

Mrozoodporność betonu wałowanego z kruszywem żwirowym

FROST-RESISTANCE OF ROLLER COMPACTED CONCRETE WITH NATURAL
AGGREGATE

Streszczenie

W ostatnim czasie nastąpił znaczący rozwój nawierzchni z betonu cementowego, w tym betonu wykonywanego w technologii wałowanej. Mając na uwadze stale rosnące zapotrzebowanie na wysokiej jakości kruszywo łamane pochodzące w większości z krajowych złóż, słusznym kierunkiem badań staje się poszukiwanie możliwości zastosowania kruszyw lokalnych, w tym żwiru i dolomitu, do konstrukcji nawierzchni drogowej. Ze względu na wymagania normowe stawiane betonowym nawierzchniom drogowym, możliwość zastosowania kruszywa żwirowego oraz dolomitowego ograniczona jest w praktyce do nawierzchni wykonywanej w technologii betonu wałowanego. W referacie skupiono uwagę na najistotniejszym ze względu na warunki eksploatacyjne, ale także trwałość, parametrze jakim jest mrozoodporność betonu. Autorzy zaprezentowali wyniki badań mrozoodporności betonu wałowanego z zastosowanym w składzie kruszywem żwirowym oraz dolomitowym. W referacie rozważono realne możliwości zastosowania żwirów i dolomitu w betonie wałowanym, w świetle obowiązujących norm i wytycznych, a także bezpośrednim wpływem jakości zastosowanego kruszywa na właściwości betonu.

Abstract

Recently there has been noticed a significant development of the cement concrete surface technology, including the roller compacted concrete technology. Having in mind the constantly growing demand for high-quality crushed aggregate produced mainly from domestic deposits, legitimate direction of research is to search for the possibility of the usage of local aggregates, including gravel and dolomite in the road pavement design.

inż. Radosław Gieras – Lafarge – Holcim Polska, Sp z o.o.

dr inż. Grzegorz Adamczewski – Politechnika Warszawska

dr hab. inż. Piotr Woyciechowski, prof. PW – Politechnika Warszawska

Due to the standard requirements for concrete roads, the possibility of using gravel and dolomite aggregate is limited in practice to the surface realized in the roller compacted concrete technology. The paper focuses on the most important, due to the environment conditions and durability, the parameter which is the frost resistance of concrete. Authors presented the results of frost resistance of the roller compacted concrete in which composition the gravel and dolomite aggregate was used. The paper considers the possibilities of the usage of gravel and dolomite in roller compacted concrete, in the light of the applicable standards and guidelines, as well as the direct influence of the quality of aggregate on concrete properties.

1. Wstęp

W ostatnich 20 latach w Polsce możemy zaobserwować znaczący rozwój technologii nawierzchni betonowych. W ten trend wpisują się działania Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, która opracowała Ogólne Specyfikacje Techniczne, uwzględniające nawierzchnie z betonu, w tym także takie, których dotychczas nie obejmował Katalog Nawierzchni Sztucznych – między innymi nawierzchnie z betonu wałowanego. Beton wałowany stanowi w Polsce od niedawna przedmiot intensywnych badań [2, 3, 4, 8] i wdrożeń [5, 6, 7, 9, 11, 12] pomimo iż na świecie, w tym zwłaszcza w USA, jest dość szeroko stosowany od kilku dziesięcioleci [13, 14, 15]

Obecnie projektując i wykonując nawierzchnie z betonu wałowanego możemy opierać się na Ogólnych Specyfikacjach opracowanych przez GDDKiA, zawartych w OST-WB [1]. Zawierają one zakres badań betonu wałowanego, a także określenie na jakich drogach i z jakiej klasy betonu można wykonywać nawierzchnie z betonu wałowanego. Zgodnie z nimi beton wałowany winien mieć klasę, minimum:

- C20/25 – dla nawierzchni nienarażonych na opady atmosferyczne oraz na działanie środków odladzających
- C25/30 – dla nawierzchni dróg o kategorii ruchu KR1 – KR2
- C30/37 – dla nawierzchni dróg serwisowych, dojazdowych, technicznych oraz placów manewrowych przy obciążeniach odpowiadającym kategorii ruchu KR3 – KR4

Tabela 1. Wymagania dla betonu wałowanego wg OST [1]

Lp.	Badanie	Wymagania	Norma badawcza
1	Gęstość	Wartość deklarowana przez producenta	PN-EN 12390-7
2	Wytrzymałość na ściskanie	Zgodność z wyspecyfikowaną klasą wytrzymałości zgodnie z kryteriami oceny zawartymi w normie PN-EN 206	PN-EN 12390-3
3	Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu	Wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu wynosi minimum 2,5 MPa, dla nawierzchni drogi o kategorii ruchu KR1 – KR2	PN-EN 12390-6
4	Odporność na zamrażanie/rozmrzanie z udziałem soli odladzającej	Kategoria mrozoodporności wg PN-EN 13877-2 nie niższa niż FT1 (1)	PN-EN 13877-2

(1) Z badania zamrażania/rozmrzania z udziałem soli zwolnione są betony przeznaczone na drogi polne i leśne, place składowe, podłogi hal fabrycznych, ścieżki rowerowe i inne nie narażone na równoczesne oddziaływanie mrozu i środków zimowego utrzymania dróg

Wymagania materiałowe zawarte w tym dokumencie stanowią, że do betonu wałowanego stosować można kruszywo naturalne, łamane, a także z recyklingu. Polska posiada duże zasoby kruszyw, mających zastosowanie w budownictwie. Niestety z punktu widzenia lokalizacji geograficznej złoża skał w Polsce nie są rozmieszczone korzystnie pod względem ich transportu po całym kraju. Dotyczy to szczególnie kruszyw łamanych dobrej jakości, stanowiących najodpowiedniejszy składnik betonów drogowych, które są pozyskiwane głównie na południu Polski. Prognozy dotyczące zapotrzebowanie na kruszywo stosowane do budowy dróg w latach 2012 – 2020 mówią o ilościach rzędu: 170

mln ton [17]. Transport tak dużych ilości materiału skalnego stanowi ogromne wyzwanie logistyczne. Taki stan rzeczy uzasadnia podejmowanie prób stosowania w betonach drogowych kruszyw lokalnych, w tym dolomitowych i żwirowych.

W przypadku dróg gminnych wykorzystanie kruszyw lokalnych ma szczególnie duży wpływ na koszt inwestycji. Biorąc pod uwagę fakt, że w obecnej chwili ponad połowa dróg gminnych ma wciąż nieutwardzoną nawierzchnię, inwestycje tego rodzaju stanowią wyzwanie, ale także szansę wykorzystania kruszyw lokalnych.

W przypadku betonu wałowanego użycie kruszyw lokalnych żwirowych i dolomitowych jest szczególnie zasadne z uwagi na niskie kategorie ruchu takich dróg, jak i pozytywne doświadczenia przytaczane w literaturze [10, 16] dotyczące mrozoodporności betonu wałowanego z kruszyw żwirowych.

Celem badań przedstawionych w niniejszym artykule było sprawdzenia przydatności wybranych kruszyw żwirowych i dolomitowych do betonu wałowanego z uwagi na wymaganą wytrzymałość i mrozoodporność.

2. Materiały, zakres i metody badań

Przedmiotem badań było pięć rodzajów kruszywa o kategorii uziarnienia G_c 85/20:

- żwir (I) płukany – kopalnia kruszyw naturalnych (woj. podlaskie),
- żwir (II) niepłukany – kopalnia kruszyw naturalnych (woj. małopolskie),
- dolomit (I) granulowany i płukany – woj. małopolskie,
- dolomit (II) łamany i odpylany na sucho – woj. świętokrzyskie
- granodioryt – wschodnia Ukraina,

przy czym granodioryt użyto jako wariant porównawczy, ze względu na sprawdzoną wcześniej przydatność do trwałego betonu wałowanego.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań wstępnych (tabela 2) stwierdzono, że jakość kruszyw z przebadanych złóż jest dobra. Bardzo korzystne wartości przebadanych właściwości wykazało – zgodnie z oczekiwaniami – kruszywo granodiorytowe, wysoko oceniony został też dolomit z kopalni z małopolski (dolomit I), który produkowany jest na wyższym poziomie technicznym (kubiczne ziarna, minimalne zapylenie). Nieco słabiej wypadły kruszywa żwirowe oraz dolomit II, z kopalni w woj. świętokrzyskiego.

Tabela 2. Właściwości kruszyw zestawienie wyników i wymagań (dla kat. KR1-KR4)

Właściwości	Wymagania wg PN-EN 206	Dolomit I	Dolomit II	Żwir I	Żwir II	Granodioryt
Ścieralność LA%	≤35	25	30	30	35	25
Nasiąkliwość WA_{24} [%]:	≤2	1	2	2	2	1
Mrozoodporność F [%]	≤4	1	2	2	2	1
Uziarnienie G_c	85/20	85/20	85/20	85/20	85/20	90/15

Badania 5 składów betonu (tabela 3) wykonano na próbkach walcowych 150/150 mm, wyciętych z wykonanych doświadczalnych odcinków nawierzchni wałowanej. Składy mieszanek zaprojektowano tak, aby charakteryzowały się dobrymi właściwościami pod kątem zastosowania technologii zagęszczania przez wałowanie. Mieszanki były podatne

na zagęszczanie, jednocześnie na tyle związłe, że pod wpływem walca nie rozjeżdżały się na boki i utrzymywały walec na powierzchni.

Tabela 3. Składy mieszanek betonowych, kg/m³

Oznaczenie mieszanki	CEM II/A-S 42,5 R [kg]	Piasek 0/2 lokalny [kg]	2/8 [kg]	8/16 [kg]	Woda [dm ³]	w/c
MB dolomit I	300	894	464	625	120,0	0,400
MB dolomit II	280	706	1353		115,0	0,411
MB żwir I	300	805	557	597	135,0	0,450
MB żwir II	270	688	511	765	108,0	0,400
MB Granodioryt	280	701	1344		108,0	0,386

Zakres badawczy stwardniałego betonu obejmował badania wykonywane po 28 dniach dojrzewania:

- wytrzymałości na ściskanie według PN-EN 12390-2,
- badania mrozoodporności metodą bezpośrednią wg PN-88/B-06250,
- odporności na zamrażanie i rozmrażanie z udziałem soli według PN-EN 13877-2,
- wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu według PN-EN 12390-5 po 28 dniach dojrzewania.

3. Wyniki badań

Wyniki badań wytrzymałości betonu na ściskanie po 28 dniach dojrzewania zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wytrzymałość na ściskanie odwiertów betonu wałowanego z próbnymi odcinków nawierzchni

Oznaczenie mieszanki	Średnia wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach dojrzewania [MPa]
MB dolomit I	32,4
MB dolomit II	31,9
MB żwir I	24,7
MB żwir II	29,0
MB Granodioryt	36,7

Analiza wyników uzyskanych dla poszczególnych próbek (biorąc pod uwagę współczynnik 0,85 dla odwiertów) wskazuje, że w wariantach z kruszywem żwirowym uzyskano klasę wytrzymałości na ściskanie C25/30, a więc wystarczającą w przypadku nawierzchni dróg o kategorii ruchu KR1 – KR2, natomiast w przypadku dolomitu nawet klasę C 30/37 – tzn. wystarczającą także w przypadku dróg o kategorii ruchu KR3 – KR4.

Badanie mrozoodporności prowadzono zarówno w odniesieniu do stopnia mrozoodporności F150, jak i w odniesieniu do klas mrozoodporności FT według PN-EN 13877-2.

Ubytek masy po 150 cyklach mrożenia metodą zwykłą wg PN B 06250 są we wszystkich przypadkach bardzo małe, ale towarzyszą im zróżnicowane ubytki wytrzymałości (tabela 5). Najlepsze wyniki – porównywalne z betonem na granodiorycie – uzyskano w przypadku betonu z dolomitem z regionu małopolskiego (dolomit I). W pozostałych przypadkach spadek wytrzymałości jest bliski dopuszczalnemu, a dla betonu ze żwirem II (podlaskie) – nawet przekracza wartość dopuszczalną.

Tabela 5. Spadek wytrzymałości na ściskanie i ubytek masy po badaniu stopnia mrozoodporności F150 wg PN-88-B-06250 w odniesieniu do betonów wałowanych z różnymi kruszywami

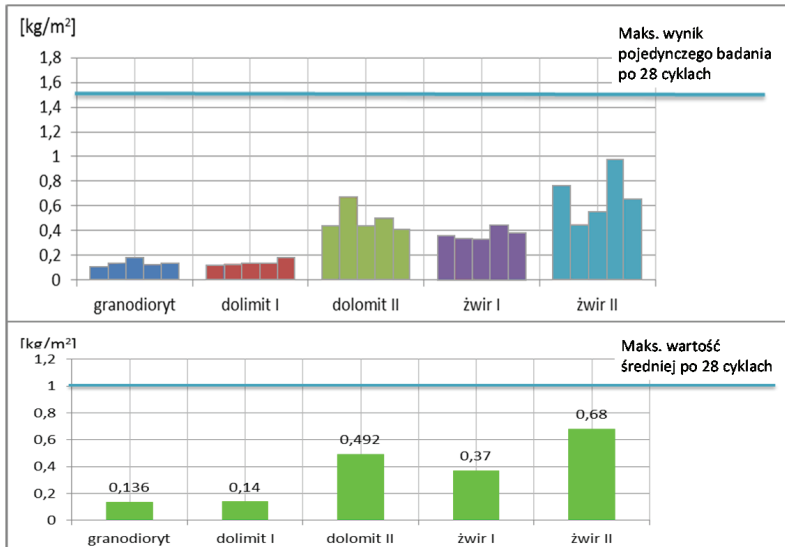
Odporność betonu na działanie mrozu wg PN-88-B-06250 - F150					
Kruszywo	granodioryt	dolomit I	dolomit II	żwir I	żwir II
Spadek wytrzymałości na ściskanie, %	5,8	8,7	16,6	16,3	23,2
Ubytek masy, %	0,0	0,4	2,5	1,0	1,8

O przewadze kruszywa dolomitowego I nad pozostałymi wariantami świadczą także wyniki badania odporności betonów na łuszczenie mrozowe w soli wg PKN-CEN/TS 12390-9 (tabela 6). Beton wałowany z dolomitem I wykazał odporność równie dobrą jak beton z granodiorycem.

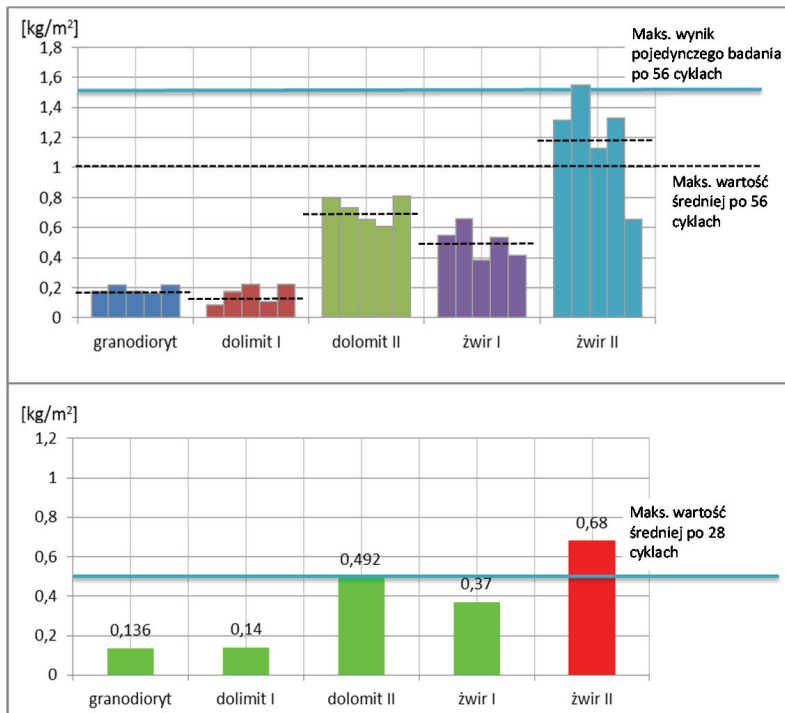
Tabela 6. Wyniki badania mrozoodporności w soli metodą „slab test” wg PKN-CEN/TS 12390-9 w odniesieniu do betonów wałowanych z różnymi kruszywami

Mrozoodporność w obecności środków odladzających wg PKN-CEN/TS 12390-9					
Kruszywo	granodioryt	dolomit I	dolomit II	żwir I	żwir II
masa materiału złuszczonego po 28 cyklach [kg/m ²]	0,14	0,14	0,49	0,37	0,68
masa materiału złuszczonego po 56 cyklach [kg/m ²]	0,19	0,16	0,72	0,51	1,20

Równie optymistyczne wnioski co do przydatności dolomitu do betonu wałowanego wynikają z porównania rezultatów badań z wymaganiami klas mrozoodporności FT1 i FT2. Wszystkie badane betony spełniły wymagania kategorii mrozoodporności FT1 (rys. 1), a więc spełniają wymagania OST dla betonu wałowanego. Betony z dolomitami, jak i beton ze żwirem I – spełniły te wymagania z zapasem. Natomiast beton ze żwirem II wykazał dość wysoki (aczkolwiek dopuszczalny) poziom złuszczenia po 56 cyklach. Warto zauważyć, że – za wyjątkiem betonu ze żwirem II (małopolskie) – pozostałe warianty spełniły wymagania także w zakresie kategorii FT2 (rys. 2), co świadczy o bardzo dobrej mrozoodporności badanych betonów.



Rys. 1. Ocena spełniania wymagań wynikających z kategorii mrozoodporności FT1 wg PN EN 13877-2 w odniesieniu do betonów wałowanych na różnych rodzajach kruszywa



Rys. 2. Ocena spełniania wymagań wynikających z kategorii mrozoodporności FT2 wg PN EN 13877-2 w odniesieniu do betonów wałowanych na różnych rodzajach kruszywa

Trzecią z kluczowych cech betonu wałowanego jest wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu (tabela 7), przy czym wszystkie zbadane betony charakteryzowały się wysoką wartością tej cechy (od 3,9 do 4,4 MPa), tylko nieznacznie niższą niż porównawczy beton z granodorytem (4,9 MPa) i znacznie przekraczającą wymaganą wg OST wartość minimalną wynoszącą 2,5 MPa.

Tabela 7. Wyniki badania wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu w odniesieniu do betonów wałowanych z różnymi kruszywami

oznaczenie mieszanki	Wyniki oznaczenia wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu po 28 dniach dojrzewania wg PN-EN 12390-6 [MPa]
MB dolomit I	4,9
MB dolomit II	4,4
MB żwir I	4,3
MB żwir II	3,9
MB Granodoryt	4,4

4. Wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- Wyniki badań kruszyw i betonu wałowanego potwierdzają znaczący wpływ kruszywa na mrozoodporność betonu; niska mrozoodporność kruszywa „żwirowego II” znalazła swoje odbicie w najniższych wynikach mrozoodporności betonu z tym kruszywem. Zbliżone cechy fizyczne granodorytu i dolomitu „I”, pozwoliły zaobserwować podobieństwo we właściwościach betonów zawierających w składzie dane kruszywa.
- Stosowane w badaniach kruszywa pozwoliły uzyskać betony wałowane spełniające formalne wymagania OST w zakresie mrozoodporności. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że wymagania dla kategorii FT2 nie zostały spełnione przez żwir II; beton z kruszywem żwirowym II, spełnił jedynie najniższe wymaganie mrozoodporności FT1, które jednakże pozwala zastosować go do budowy nawierzchni betonowej na najniższych kategoriach ruchu.
- Najśłabsze parametry uzyskało kruszywo żwirowe II, które w przeciwieństwie do żwiru I, po wydobyciu nie jest dodatkowo płukane, co przekłada się na najśłabsze parametry betonu wałowanego z tym kruszywem.
- W przypadku dolomitu na słabsze parametry wpływa, poza geologią skały, także proces kruszenia, w wyniku którego, w zależności od zaawansowania zespołów kruszących i sposobu odpylania (płukanie lub na sucho), uzyskuje się ziarno o lepszej kubiczności oraz mniejszym zapyleniu. Wskazuje to, że kruszywo przeznaczone do betonu nawierzchniowego o podwyższonych wymaganiach powinno być poddane dodatkowym procesom obróbki.
- Z punktu widzenia optymalizacji kosztów, jak i trwałości nawierzchni betonowych, stosowanie odpowiednio dobranych kruszyw lokalnych, w tym żwirów i dolomitów wpisuje się w kierunki zrównoważonego rozwoju w budownictwie drogowym.

Literatura

- [1] OST GDDKiA, Rozdział III Prace Konstrukcyjne, Dział 06 Nawierzchnie betonowe 06.02: Nawierzchnia z betonu wałowanego, 2013
- [2] Woyciechowski P., Beton wałowany, Polskie Drogi 7/2015
- [3] Jackiewicz-Rek W., Woyciechowski P. Aspekty materiałowe betonu cementowego do nawierzchni drogowych, Konf. Tech. Nowe technologie w budowie dróg z nawierzchnią z betonu cementowego, IDiM PW+IKKU+GDDKiA, Warszawa 30.09.2015
- [4] Harat K., Woyciechowski P., Metody projektowania i ocena przydatności betonu wałowanego do budowy dróg w Polsce, Dni Betonu 2012, 47–59
- [5] Woyciechowski P., Harat K. Nawierzchnia drogowa z betonu wałowanego, Budownictwo. Technologie. Architektura 1(57) 2012, 36–40
- [6] Woyciechowski P., Harat K., Beton wałowany jako nawierzchnia dróg lokalnych, Materiały Budowlane 9/2011, 67–69
- [7] Harat K., Woyciechowski P.: Metody projektowania i ocena przydatności betonu wałowanego do budowy dróg w Polsce, Dni Betonu 2012, s. 47–60
- [8] Kołacz Z., Górak P., Szabat L.: Drogowy beton wałowany jako alternatywa dla klasycznych betonów nawierzchniowych, Dni Betonu 2014, s. 87–102
- [9] Kisielewski K., Walkowiak R.: Zastosowanie alternatywnej metody projektowania składu betonu wałowanego na przykładzie realizacji drogi gminnej Wrzeście- Kępno w gminie Słupsk, Dni Betonu 2014, s. 75–86
- [10] Harat K.: Budowa nawierzchni betonowych na istniejących drogach gruntowych dla ruchu lekkiego i bardzo lekkiego, Dni Betonu 2014, s. 51–62
- [11] Senderski M.: Beton wałowany - idea i zastosowanie, Inżynier Budownictwa 2015-04-29
- [12] Bocheńczyk D., Beton wałowany, Lafarge Cement S.A. 2015
- [13] Report on roller compacted concrete pavements, Praca zbiorowa pod kierunkiem Shiraz D. Tayabji, ACI 1995
- [14] Roller compacted concrete pavements design and construction, US Army Corpse of Engineers, Washington 1995
- [15] Luhr D.: RCC Application for pavements, Portland Cement Association 2005
- [16] Service d'Expertise en Matériaux Inc.: Frost Durability of Roller-Compacted Concrete Pavements, Research & Development Bulletin 2006
- [17] Kabziński A.: Prognoza zapotrzebowania i produkcji kruszyw w Polsce w latach 2012–2020, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, Listopad-Grudzień 2012