

Karol Rogucki IMBUD

Tomasz Olszewski FRD

Maria Gościński war-REMEDIUM

Piotr Jarszewski war-REMEDIUM

Recykling mieszanki betonowej z wykorzystaniem prasy filtracyjnej

Concrete mix recycling using a filter press

Streszczenie

Słowa kluczowe:

Recykling mieszanki betonowej, woda odzyskana z procesu produkcji betonu, wpływ zawiesiny z recyklingu na RMC i CBGM

Systemy recyklingu mieszanki betonowej są stosowane w Polsce od ponad 25 lat. Służą zazwyczaj do rozdzielania odpadowej mieszanki na wodną zawiesinę pyłów mineralnych i części stałe czyli kruszywo. Do układu recyklingu trafia również woda z mycia gruszek, pomp i innego sprzętu oraz nawierzchni placu wytwórni. Zawiesina zawiera do 20% frakcji pylastej pochodzącej z kruszywa i spoiwa. Zarówno odzyskane kruszywo jak i zawiesina są kierowane z powrotem do produkcji. W dalszym ciągu jednak świeża woda musi być stosowana do produkcji betonu wyższych klas, betonu napowietrzonego, napełniania zbiorników gruszek i pomp oraz mycia sprzętu. Natomiast w przypadku produkcji „suchych” mieszanek zawiesina jest wykorzystywana tylko w niewielkim stopniu a zawarte w niej części mineralne, korzystnie działające na właściwości CBGM nie są w pełni wykorzystane. W referacie przedstawiono działanie systemu WATERWASH filtrującego zawiesinę, zapewniającego odzysk praktycznie (wizualnie) czystej wody oraz półsuchych „brykietów” frakcji pylastych, które mogą znaleźć zastosowanie do produkcji. Przedstawiono wyniki badania wytrzymałości betonu oraz mieszanek CBGM z zastosowaniem odzyskanej wody i oddzielonego osadu.

Abstract

Keywords:

Recycling of concrete mix, water recovered from the concrete production process, impact of recycled suspension on RMC and CBGM.

Concrete mix recycling systems have been used in Poland for over 25 years. They are usually used to separate the waste mix into an aqueous suspension of mineral dust and solid parts, i.e. aggregate. The recycling system also receives water from washing trucks, pumps and other equipment and the surface of the production site. The suspension contains up to 20% of the dust fraction coming from the aggregate and binder. Both the recovered aggregate and the suspension are directed back to production. However, fresh water must still be used for the production of higher-class concret, areated concret, filling the tanks of trucks and pumps and washing equipment. During the production of semi-dry mixes, the suspension is used only to a small extent and the mineral parts contained in it, which have a beneficial effect on CBGM parameters, are not fully utilized. The paper presents the operation of the WATERWASH system filtering suspension, which allows for the recovery of practically pure water and semi-dry "briquettes" of dust fractions that can be used in production. The results of the study of concrete strength and CBGM properties using water and separated sediment are presented.

1. Wstęp

Ocenia się, że do produkcji jednego metra sześciennego betonu zużywa się około 500L wody [1]. Jest to zazwyczaj woda pitna, na której niedobór cierpi, jak się ocenia 4,3 miliarda ludzi na świecie [2]

Normy krajowe i międzynarodowe we wszystkich regionach świata dopuszczają stosowanie różnych rodzajów wody podając jednocześnie szczegółowe wymagania.

Tab. 1. Wymagania normowe dla wody do betonu (wybrane parametry)

Parametr	Australia [3]	Indie [4]	ISO [5]	USA [6]	Brazylia [7]	EU [8]
pH	≥ 5	≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 5	≥ 4
Kolor	-	-	Bładożółty lub jaśniejszy	Bładożółty lub jaśniejszy	-	Bładożółty lub jaśniejszy
Zapach	-	-	Słaby H ₂ S i cementu	-	-	Słaby H ₂ S i cementu

Parametr	Australia [3]	Indie [4]	ISO [5]	USA [6]	Brazylia [7]	EU [8]
Substancje organiczne [mg/L]	-	≤ 200	Po dodaniu NaOH barwa wody powinna być jaśniejsza od roztworu wzorcowego (wg ISO i EN żółtawobrazowa lub jaśniejsza)			
Tłuszcze i oleje	-	-	Co najwyżej ślady	-	Co najwyżej ślady	Co najwyżej ślady
Sucha masa [mg/L]	-	≤ 3000	≤ 4000	≤ 50 000	≤ 50 000	-
Chlorki [mg Cl ⁻ /L]	≤ 800	≤ 500 ¹⁾ ≤ 2000 ²⁾	≤ 500 ⁴⁾ ≤ 1000 ¹⁾ ≤ 4500 ²⁾	≤ 500 ³⁾ ≤ 1000 ¹⁾	≤ 500 ⁴⁾ ≤ 1000 ¹⁾ ≤ 4500 ²⁾	≤ 500 ⁴⁾ ≤ 1000 ¹⁾ ≤ 4500 ²⁾
Azotany [mg NO ₃ ⁻ /L]	-	-	≤ 500	≤ 500	≤ 500	≤ 500
Fosforany [mg P ₂ O ₅ /L]	≤ 100	-	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Cynk [mg Zn ²⁺ /L]	-	-	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Ołów [mg Pb ²⁺ /L]	-	-	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Cukry [mg/L]	≤ 100	-	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 100

1) Beton zbrojony (lub zawierający elementy metalowe)

2) Beton bez wbudowanej stali, bez elementów metalowych, niezbrojony

3) Beton sprężony, płyty mostowe i w przypadku wymagań

4) Beton sprężany i iniekcje kanałów kablowych

2. Opis techniczny

Zespół recyklingu (Fot.1) składa się ze stanowiska do mycia gruszek, pomp, wywrotek i innego sprzętu, skąd rozwodniona mieszanka betonowa jest pompowana do bębna myjki – separatora BETONWASH (Fot.2).

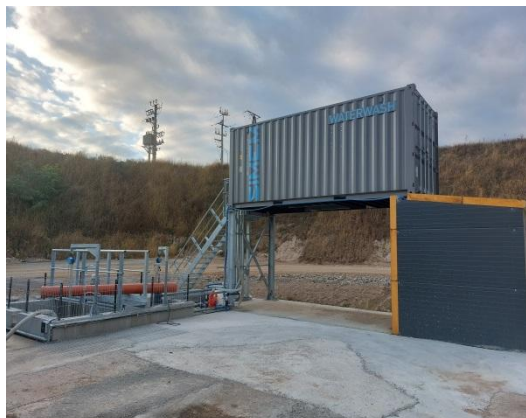


Fot. 1 Zespół recyklingu BETONWASH + WATERWASH



Fot. 2 Stanowisko mycia sprzętu, separator BETONWASH i zbiornik zawiesziny

Odzyskane kruszywo w postaci frakcji 0/16 (0,15/16) jest kierowane na składowisko a zawiesina spływa do zbiornika magazynującego o pojemności 25 m³ wyposażonego w cyklicznie działające mieszadło. Z tego zbiornika zawiesina trafia do prasy filtracyjnej WATERWASH (Fot.3 i 4)



Fot. 3 Kontener WATERWASH



Fot. 4 Prasa filtracyjna

Składniki stałe w postaci „ciasteczek, brykietów” wypadają grawitacyjnie na płytę betonową skąd okresowo są przewożone ładowarką na składowisko kruszyw a „czysta” woda odpływa do zbiornika. Szczegółowy opis, dane techniczne i dalsze opcjonalne wyposażenie jak np. system korekcji pH wody podano w materiałach informacyjnych SIMEM [14]

3. Badania

Większość nowoczesnych betoniarni w Polsce jest wyposażona w system recyklingu mieszanki. Odzyskana zawiesina może być wykorzystywana w produkcji mieszanek betonowych. Pojawia się tutaj podstawowy problem: mieszanki o dużej zawartości wody, w znacznej części betony konstrukcyjne o wysokich wymaganiach w zakresie utrzymania konsystencji w czasie, zawartości powietrza w mieszance, trwałości i wytrzymałości uzyskanego po stwardnieniu betonu są bardzo wrażliwe na wzrost zawartości drobnych frakcji. Problemy z utrzymaniem konsystencji w czasie, urabialnością, stabilnością napowietrzenia zgłasza wielu autorów [9],[10] oraz praktyków na węzłach betoniarskich. Z kolei w przypadku produkcji „suchych” mieszanek – CBGM, z racji małej ilości dodawanej wody, zawiesina jest wykorzystywana w bardzo ograniczonym zakresie. Mieszanki te, szczególnie w przypadku kruszyw płukanych wykazują zazwyczaj niedobór frakcji drobnych stąd stosowanie w nich odsączonych z wody „brykietów” może być bardzo korzystne.

W związku z tym w firmie IMBUD Suwałki uznano za opłacalne wyposażenie węzła w pełny zespół recyklingu BETONWASH i WATERWASH.

3.1 Badania mieszanki betonowej.

Badania wykonano w laboratorium z wykorzystaniem „czystej” odfiltrowanej wody z prasy filtracyjnej WATERWASH. Odfiltrowana woda jest bezbarwna, nie wykazuje zmętnienia, po wstrząśnięciu w zamkniętym pojemniku pojawia się piana, która zanika po kilkunastu sekundach. Parametry tej wody w porównaniu w wodą pitną wg WHO oraz z wymaganiami normy podano w tabeli 2. Kilka próbek wody pobranych podczas pracy urządzenia wykazało zawartość substancji rozpuszczonych w zakresie $0,80 \div 1,35\%$ i pH $12,3 \div 12,9$. Badania chemiczne jednej próbki wykonano w laboratorium GBA Polska. W dalszym tekście wodę tę określa się jako „woda z recyklingu”

Tab. 2. Wymagania dla wody i wyniki badania wody z recyklingu mieszanki betonowej

Parametr	WHO [12]	PN-EN 1008 [8]	WATERWASH
pH	6,5 ÷ 8,5	≥ 4	12,8
Substancje rozpuszczone [mg/L]	500 ÷ 1500	-	9 200
Chlorki [mg Cl ⁻ /L]	200 ÷ 600	≤ 1000*	350
Azotany [mg NO ₃ ⁻ /L]	≤ 10**	≤ 500	39
Fosforany [mg P ₂ O ₅ /L]	≤ 0,4	≤ 100	0,098
Cynk [mg Zn ²⁺ /L]	≤ 3	≤ 100	0,014
Ołów [mg Pb ²⁺ /L]	≤ 0,01	≤ 100	< 0,0006
Cukry [mg/L]	-	≤ 100	

Parametr	WHO [12]	PN-EN 1008 [8]	WATERWASH
Alkalia [mg/L] ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{ K}_2\text{O}$)	$\text{Na} \leq 200 \text{ mg/L}$	$\leq 1500^{***}$	560 w tym Na^+ 150
Węglany [ppm]	30 ÷ 400	-	
Siarczany [mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$]	-	≤ 2000	150

* patrz Tab. 1

** wg [17] zawartość azotanów nie powinna przekraczać 50 mg/L

*** w przypadku przekroczenia tej zawartości woda może być stosowana jedynie wtedy, gdy będzie można wykazać, że zostały podjęte działania zapobiegające szkodliwej reakcji krzemionki z alkaliom.

Wykonano badanie porównawcze zastępując demineralizowaną wodę wodociągową wodą z recyklingu. Do badania zastosowano cement CEM V/A(S-V) 42,5N-LH/HSR/NA, popiół lotny krzemionkowy kategorii A, piasek kopalniany 0/2, żwir 2/16 i domieszkę – upłynniacz polimerowy. Zastosowana domieszka jest w pełni kompatybilna z cementami o dużej ilości składników nieklinkierowych. W odróżnieniu od większości plastyfikatorów i upłynniaczy spotykanych na rynku zapewnia stabilność konsystencji mieszanek betonowych opartych na CEM V, cementach zawierających popioły wapienne (W), CEM II/C itp.

Skład mieszanek betonowych podano w tabeli 3

Tab. 3. Skład mieszanek betonowych 1÷4 [kg/m³]

Składnik	1	2	3	4
CEM V/A (S-V) 42,5N-LH/HSR/NA	300	300	300	300
Popiół lotny	50	50	50	50
Piasek 0/2	800	800	750	750
Kruszywo grube 2/16	1000	1000	1050	1050
upłynniacz	3,0	3,0	3,0	3,0
Woda dejonizowana	175		170	
Woda z recyklingu WATERWASH		175		170

3.2 Badania mieszanki związanej hydraulicznie (CBGM)

Badania wykonano w laboratorium z wykorzystaniem „brykietów” z prasy filtracyjnej. Wykonano badanie porównawcze mieszanek CBGM, w których pewne ilości spoiwa i kruszywa zastąpiono ww. brykietami czyli częściowo odwodnionym szlamem z recyklingu mieszanki betonowej. W dalszej części pracy opisany odpad jest określany terminem „szlam”

Zawartość wody i uziarnienie szlamu podano w tabeli 4 a skład mieszanek w tabeli 5.

Tab. 4. Skład częściowo odwodnionego szlamu z recyklingu mieszanki betonowej

Substancja stała [%]			Woda [%]
$\geq 0,125$ mm	$0,063 \div 0,125$ mm	$< 0,063$ mm	
2,1	8,6	48,3	41,0

Tab. 5. Skład mieszanek A÷ C CBGM [kg/m³]

Składnik	A	B	C
CEM II/B-V 42,5	150	150	130
Piasek 0/2	1870	1850	1870
plastyfikator	1,4	1,4	1,4
Woda dejonizowana	198	185	182
Szlam		50	50

Zastosowanie domieszki chemicznej w badanych mieszankach miało na celu poprawę urabialności. Zastosowany plastyfikator jest domieszką tradycyjną na bazie filtrowanego i częściowo odcukrzzonego lignosulfonianu. Mieszanki zagęszczano w formach cylindrycznych Ø100 x 120 wg PN-EN 13286-50 [18] i badano wg PN-EN 13286-41 [19] Z każdej mieszanki pobrano po 6 próbek na dwa terminy badań.

4. Wyniki

4.1 Beton

Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 6. Wartość wytrzymałości podano jako średnią z trzech badanych próbek.

Tab. 6. Właściwości mieszanki i stwardniałego betonu

Mieszanka		1	2	3	4
Konsystencja – opad stożka [mm]	5 min.	185	195	210	205
	60 min.	155	155	170	170
	90 min.	120	120	165	160
Zawartość powietrza po 60 min [%]		3,0	2,7	2,9	2,5
Beton					
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	2 dni	14,8	14,2	13,3	13,5
	7 dni	24,6	25,1	25,0	24,8
	28 dni	41,2	42,0	40,3	40,5
	56 dni	45,1	46,2		
Gęstość [kg/m ³] (wartość średnia ze wszystkich próbek)		2325	2340	2330	2335

Zastosowanie wody z recyklingu nie spowodowało istotnych zmian właściwości mieszanki i stwardniałego betonu. Śladowa ilość substancji powierzchniowoczynnych (po wstrząśnięciu nieznaczna piana zanikająca po kilkunastu sekundach) nie ma wpływu na konsystencję ani na zawartość powietrza w mieszance.

4.2 Mieszanka związana hydraulicznie

Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 7. Wartość wytrzymałości podano jako średnią z trzech badanych próbek.

Tab. 7. Właściwości mieszanki CBGM

Mieszanka		A	B	C
Gęstość [kg/m ³] (wartość średnia ze wszystkich próbek)		2100	2130	2140
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	7 dni	3,7	2,8	2,1
	28 dni	5,1	4,8	3,9

Mieszanka ze zmniejszoną o 20 kg/m³ ilością cementu czyli o 13% wykazała spadek wytrzymałości po 28 dniach o 1,2 MPa czyli o 23%. Spadek wytrzymałości na skutek ubytku cementu nie jest rekompensowany dodatkiem szlamu.

5. Wnioski

- Woda z recyklingu WATERWASH spełnia wymagania PN-EN 1008 [8]
- Nie stwierdzono oczekiwanego wpływu na konsystencję i wczesną wytrzymałość betonu. Na podstawie wcześniejszych własnych doświadczeń i danych literaturowych [9], [10], [15], [16] spodziewano się wystąpienia istotnych różnic po wprowadzeniu wody z recyklingu.
- Mieszanka betonowa i stwardniały beton wyprodukowany z zastosowaniem tej wody mają właściwości podobne do uzyskanych w przypadku stosowania czystej, demineralizowanej wody wodociągowej.
- Woda recyklingu WATERWASH nadaje się do wszystkich zastosowań przemysłowych występujących na węźle betoniarskim jak mycie sprzętu, pobieranie wody do zbiorników gruszek, cystern do pielęgnacji podbudów i nawierzchni itp.
- Istnieje możliwość zastosowania tej wody do innych celów przemysłowych i rolniczych.
- Jednorazowe badanie mieszanki związanej hydraulicznie CBGM wskazuje na możliwość pewnego obniżenia wytrzymałości w przypadku zastosowania szlamu. Z uwagi na wstępny charakter badania wymaga to wyjaśnienia w dalszych próbach, tym bardziej, że najważniejszym parametrem użytkowym jest nie wytrzymałość na ściskanie a moduł sprężystości [16]
- System recyklingu w IMBUD nie zapewnia jeszcze możliwości kontrolowanego dozowania odsączonej frakcji drobnej (szlamu) do mieszarki węzła. Uzyskane „brykiety” powinny zostać przekruszone do frakcji 0-4 a uzyskany granulat może być dozowany przez osobny zasiek jako składnik częściowo zastępujący piasek w mieszankach związanych hydraulicznie (CBGM).

6. Plan dalszych badań

Badania wykonano w fazie rozruchu instalacji na jednej próbce szlamu i jednej wody. Po rozpoczęciu ciągłej pracy instalacji przewiduje się przy okazji kontroli produkcji zebranie dużej ilości wyników dla statystycznej oceny jakości betonu z udziałem wody z recyklingu.

Po opracowaniu sposobu dozowania zagęszczonego szlamu przewiduje się produkcję i badania mieszanek związanych hydraulicznie wraz z badaniem próbek w rozszerzonym zakresie (wytrzymałość, mrozoodporność, szczelność, moduł sprężystości)

7. Literatura

[1] Maddikeari, M.; Das, B.B.; Tangadagi, R.B.; Roy, S.; Nagaraj, P.B.; Ramachandra, M.L.

A Comprehensive Review on the Use of Wastewater in the Manufacturing of Concrete: Fostering Sustainability through Recycling. Recycling 2024, 9, 45. MDPI Bazylea Szwajcaria <https://doi.org/10.3390/recycling9030045>

[2] Mekonnen, M.M.; Hoekstra, A.Y. *Sustainability: Four billion people facing severe water scarcity*. Sci. Adv. 2016, 2, e1500323.

<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1500323>

[3] AS 1379-2007; *Specification and Supply of Concrete*. Standards Australia: Sydney, Australia

[4] 36. IS 456; *Plain and Reinforced Concrete - Code of Practice*. Bureau of Indian Standards: New Dehli, India, 2000; pp. 1–114.

[5] ISO 12439:2025; *Mixing Water for Concrete*. International Organization for Standardization (ISO): Geneva, Switzerland, 2025

[6] ASTM C1602/C1602M-18; *Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete*. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2018.

[7] ABNT NBR 15900-1; *Água para Amassamento do Concreto: Parte 1—Requisitos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): Rio de Janeiro, Brazil; São Paulo, Brazil, 2009

https://freitag.com.br/storage/legislation/4/portaria_norma_473.pdf

[8] PN-EN 1008; *Woda zarobowa do betonu. Specyfikacja pobierania próbek, badanie i ocena przydatności wody zarobowej do betonu, w tym wody uzyskanej z procesów produkcji betonu* <https://sklep.pkn.pl/pn-en-1008-2004p.html>

[9] Gałań P. *Woda szlamowa z urządzeń recyklingowych w produkcji betonu – właściwości i możliwości ponownego wykorzystania* XI Konferencja Dni Betonu 2021 str. 993 <https://www.dnibetonu.com/wp-content/pdfs/2021/Galan%20-%20Woda%20szlam.pdf>

[10] Chatveera, B.; Lertwattanakul, P.; Makul, N. *Effect of sludge water from readymixed concrete plant on properties and durability of concrete*. Cem. Concr. Comp. 2006 28, 441–450. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.01.001>

- [11] Agwe, T.M.; Tibenderana, Ph.; Twesigye-Omwe, M.N.; Mbujje, J.W.; Abdulkadir, S.T. *Concrete Production and Curing with Recycled Wastewater: A Review on the Current State of Knowledge and Practice* Advances in Civil Engineering Volume 2022, Article ID 7193994
<https://doi.org/10.1155/2022/7193994>
- [12] Guidelines for drinking-water quality Fourth edition incorporating the first and second addenda World Health Organization 2022
<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/352532/9789240045064-eng.pdf?sequence=1>
- [13] Majer, S; Budziński, B; Lehner, P; *Elastic modulus of Cement Bound Granular Material (CBGM)* 22nd International Conference on Modelling in Mechanics 2024 ELSEVIER B.V. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>)
- [14] Broszury informacyjne SIMEM 2024
https://simem.com/wp-content/uploads/2024/09/SDPWAT_03_RECYCLING_01_EN-DE_web.pdf
<https://simem.com/machine/waterwash/>
- [15] Faleńska, M.; Jarszewski, P. *Recykling mieszanki betonowej*. XLIX Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB Warszawa-Krynica 2003 Tom III str. 147
- [16] Świercz, P.; Wdowik, S.; Skowera, K.; Wrona, J.; Wrzecion, K. *Skuteczność działania domieszek w zależności od jakości wody zarobowej* IX Konferencja Dni Betonu Wisła 2016 [Downloads/Skuteczność działania domieszek w zależności od jakości wody zarobowej.pdf](#)
- [17] Rozporządzenie MZ z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. 2017.2294)
<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20170002294/O/D20172294.pdf>
- [18] PN-EN 13286-50:2007 *Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym*.
Cz. 50: *Metoda sporządzania próbek związanych hydraulicznie za pomocą aparatu Proctora*
- [19] PN-EN 13286-41:2022-04 *Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym*. Cz. 41: *Metoda badania wytrzymałości na ściskanie mieszanek związanych hydraulicznie*.