2,24	2,24
Gęstość ziarn nasyconych $\rho_{ssd}$ , g/cm <sup>3</sup>	2,64	2,65	2,65	2,36	2,39
Gęstość wypełniacza, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>		2,70		2,63	
Porowatość $P$ , %	1,9	1,5	1,5	7,6	7,2
Wskaźnik rozkruszenia $X_r$ , %	–	10,4	11,4	22,3	20,2
pH po 24h	8,3	8,0	8,0	11,3 <sup>2)</sup>	11,2 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> ustalona metodą termiczną (w wyniku podgrzewania kruszywa do 500°C)

<sup>2)</sup> wartości pH dotyczą w głównej mierze stwardniałej zaprawy cementowej pozostającej na kruszywie naturalnym

Tab. 2. Receptury mieszanek betonowych na 1m<sup>3</sup>

Seria	C 32,5 R kg	w <sub>D</sub>	w <sub>w</sub> dm <sup>3</sup>	w <sub>c</sub>	w <sub>c</sub> /c –	w <sub>e</sub> /c –	Piasek		Kruszywo naturalne		Kruszywo z recyklingu	
							0/2	2/4	4/8	8/16	4/8	8/16
B0	290	154	–	154	0,53	0,53	598	199	399	798	–	–
B/0%/A	290	196	0	196	0,68	0,53	598	199	–	–	366	735
B/0%/B	290	200	0	200	0,69	0,53	598	199	–	–	366	735
B/50%/A	290	164	24	188	0,65	0,53	598	199	–	–	366	735
B/50%/B	290	168	24	192	0,66	0,53	598	199	–	–	366	735
B/100%/A	290	154	49	203	0,70	0,53	598	199	–	–	366	735
B/100%/B	290	154	49	203	0,70	0,53	598	199	–	–	366	735

w<sub>d</sub> - ilość wody dodanej do mieszanki betonowej, dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>

w<sub>w</sub> - ilość wody w jednostce kruszywa z recyklingu wynikająca z jego wstępnego nasycenia, dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>

w<sub>c</sub> - ilość wody całkowitej w mieszance betonowej, dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>

w<sub>e</sub>/c - współczynnik woda efektywna / cement

Tab. 3. Średnie wartości uzyskanych wyników badań dla poszczególnych serii betonów

Seria	Zmienne rzeczywiste		Zmienne kodowane		Cechy betonów – wartości średnie		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	f <sub>cm,28</sub>	N	A
	–	%	–	%	MPa	% masy	g/cm <sup>2</sup> ·s <sup>0,5</sup>
0	A	0	0	-1	44,1	3,9	0,013
1	A	0	0	-1	33,8	6,1	0,018
2	B	0	1	-1	34,3	6,5	0,020
3	A	50	0	0	35,2	5,9	0,016
4	B	50	1	0	36,1	6,4	0,017
5	A	100	0	1	39,8	5,7	0,014
6	B	100	1	1	39,8	5,7	0,014
Wariancja s <sub>y</sub> <sup>2</sup>					1,74	0,016	0,000001

Na podstawie analizy statystycznej przeprowadzonej za pomocą programu Statistica 9 ustalono, na podstawie kryterium Cochra, że wariancje w poszczególnych próbach są jednolite. Ocenę istotności wpływu poszczególnych czynników na właściwości betonu przeprowadzono za pomocą testu *F*. Istotność współczynników regresji ustalano testem *t* przy  $\alpha = 0,05$  a adekwatność całego równania sprawdzano testem *F*. W celu końcowej weryfikacji opracowanych funkcji regresji przeprowadzono analizę reszt. Wykazała ona, że reszty mają rozkład normalny i nie występuje zależność między nimi i parametrami modelu. Daje to podstawę do zastosowania analizy statystycznej w zaplanowanym eksperymencie.

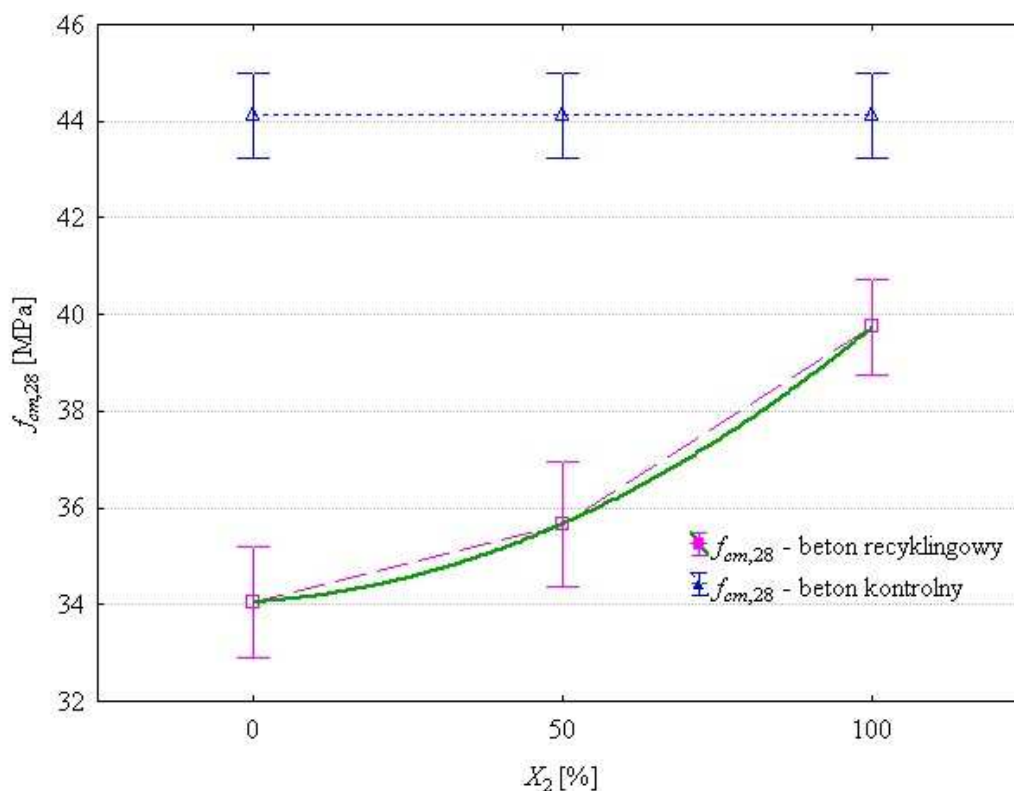
#### 4.1. Wytrzymałość betonu na ściskanie

Badanie wytrzymałości betonu na ściskanie wykonano po 28 dniach dojrzewania zgodnie z normą PN-EN 12390-3. Poszukiwane równanie regresji wytrzymałości na ściskanie betonu po 28 dniach dojrzewania, z uwzględnieniem tylko istotnych współczynników ma postać:

$$f_{cm,28} = 34,03 - 0,0073X_2 + 0,00051X_2^2 \quad (1)$$

przy  $R^2 = 0,99$ .

W celu interpretacji wyników badania otrzymaną funkcję przedstawiono graficznie na rysunku 1.



Rys. 1. Zmiany wytrzymałości na ściskanie betonu recyklingowego po 28 dniach dojrzewania w zależności od stopnia wstępnego nasycenia kruszywa ( $X_2$ ) w porównaniu z wynikami uzyskanymi dla betonu kontrolnego (B0)

Z rysunku 1 wynika, że wstępne nasycenie kruszywa z recyklingu wpływa korzystnie na wytrzymałość betonu na ściskanie po 28 dniach dojrzewania. Przy zastosowaniu kruszywa w stanie nasycenym powierzchniowo suchym zaobserwowano wzrost wytrzymałości betonu o około 17% w porównaniu do wytrzymałości betonu zawierającego kruszywo dozowane w stanie wysuszonym do stałej masy. Wstępne nasycenie kruszywa zapobiegło odciąganiu wody zarobowej z zaczynu, co prawdopodobnie spowodowałoby utworzenie licznych porów obniżających wytrzymałość strefy kontaktowej kruszywo z recyklingu – zaczyn cementowy.

#### 4.2. Nasiąkliwość betonu

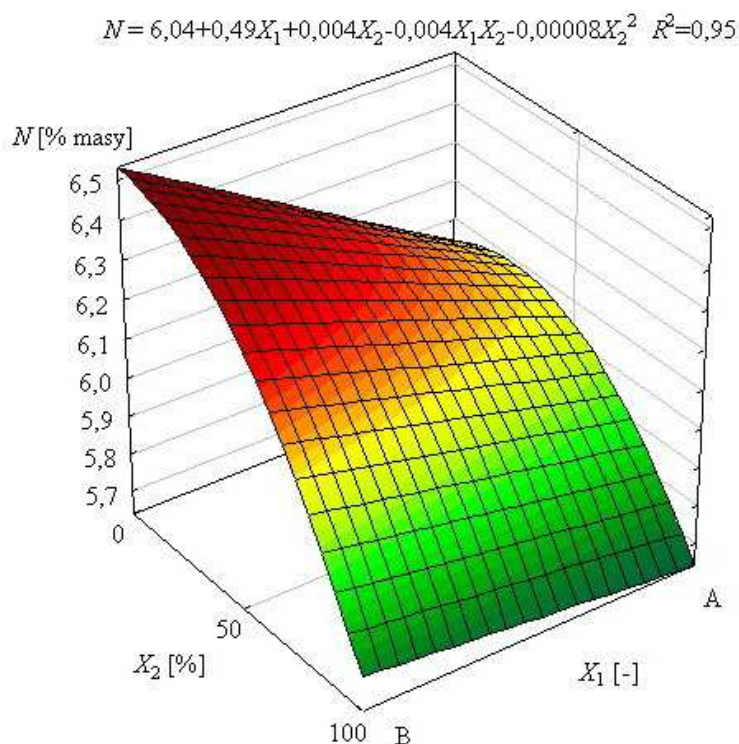
Badanie nasiąkliwości betonu wykonano zgodnie z normą PN-EN 1097-6. Poszukiwane równanie regresji opisujące zmiany nasiąkliwości betonu, z uwzględnieniem tylko istotnych współczynników ma postać:

$$N = 6,04 + 0,49X_1 + 0,004X_2 - 0,004X_1X_2 - 0,00008X_2^2 \quad (2)$$

przy  $R^2 = 0,95$ .

Interpretację graficzną ustalonego modelu przedstawiono na rysunku 2.

Z rysunku 2 wynika, że wraz ze wzrostem stopnia wstępnego nasycenia kruszywa z recyklingu następuje systematyczny spadek nasiąkliwości betonu. Wskazuje to na zmniejszenie porowatości betonu związane z dozowaniem kruszywa o takiej wilgotności, która zapobiega migracji wody zarobowej w zaczynie cementowym. Z kolei zaobserwowano wzrost nasiąkliwości betonu o około 8% ze względu na przyjęcie zmodyfikowanej kolejności dozowania składników (B). W porównaniu z betonem kontrolnym nasiąkliwość betonu zawierającego kruszywo z recyklingu wzrasta o około 50-60% (tab. 3).



Rys. 2. Zmiany nasiąkliwości betonu w zależności od kolejności dozowania składników ( $X_1$ ) oraz stopnia wstępnego nasycenia kruszywa z recyklingu ( $X_2$ )

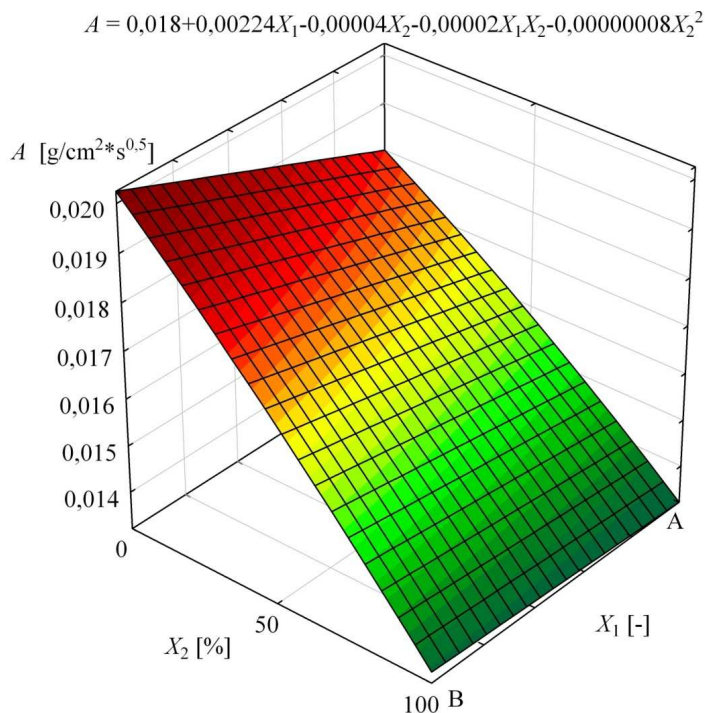
#### 4.3. Współczynnik sorpcji wody

Badanie współczynnika sorpcji wody wykonano zgodnie z normą PN-EN 7772-11 (dotyczącą badania elementów murowych). Poszukiwane równanie regresji opisujące zmiany sorpcji wody przez beton z uwzględnieniem tylko istotnych współczynników ma postać:

$$A = 0,018 + 0,00224X_1 - 0,00004X_2 - 0,00002X_1X_2 - 0,00000008X_2^2 \quad (3)$$

przy  $R^2 = 0,99$ .

Interpretację graficzną ustalonego modelu z uwzględnieniem wartości rzeczywistych czynników przedstawiono na rysunku 3.



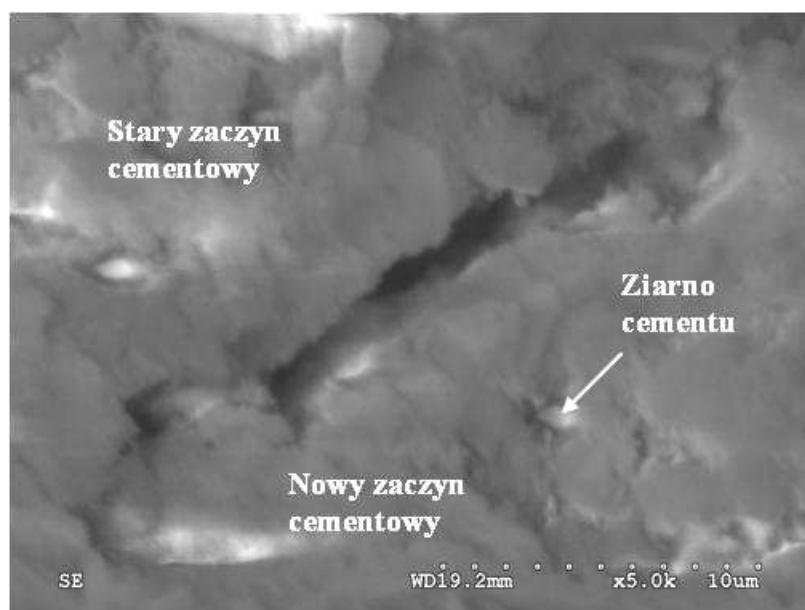
Rys. 3. Zależność współczynnika sorpcji wody od kolejności dozowania składników ( $X_1$ ) oraz stopnia wstępnego nasycenia kruszywa z recyklingu ( $X_2$ )

Rysunek 3 wskazuje na systematyczny spadek współczynnika sorpcji wody przez beton wraz ze wzrostem stopnia wstępnego nasycenia kruszywa z recyklingu (maksymalnie o 22%). Z kolei zaobserwowano wzrost współczynnika sorpcji o około 10 % ze względu na przyjęcie zmodyfikowanej kolejności dozowania składników (B), czyli analogicznie jak w przypadku wyników nasiąkliwości betonu. Betony zawierające 100% kruszywa z recyklingu absorbują o około 30-64% więcej wody (w zależności od stopnia ich wstępnego nasycenia) niż beton kontrolny (tab. 3).

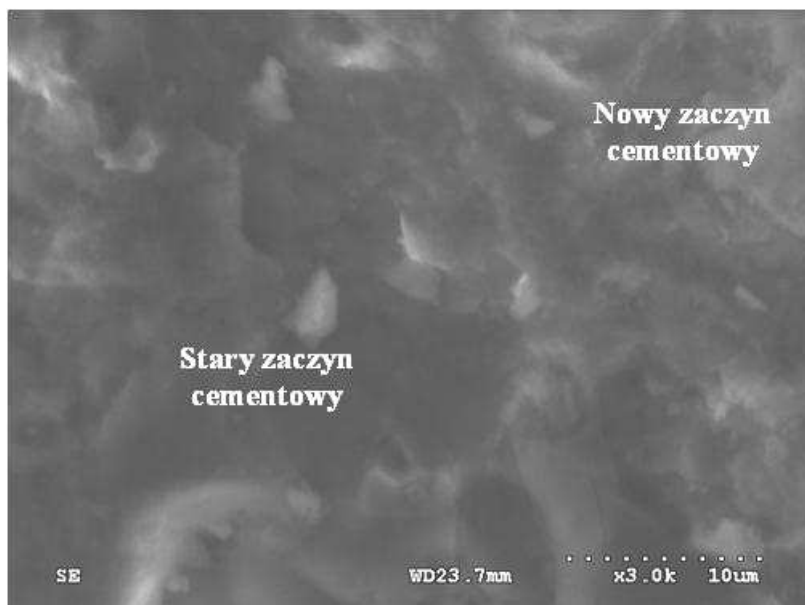
##### 5. Mikrostruktura strefy kontaktowej kruszywo-zaczyn w betonie

W celu ustalenia mechanizmu kształtowania się strefy kontaktowej w betonach na kruszywie z recyklingu przeprowadzono badania na mikroskopie skaningowym połączone z mikroanalizą rentgenowską. Badania realizowano na przygotowanych przełamach pochodzących z próbek betonowych. Do momentu badania próbki przechowywano w warunkach laboratoryjnych w temperaturze około 20°C i wilgotności około 90%.

W pracy przedstawiono wyniki mikroskopii skaningowej dotyczące strefy kontaktowej między kruszywem z recyklingu i nowym zaczynem cementowym. Na rysunku 4 i rysunku 5 przedstawiono strefę stykową w betonach zawierających kruszywo z recyklingu o stopniu wstępnego nasycenia odpowiednio 0% i 100%.



Rys. 4. Strefa stykowa (kruszywo z recyklingu-zaczyn cem.) w betonie z recyklingu zawierającym kruszywo o wilgotności wstępnej równej 0% (powiększenie x5000)



Rys. 5. Strefa stykowa (kruszywo z recyklingu-zaczyn cem.) w betonie z recyklingu zawierającym kruszywo o wilgotności wstępnej równej 100% (powiększenie x3000)

Z rysunku 4 wynika, iż w przypadku, kiedy kruszywo dozowano do betonu w stanie wysuszonym do stałej masy, w miejscu strefy kontaktowej wytworzyła się widoczna szczelina. W przypadku stosowania kruszywa nasyconego strefa kontaktowa wykazała zwartą i szczelną strukturę (rys. 5). Związane jest to z powstawaniem szczelnej fazy żelu C-S-H, który wypełnił wolne przestrzenie znajdujące się przy powierzchni kruszywa z recyklingu, a które były zbyt małe, aby przeniknął tam zaczyn cementowy, jak to ma miejsce w przypadku porowatych kruszyw lekkich.

## 6. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wskazują na korzystny wpływ wstępnego nasycenia kruszywa z recyklingu na rozpatrywane cechy betonów. Wytrzymałość na ściskanie wzrosła o około 17% w porównaniu z betonem zawierającym kruszywo wysuszone, a nasiąkliwość i współczynnik sorpcji wody obniżyły się odpowiednio o około 7% i 22%.

W przypadku, kiedy kruszywo dozowano do betonu w stanie wysuszonym do stałej masy strefa kontaktowa wykazała znaczne nieszczelności. Obecność niehydratyzowanych ziarn cementu (rys. 4) wskazuje na ograniczenie migracji wody z zaczynu prawdopodobnie spowodowanej tym, iż podczas absorbowania wody pory występujące na powierzchni kruszywa z recyklingu zostały zablokowane ziarnami cementu przemieszczającymi się wraz z fazą płynną. Ziarna kruszywa z recyklingu nie wchłonęły ilości wody niezbędnej do przeprowadzenia hydratacji cementu co potwierdza mniejsza ilość wody całkowitej zawartej w mieszance betonowej B/0%/A w porównaniu np. z mieszanką B/100%, niezbędnej do uzyskania wymaganej konsystencji (tab. 2). Proces ten spowodował prawdopodobnie rozluźnienie i osłabienie strefy kontaktowej. W warstwie kontaktowej wytwarza się mniej produktów hydratacji cementu, głównie jest to ettringit blokujący rozwój fazy C-S-H (Pawluczuk, 2009). W wyniku dodania do mieszanki betonowej kruszywa nasyconego, niewielka część zawartej w nim wody, podczas procesu zagęszczania, migruje w stronę zaczynu cementowego. Tym samym na powierzchni kruszywa tworzy się obszar wzbogacony w wodę, która częściowo ponownie zostaje zaabsorbowana przez ziarna kruszywa. Przy swobodnym dostępie wody, na powierzchni kruszywa tworzy się warstwa żelu C-S-H z przenikającymi ją kryształami  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Proces hydratacji następuje swobodnie, przy dostępie wody zawartej w ziarnach kruszywa. Produkty hydratacji cementu wypełniają puste szczeliny obecne przy powierzchni starego zaczynu cementowego znajdującego się w kruszywie z recyklingu. Dzięki temu zaczyny cementowe łączą się a strefa kontaktowa przyjmuje zwartą strukturę (Pawluczuk, 2009). W betonie recyklingowym nie zaobserwowano efektu ściany wynikającego

ze ścisłego ułożenia kryształów portlandytu. Jest to związane z porowatą powierzchnią kruszywa z recyklingu uniemożliwiającą systematyczne narastanie kryształów  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Stosowanie kruszyw recyklingowych w stanie nasyconym powierzchniowo suchym jest rozwiązaniem korzystniejszym z punktu widzenia cech fizyczno-mechanicznych betonu, co potwierdzają obserwacje mikrostruktury badanej strefy kontaktowej

## Literatura

- Barnes B.D., Diamond S., Dolch W.L. (1978). The contact zone between portland cement paste and glass aggregate surface. *Cement and Concrete Research*, Vol. 8, 233-244.
- Bołtryk M., Pawluczuk E. (2010). Properties of recycled aggregate concretes modified by asphalt paste. W: *Proc. of the 10th International Conference: Modern building materials, structures and techniques: selected papers*, Vilnius, 41-49.
- Bołtryk M., Pawluczuk E. (2011). Modelowanie struktury betonów cementowych na kruszywie z recyklingu. *Inżynieria i Budownictwo*, 6/2011 – przyjęty do druku.
- Domagała L. (2011). Wpływ kruszywa porowatego na mikrostrukturę strefy przejściowej w betonie lekkim. *Cement-Wapno-Beton*, 2/2011, 101-114.
- Elsharief A., Cohen M.D., Olek J. (2005). Influence of lightweight aggregate on the microstructure and durability of mortar. *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, 1368-1376.
- Kurdowski W. (2010). Chemia cementu i betonu. *Polski Cement*, Kraków, PWN, Warszawa.
- Lo T.Y., Cui H.Z. (2004). Effect of porous lightweight aggregate on strength of concrete. *Materials Letters*, Vol. 58, 916-919.
- Monteiro P.J.M. (1986). Improvement of the aggregate-cement paste transition zone by grain refinement of hydration products. W: *Proc. of the 8th International Congress on the Chemistry of Cement*, Rio de Janeiro, 433-437.
- Ollivier J.P., Grandet J. (1982). Processus de formation de l'aureole de transition: sequence of formation of the aureole of transition. *Colloque international sur les liaisons pâtes de ciment - matériaux associés*, Toulouse, 14-22.
- Pawluczuk E. (2009). Wpływ kruszywa z recyklingu na właściwości betonu recepturowego. Rozprawa doktorska, *Politechnika Białostocka*, Białystok.
- Pichór W., Dyczek J. (1999). Budowa strefy kontaktowej włókno-zaczyn w kompozytach cementowych z włóknami polimerowymi. W: *Materiały Konferencji „Materiały budowlane – nowe kierunki w chemii i technologii”*, Kraków, AGH, 22-23 czerwca 1999, 268-283.
- Tam V.W.Y., Tam C.M., Wang Y. (2007). Optimisation on proportion for recycled aggregate in concrete using two-stage mixing approach. *Construction and Building Materials*, Vol. 21, 1928-1939.
- Zega C.J., Villagran-Zaccardi Y.A., Di Maio A.A. (2010). Effect of natural coarse aggregate type on the physical and mechanical properties of recycled coarse aggregates. *Materials and Structures*, Vol. 43, 195-202.
- Zimbelman R. (1985). A Contribution to the problem of cement-aggregate bond. *Cement and Concrete Research*, Vol. 15, 801-808.

**SHAPING OF INTERFACIAL TRANSITION ZONE  
BETWEEN AGGREGATE AND CEMENT PASTE  
IN RECYCLED CONCRETE**

**Abstract:** The paper presents results of experiment with two different factors, like: order of adding of concrete mix components and level of recycled concrete saturation before adding it to concrete mixture. Determination of the influence of this two factors upon selected properties of concrete was the aim of this work. The following features were tested: concrete compressive strength, water absorbability and sorption

water coefficient. Essential changes of concrete features under the influence of two factors were explained by examination of interfacial transition zone between recycled aggregate and cement paste. To this aim scanning electron microscopy was used.

Pracę zrealizowano w ramach projektu badawczego S/WBiŚ/4/10.