

Paweł Tokarz

P.P.M. Bosta Beton Sp. z o.o.

„Beton w zgodzie z naturą czyli „ZERO WASTE (zero marnowania) - kruszywo z recyklingu w połączeniu z cementami niskoemisyjnymi w betonie jako przyszłość budownictwa”

Streszczenie

Produkcja betonu jest silnie związana z potrzebami człowieka, ale i z uwarunkowaniami środowiska naturalnego. Do produkcji betonu wykorzystywane są zasoby naturalne i przez procesy technologiczne tworzony jest bardzo wdzięczny w użytkowaniu człowieka materiał konstrukcyjny o ciekawych walorach wizualnych, dzięki któremu powstają domy, mosty, obiekty inżynieryjne. Rozwój cywilizacji powoduje duże zapotrzebowanie na produkcję betonu a tym samym eksploatację naturalnych surowców m.in. kruszywa naturalne czy emisję CO₂. Idea „zero waste” jest przeciw wagą dla niepohamowanej eksploatacji tworzonych dóbr. Produkcja betonu nie może być obojętna na ewolucję potrzeb rynku, więc idea zrównoważonego rozwoju poprzez ideę „zero waste” wskazuje nowy kierunek dla producentów betonu. Bosta-Beton Sp.z o.o. jako producent betonu rozwija nowe kierunki w produkcji, prowadzi badania nad wykorzystaniem nowych źródeł surowców w tym kruszywa z recyklingu celem ograniczenia eksploatacji naturalnych surowców.

W artykule przedstawione są możliwości prowadzenia produkcji betonu w myśl idei „zero waste” poprzez analizę dokumentów normowych i prawnych, przez badania dostępnych surowców z kruszywa z recyklingu oraz cementów niskoemisyjnych CEM IV czy CEM II B-V po wskazanie pozytywnych i negatywnych skutków takiego działania.

Podsumowanie dokonanych analiz prawnych, badawczych, ekonomicznych przez Bostę-Beton ma na celu wskazanie w jakim punkcie przemian obecnie jest produkcja betonu w Polsce na tle światowych trendów w myśl idei „ZERO WASTE” (zero marnowania).

Abstract

Concrete production is closely linked to human needs, as well as to the conditions of the natural environment. Natural resources are used in the production of concrete, and through technological processes, a highly versatile and user-friendly construction material is created—one with appealing visual qualities that enable the construction of houses, bridges, and engineering structures. The advancement of civilization generates high demand for concrete production, which in turn leads to the exploitation of natural resources such as natural aggregates and contributes to CO₂ emissions. The "zero waste" concept serves as a counterbalance to the unrestrained exploitation of resources. Concrete production cannot remain indifferent to the evolving needs of the market, and thus, the idea of sustainable development through the "zero waste" approach points to a new direction for concrete manufacturers. Bosta-Beton Sp. z o.o., as a concrete producer, is developing new approaches to production and conducting research into the use of alternative raw material sources, including recycled aggregates, in order to reduce the exploitation of natural resources.

This article presents the possibilities of conducting concrete production in accordance with the "zero waste" philosophy, through the analysis of standard and legal documents, research into available recycled aggregates and low-emission cements such as CEM IV and CEM II B-V, and an assessment of the positive and negative effects of such practices.

The summary of legal, research, and economic analyses conducted by Bosta-Beton aims to highlight the current state of concrete production in Poland within the context of global trends, in line with the "ZERO WASTE" philosophy."

1. Wprowadzenie

We współczesnym świecie zdominowanym przez rozwój nowych technologii, coraz powszechniejsze jest wykorzystywanie cyfrowych narzędzi i osiągnięć cywilizacji to wciąż niezmiennie do budowy domów, mostów, dróg wykorzystujemy znany od wieków beton. Mamy świadomość, że jest to wciąż podstawowy materiał do budowy konstrukcji inżynierskich jak i wdzięczny materiał do tworzenia ciekawych form architektonicznych. Niemniej jedna i ten materiał podlega ewolucji i zmienia się poprzez wykorzystywanie nowych technologii jak domieszki nowej generacji np. polimerowe czy dodatki powodujące „samoleczenie” się betonu. Do produkcji betonu oprócz standardowych surowców takich jak cement, kruszywo, woda, domieszki i dodatki zaczęto używać wszelkiego rodzaju włókien stalowych jak i z tworzyw sztucznych typu plastik. Z uwagi na wymagania Parlamentu Europejskiego o redukcji dwutlenku węgla cementownie zmieniają podejście do produkcji dotychczas produkowanych cementów oferując nowe cementy o niskim śladzie węglowym.

P.P.M.B. Bosta-Beton A CRH Company produkując beton na rynku polski od 35 lat bazując na doświadczeniach inżynierów i technologów również pracując nad rozwojem technologii produkcji betonu w oparciu o nowe surowce.

W artykule prezentowany jest przykład podążania za zmianami cywilizacyjnymi czyli większego poszanowania dla środowiska naturalnego. Kierując się polityką „ZERO WASTE (zero marnowania) podjęliśmy jako zespół technologów Bosta-Beton wyzwanie, aby nasze prace rozwojowe ukierunkować na produkcję betonu z wykorzystaniem kruszywa z recyklingu oraz cementów niskoemisyjnych. Wszystko po to by móc realizować potrzeby rynku budowlanego ale w trosce o środowisko naturalne. Przeprowadziliśmy analizę dostępności surowców i wykonaliśmy serie badań celem opracowania optymalnego rozwiązania mieszanek betonowych z wykorzystaniem kruszyw naturalnych oraz pochodzących z odzysku w połączeniu z cementami z dodatkami CEM IV czy CEM II B-V.

2. Analiza wymagań prawnych i normowych dla kruszyw z recyklingu

P.P.M.B. Bosta-Beton A CRH Company jako świadomy producent betonu prowadzi produkcję w oparciu o obowiązujące wymagania prawne, zapisy norm krajowych i europejskich. Analizując zapisy obowiązujących, na dzień dzisiejszy, norm istnieje możliwość wykorzystywania oprócz kruszyw naturalnych także kruszyw z odzysku co wpisuje się w politykę „ZERO WASTE” (zero marnowania).

Zgodnie z normą PN-EN 12620+A1 "Kruszywo do betonu" będziemy nazywać – kruszywo z recyklingu jako powstałe w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego uprzednio w budownictwie. W normie PN-EN 12620+A1 w tablicy 20 mamy klasyfikację składników kruszyw grubych z recyklingu.

Tablica 20 - Kategorie składników grubych kruszyw z recyklingu

Składniki	Zawartość procent masy	Kategorie
Rc	≥ 90 ≥ 80 ≥ 70 ≥ 50 < 50	Rc ₉₀ Rc ₈₀ Rc ₇₀ Rc ₅₀ Rc Deklarowana
	Brak wymagania	Rc _{NR}
Rc + Ru	≥ 95 ≥ 90 ≥ 70 ≥ 50 < 50	Rcu ₉₅ Rcu ₉₀ Rcu ₇₀ Rcu ₅₀ Rcu Deklarowana
	Brak wymagania	Rcu _{NR}
Rb	≤ 10 ≤ 30 ≤ 50 > 50	Rb ₁₀₋ Rb ₃₀₋ Rb ₅₀₋ Rb Deklarowana
	Brak wymagania	Rb _{NR}
Ra	≤ 1 ≤ 5 ≤ 10	Ra ₁₋ Ra ₅₋ Ra ₁₀₋
X + Rg	$\leq 0,5$ ≤ 1 ≤ 2	XRg _{0,5-} XRg ₁₋ XRg ₂₋
	Zawartość cm³/Kg	
FL	$\leq 0,2^a$	FL _{0,2-}
	≤ 2	FL ₂₋
	≤ 5	FL ₅₋
^a Kategoria $\leq 0,2$ przeznaczona jest tylko do specjalnych zastosowań, wymagających wysokiej jakości wykończenia powierzchni.		

Tabela nr 1 Zestawienie klasyfikacji składników wg normy PN-EN 12620+A1

W normie PN-EN 12620+A1 "Kruszywo do betonu" mamy dokładny podział na pochodzenie składników i procentowy udział poszczególnych materiałów, które mogą wchodzić w skład kruszywa z recyklingu.

Składnik	Opis
Rc	Beton, wyroby betonowe. zaprawa, betonowe elementy murowe
Ru	Kruszywo niezwiązane, kamień naturalny, kruszywo związane hydraulicznie
Rb	Ceramiczne elementy murowe (tj. cegły i dachówki) Silikatowe elementy murowe Beton napowietrzony nie pływający w wodzie
Ra	Materiały bitumiczne
FL	Materiał pływający w wodzie, objętościowo
X	Inne: Spoiste (np. glina i grunt) Metale różne (żelazne i nieżelazne), Nie pływające w wodzie drewno, plastik i guma Tynk gipsowy
Rg	Szkło

Tabela nr 2 Opis składników wg normy PN-EN 12620+A1

Przykłady kruszyw recyklingowych powstałych z różnych rodzajów materiałów obrazują poniższe zdjęcia:



Fot 1. Magazyn kruszyw z recyklingu



Fot 2. Kruszywa z recyklingu z różnego typu materiałów

Norma PN-EN 206+A2:2021-08, „Beton. Wymagania, właściwości użytkowe produkcja i zgodność” definiuje trzy sposoby wtórnego pozyskania kruszywa do betonu:

- **kruszywo odzyskane przez wypłukanie** z mieszanki betonowej



Rysunek 1. Instalacja do odzyskiwania kruszywa ze świeżej mieszanki betonowej

- **kruszywo odzyskane przez przekruszenie** betonu stwardniałego, który nie był wcześniej stosowany na budowie



Rysunek2. Przykład kruszywa powstałego z przekruszenia betonu

- **kruszywo z recyklingu** powstałe w wyniku przetworzenia materiału nieorganicznego zastosowanego wcześniej na budowie



Rysunek3. Przykład selekcji odpadów budowlanych do produkcji kruszywa recyklingowego

Zgodnie z zapisami normy PN-EN 206+A2:2021-08(tablica E.2.)” Beton. Wymagania, właściwości użytkowe produkcja i zgodność” kruszywom z recyklingu stawiane są poniższe wymagania:

- kruszywo powinno być o frakcji powyżej 4 mm

- w tablicy E.2. doprecyzowany jest udział procentowy kruszywa z recyklingu, którym to można zastąpić kruszywo naturalne w mieszankach betonowych w zależności od klas ekspozycji dla betonu. Poniższa tabela E.2. definiując górne granice procentowego udziału kruszyw z recyklingu wyznacza w sposób ostrożny możliwość zastępowania kruszyw naturalnych w mieszankach betonowych.

Tablica E.2 - Maksymalny procent zastąpienia grubych kruszyw (% masowo)

Typ kruszywa z recyklingu	Klasy ekspozycji			
	X0	XC1, XC2	XC3, XC4, XF1, XA1, XD1	Wszystkie pozostałe klasy ekspozycji ^a
Typ A: (RC ₉₀ , Rcu ₉₅ , Rb ₁₀₋ , Ra ₁₋ , FL ₂₋ , XRg ₁₋)	50%	30%	30%	0%
Typ B ^b : (RC ₅₀ , Rcu ₇₀ , Rb ₃₀₋ , Ra ₅₋ , FL ₂₋ , XRg ₂₋)	50%	20%	0%	0%
^a Kruszywa z recyklingu typu A znanego pochodzenia można stosować przy klasach ekspozycji, na które zaprojektowano beton pierwotny, przy maksymalnym procencie zastąpienia wynoszącym 30 % ^b Nie zaleca się stosowania kruszyw z recyklingu typu B do betonu klas wytrzymałości na ściskanie > C30/37				

Tabela nr.3. Dane wg normy PN-EN 206+A2:2021-08 (tablica E.2.)

- w tablicy E.3. są wyszczególnione wymagania dla kruszyw w recyklingu w oparciu o normę PN-EN 12620+A1 „Kruszywa do betonu”. Dane zebrane w tabeli E.3. wskazują kryteria kilku najistotniejszych właściwości kruszyw z recyklingu, które mają bezpośredni wpływ na jakość samego kruszywa i jego przydatności w betonie. Wprowadzone typy kruszyw A i B oraz uporządkowany podział surowców wchodzących w skład kruszyw recyklingowych pozwala na selekcję pod kontem przydatności kruszywa do betonu.

Tablica E.3 - Zalecenia dotyczące grubych kruszyw z recyklingu wg EN 12620

Właściwości ^a	Rozdział w EN 12620:2002+A1:2008	Typ	Kategoria zgodnie z EN 12620
Zawartość pyłów	4.6	A + B	Kategoria lub wartość deklarowana
Wskaźnik płaskości	4.4	A + B	≤ Fl ₅₀ lub ≤ SL ₅₅
Odporność na rozdrabnianie	5.2	A + B	≤ LA ₅₀ lub ≤ SZ ₃₂

Gęstość ziaren w stanie suchym ρ_{rd}	5.5	A	$\geq 2100 \text{ kg/m}^3$
		B	$\geq 1700 \text{ kg/m}^3$
Nasiąkliwość	5.5	A + B	Wartość deklarowana
Składniki ^b	5.8	A	Rc ₉₀ , Rcu ₉₅ , Rb ₁₀ -, Ra ₁ -, FL ₂ -, XRg ₁ -
		B	Rc ₅₀ , Rcu ₇₀ , Rb ₃₀ -, Ra ₅ -, FL ₂ -, XRg ₂ -
Zawartość siarczanów rozpuszczalnych w wodzie	6.3.3	A + B	SS _{0,2}
Zawartość jonów chlorkowych rozpuszczalnych w kwasie	6.2	A + B	Wartość deklarowana
Wpływ na początek czasu wiązania	6.4.1	A + B	$\leq A_{40}$
^a Kategorię NR (brak wymagań) można stosować w odniesieniu do innych właściwości, niewymienionych w niniejszej tablicy. W odniesieniu do tych właściwości kategorię NR można zadeklarować zgodnie z EN 12620			
^b w przypadku specjalnych zastosowań, przy których wymagana jest wysoka jakość wykończenia powierzchni, zaleca się ograniczenie wskaźnika FL składnika do kategorii FL _{0,2} -.			

Tabela nr.4. Dane wg normy PN-EN 206+A2:2021-08 (tablica E.3.)

Dzięki zapisom norm:

- PN-EN 12620+A1 „Kruszywa do betonu”
- PN-EN 206+A2:2021-08 “Beton. Wymagania, właściwości użytkowe produkcja i zgodność” producenci betonu mogą formalnie bez przeszkód stosować kruszywo z recyklingu. Na producencie spoczywa odpowiedzialność, aby umiejętnie wykorzystać dostępne źródła kruszywa z recyklingu.

W Polsce od 01.01.2025r. w wyniku zmian przepisów jest obowiązek segregacji odpadów budowlanych na sześć grup: drewno, metale, szkło, tworzywa sztuczne, gips, odpady mineralne w tym beton, cegłę, płytki i materiały ceramiczne oraz kamienne obowiązek ten spoczywa na przedsiębiorstwach świadczących usługi rozbiórkowe. Nowe podejście poprzez większą segregację odpadów u źródeł ich wytwarzania w myśl polityki „ZERO WASTE” otwiera drogę do pozyskanie większej ilości kruszywa recyklingowego do wykorzystania w betonie.

3. Dostępności kruszyw z recyklingu na rynku Polskim

Beton to mieszanka cementu, kruszywa, domieszek, dodatków oraz wody. Proporcje poszczególnych surowców kształtują się jak niżej.

Produkcja betonu opiera się o podstawowe surowce:

- cement stanowi (8-15% masy wszystkich składników)
- kruszywo drobne(25-32% masy wszystkich składników)
- kruszywo grube(45-52% masy wszystkich składników)
- domieszki(<1% masy wszystkich składników)
- dodatki(<8% masy wszystkich składników)
- wodę(5-9% masy wszystkich składników)

Nasuwa się wniosek, że skoro kruszywo grube stanowi blisko 50% procent masy 1 metra sześciennego betonu to jeśli rocznie produkcja betonu w Polsce wynosi ok 25 milionów metrów sześciennych betonu to potrzebujemy ok. 28 miliona ton kruszywa grubego. Jeśli moglibyśmy wykorzystać 20% kruszyw z recyklingu 5,6 miliona ton. Dużo czy mało trudno wskazać jednoznacznie zależne od skali, ale na pewno ma ogromny wpływ na gospodarkę odpadami i otwiera nowe perspektywy polityki „ZERO WASTE”.

Jeśli jest formalna możliwość, aby korzystać z kruszywa z recyklingu to skąd je pozyskać? Szukając odpowiedzi na takie pytanie, jako zespół technologów Bosta-Beton zaczęliśmy poszukiwania źródeł kruszyw z recyklingu. Na rynku polskim jest już wiele firm, które produkują kruszywa z recyklingu, ale są to firmy głównie przerabiają materiał rozbiórkowy z burzonych konstrukcji. Firmy te działają w systemie mobilnym, ustawiając sprzęt do burzenia i kruszenia elementów konstrukcji, selekcionując drewno i tworzywa sztuczne a rozdrabniając na mniejsze frakcje żelbet, ceramikę. Pozyskany z żelbetów gruz, z którego odzyskiwana jest stal zbrojeniowa pozostaje głównie kruszony na frakcje 0/64. Bardzo rzadko spotykany jest jedno rodny materiał pochodzący tylko i wyłącznie np. z gruzu betonowego. Większość dostępnych kruszyw z recyklingu jest niejednorodnych i zawiera zmieszany beton, ceramikę tworzywa sztuczne i drewno. Pojawiają się również firmy, które zaczynają oferować kruszywo z recykling do konkretnego zastosowania jako np. kruszywa do niezwiązanych i hydraulicznie związanych materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym wg normy PN-EN 12620. Niestety póki co ten materiał jest dostępny okresowo i jego ilość jest słabo dostępna. Do produkcji betonu najbardziej pożądane frakcje to 4/16, 8/16 i 16/31,5 jednak najbardziej popularne dostępne frakcje to 0/31,5.

Firmy produkujące kruszywo z recyklingu przygotowują materiał celem wykorzystania w drogownictwie np. podbudowy dróg o niskich kategoriach ruchu lub jako materiał do utwardzenia czy wyrównania placów składowych. Wciąż powstają nowe rozwiązania technologiczne a takim jest pozyskanie kruszywa poprzez zastosowanie dodatków chemicznych. Dzięki rozwiązaniom firm chemicznych możemy odzyskiwać kruszywo z niewykorzystanych resztek świeżej mieszanki betonowej bez skomplikowanych urządzeń.

4. Wyniki badań kruszyw

W ramach współpracy spółek zrzeszonych w grupie CRH tj. Bosta-Beton i Trzuskawica powstał projekt produkcji kruszywa z recyklingu. Z pomocą zespołu pracującego w kopalni kruszyw Trzuskawica oraz dzięki współpracy podwykonawców zajmujących się recyklingiem/kruszeniem betonów udało się wyselekcjonować gruz budowlany powstały z rozbiórki fundamentów hal przemysłowych na Górnym Śląsku. Przygotowano partię gruzu żelbetonowego poprzez wstępną selekcję oraz oczyszczenie gruzu z fragmentów stali zbrojeniowej i materiałów typu drewno. Tak przygotowany gruz został skuszony do frakcji 4/16 i rozsiany na poszczególne frakcje, gdzie w wyniku przesiewania powstały również drobne frakcje od 0 do 4mm. Tak przygotowane kruszywo 4/16 zostało poddane szczegółowym badaniom zgodnie z normą EN 12620: 2002+A1: 2008. Dzięki pracy zespołu laboratoryjnego i produkcyjnego kopalni Trzuskawica uzyskaliśmy kruszywo z recyklingu na które zostały wystawione dokumenty jakościowe tj. Deklaracja Właściwości Użytkowych jak i karta CE

Niepowtarzalny kod identyfikacyjny typu wyrobu	Kruszywo grube 4/16 RA mm	
Numer referencyjny deklaracji właściwości użytkowych	02/R/K/23	
Poziom lub klasa zadeklarowanych właściwości użytkowych	Wymiar kruszywa	4/16
	Uziarnienie	G _C 85/20
	Tolerancja uziarnienia kruszywa grubego na sitach pośrednich	G _T 17,5
	Kształt kruszywa grubego	FI ₁₅
	• Wskaźnik płaskości	
	Gęstość ziarn [kg/dm ³]:	• 2,62 ± 0,1 • 2,15 ± 0,1 • 2,35 ± 0,1
	• ρ _s	
	• ρ _{sd}	
	• ρ _{sd}	
	Gęstość nasypowa w stanie luźnym	• 2,19 ± 0,1
	Nasiąkliwość	≤ 8,5
	Pyły	f _d
	Zawartość zanieczyszczeń organicznych, obecność humus	Kruszywo nie zawiera znacznej ilości humusu (barwa jaśniejsza od wzorcowej)
	Odporność na rozdrabnianie kruszywa grubego	LA ₄₀
	Odporność na ścieranie kruszywa grubego	MD _E 35
	Składniki grubego kruszywa z recyklingu	• Rc 40 • Rcu 95 • Rb 10- • Ra 1- • XR_E0,5-
	Chlorki rozpuszczalne w kwasie [%]	0,035 ± 0,005
	Siarczany rozpuszczalne w kwasie	AS _{0,8}
	Siarczany rozpuszczalne w wodzie	SS _{0,2}
	Siarka całkowita	S ₁
	Zanieczyszczenia lekkie [%]	< 0,1
	Wpływ na początek czasu wiązania cementu (kruszywa z recyklingu)	A ₁₀
	Mrozoodporność	F ₇ (Deklarowana)
Zastosowana zharmonizowana specyfikacja techniczna	EN 12620:2002+A1: 2008	
Zamierzone zastosowanie wyrobu	Przygotowanie betonu do zastosowania w budynkach, do dróg i innych obiektów budowlanych	

Tabela nr.5. Dane dla kruszywa z recyklingu wg DWU

Dla otrzymanego kruszywa 4/16 wykonano również analizę sitową, która posłużyła do projektowania składów mieszanek betonowych celem sprawdzenia parametrów jakościowych samego betonu.

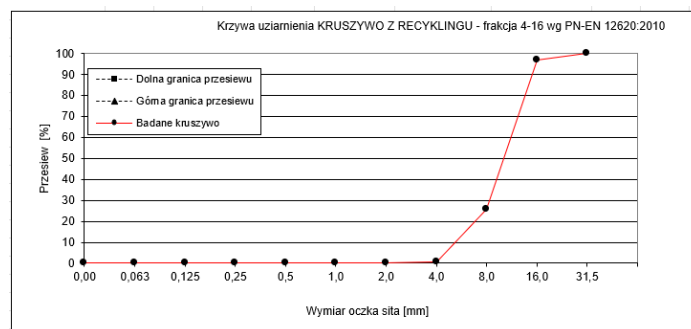


Tabela nr.6. Wykres analizy sitowej kruszywa z recyklingu

5. Wyniki badań betonu z użyciem kruszywa z recyklingu oraz cementami niskoemisyjnymi

5.1. Beton z kruszywem z recyklingu.

Realizując projekt wykorzystania do produkcji betonu kruszyw z recyklingu, przeprowadzono szereg badań porównawczych mieszanek betonowych. Do badań zostało zastosowane kruszywo z recyklingu 4/16 wyprodukowane przez kopalnię Trzuskawica CRH oraz cement niskoemisyjnego z cementowni Ożarów CRH. Głównym celem było sprawdzenie możliwości uzyskania optymalnego składu mieszanki betonowej w myśli idei „ZERO WASTE”.

	Oznaczenie zarobu	Wzorcowy	2 PLInno 2	3 PLInno 2
	Receptura	K20S0CWFOWPTS	C30/37 recykling	C30/37 recykling
Cement	CEM II/A-V 42,5 R-NA (CO)	300	300	300
Dodatki	Popiół lotny	75	75	75
Kruszywa	Kruszywo 1 Piasek 0/2	715	715	715
	Kruszywo 2 Grys wapienny 2/8	400	280	280
	Kruszywo 3 Grys wapienny 8/16	670	470	470
	Kruszywo z recyklingu 4/16		320	320
Domieszki	Domieszka 1 Plastyfikator	1,50	1,50	2,10
	Domieszka 2 Superplastyfikator	3,00	3,00	3,60
Woda	Projektowana	166	166	175
Badanie mieszanek	Badanie mieszanek			
Temperatura	Temperatura mieszanek °C			
	po 5 min	26,0	27,5	26,0
	Temperatura otoczenia °C			
	po 5 min	20,0	21,0	21,0
Konsystencja	Opad stożka [mm]			
	po 5 min	180	100	240
	po 30 min	160	70	190
	po 60 min	130	20	140
Zawartość powietrza	Zawartość powietrza [%]			
	po 5 min	2,2	3,0	2,8
	Uwagi		Zamieniono kruszywo gube 30% kruszywa z recyklingu	Celem poprawy reologii mieszanki betonowej zwiększono ilość domieszek i wody
	Wytrzymałość na ściskanie	Wytrzymałość Średnia	Wytrzymałość Średnia	Wytrzymałość Średnia
	7d	33,5	25,96	22,7
	28d	46,3	45,1	44,5
		47,1	46,2	43,1
		46,7	45,7	43,8

Wnioski z przeprowadzonych badań mieszanki betonowej i samego stwardniałego betonu, kluczowym jest źródło pochodzenia samego kruszywa i procentowy udział materiałów odpadowych w nim zawartych. O ile możemy wprowadzać modyfikację mieszanki przez zastosowanie domieszek poprawiających reologię mieszanki to najtrudniejszym jest spełnienie nie tylko podstawowego parametru betonu tj. wytrzymałości na ściskanie ale głównie zapewnić parametry trwałościowe betonu w konstrukcji.

5.2. Beton z cementami niskoemisyjnymi

Kierując się dobrem środowiska naturalnego i zmianami prawnymi o redukcji CO2 Bosta-Beton CRH wspólnie z Cementownią Ożarów CRH przeprowadziły wspólne badania laboratoryjne, których celem było sprawdzenie podstawowych parametrów betonu z użyciem cementów o niskim śladzie węglowym CEM II A-V 42,5 R, CEM II B-V 42,5R jak i CEM IV.

Nr Zarobu Lab.	1		2		3		4		5	
CEM I 42,5R [kg]	-		-		-		-		145	
CEM II/B-V 42,5R [kg]	-		290		-		-		-	
CEM II/A-V 42,5R [kg]	290		-		-		-		-	
CEM IV/A(V) 32,5R	-		-		290		340		145	
Woda Projekt [kg]	175		175		175		175		175	
Woda Dozowana [kg]	175		175		175		175		175	
Popiół Lotny [kg]	90		90		90		40		90	
Ilość Spoiwa [kg]	380		380		380		380		380	
Domieszka Plastyfikator [kg]/% m.c.	2,90	1,00%	2,90	1,00%	2,90	1,00%	2,90	0,85%	2,90	1,00%
0-2 Piasek [kg]	641		639		638		644		642	
2-8 Grys [kg]	418		417		417		420		419	
8-16 Grys [kg]	721		719		718		725		722	
Ilość Kruszywa [kg]	1780,0		1775,0		1773,0		1789,0		1783,0	
Mieszanka [g]	13046		13024		12955		13108		13024	
Ciężar Objętościowy mieszanki (badany) [kg/m3]	2372		2368		2355		2383		2368	
Zawartość Powietrza (badana) [%] 10'	1,2		1,1		1,1		0,9		1,0	
Konsystencja [mm] 10'	170		190		165		185		160	
Konsystencja [mm] 30'	140		-		140		-		-	
W/C Całkowite	0,60		0,60		0,60		0,51		0,60	
W/S Całkowite	0,46		0,46		0,46		0,46		0,46	
Zarób laboratorium	13 ltr		13 ltr		13 ltr		13 ltr		13 ltr	
R2 [MPa]	19,1	18,3	15,6	15,6	13,4	13,1	16,4	16,7	17,0	16,6
Średnia	18,7		15,6		13,3		16,6		16,8	
% wytrzymałości 28 dniowej	41,4%		37,8%		34,3%		37,3%		37,5%	
R7 [MPa]	35,0	33,3	27,6	28,6	25,9	26,7	30,6	31,1	33,1	31,7
Średnia	34,2		28,1		26,3		30,9		32,4	
% wytrzymałości 28 dniowej	75,6%		68,1%		68,1%		69,6%		72,2%	
R28 [Mpa]	45,0	45,4	40,6	41,9	38,9	38,3	44,3	44,4	44,8	44,9
Średnia	45,2		41,3		38,6		44,4		44,9	
% wytrzymałości 28 dniowej	100,0%		100,0%		100,0%		100,0%		100,0%	
R56 [MPa]	52,5	56,3	47,2	47,6	49,0	47,8	53,6	50,8	51,9	51,2
Średnia	54,4		47,4		48,4		52,2		51,6	
% wytrzymałości 28 dniowej	120,4%		114,9%		125,4%		117,7%		114,9%	
R2/R28	0,41		0,38		0,34		0,37		0,37	

Wnioski z przeprowadzonych badań przy zastosowaniu cementów niskoemisyjnych. Spełnienie założonej klasy C30/37 dla wszystkich kombinacji nie było najtrudniejszym wyzwaniem. Wszystkie opracowane składy betonu pozwoliły spełnić klasę wytrzymałości na ściskanie ale znaczącym parametrem, który wyróżniał poszczególne rozwiązania to dynamika narastania wytrzymałości. Projektując betony z cementami niskoemisyjnymi musimy mieć świadomość, że redukując CO2 przy produkcji cementów z dodatkami CEM II czy CEM IV wpływa na wydłużenie procesu narastania wytrzymałości wczesnej. Stwarza to konieczność oceny klasy wytrzymałości na ściskanie przez zastosowanie tzw. czasu równoważnego tj. np. ocena po 56 dniach dojrzewania. Wolniejszą dynamikę narastania wytrzymałości na ściskanie należy uwzględnić podczas tworzenia konstrukcji w nowo powstających obiektach budowlanych.

6. Podsumowanie prowadzonych prac nad wdrażaniem polityki „zero waste” przy produkcji betonu

Możemy stwierdzić, że jako producenci betonu jesteśmy na progu przemian i nowego podejścia do produkcji w myśl polityki „zero waste”. Należy więcej uwagi poświęcić na segregację odpadów budowlanych u źródeł czyli przy wyburzaniu starych obiektów budowlanych czy sprzątaniu nowo powstających obiektów. Kolejnym krokiem jest tworzenie mechanizmów prawnych zachęcających lub nawet wymuszających stosowanie w budownictwie materiałów z recyklingu w tym betonu recyklingowego. Producenci cementów dostosowując zmieniające się potrzeby rynku wprowadzają nowe rozwiązania cementów wieloskładnikowych co wymusza zmianę technologii wykonywania standardowych dotychczas stosowanych rozwiązań. Producenci betonu mają możliwości i wiedzę, aby stosować kruszywo recyklingowe oraz nowe cementy. Ale producenci betonu muszą mieć możliwości pozyskania odpowiedniej jakości kruszywa z recyklingu przez odpowiednią i świadomą gospodarkę odpadami. Po stronie odbiorcy materiału-betonu konieczne jest stworzenie przestrzeni do świadomego wykorzystania nowego produktu co może być usankcjonowane poprzez nowe dokumenty np. paszporty produktu. Pędzący świat wymusza zmiany również w obszarze technologii i produkcji dobrze znanego od wielu lat materiału jakim jest beton. Wszystkie przemiany i nowe rozwiązania muszą być tak prowadzone aby nie zapominać o środowisku naturalnym.

Literatura

- [1]. PN-EN 12620+A1 „Kruszywa do betonu”
- [2]. PN-EN 206+A2:2021-08 “Beton. Wymagania, właściwości użytkowe produkcja i zgodność”
- [3]. PN-B-06265:2022-08 „Beton. Wymagania, właściwości użytkowe produkcja i zgodność” Krajowe uzupełnienie PN-EN 206+A2:2021-08
- [4]. Z. Kohutek, Beton przyjazny środowisku, Stowarzyszenie Producentów Betonu Towarowego w Polsce, Kraków 2008
- [5]. PN-EN 197-1 „Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”
- [6]. PN-EN 197-2 „Cement – Część 2: Ocena zgodności”