

Wpływ komponentów na parametry betonów chudych w podbudowach drogowych

tekst: mgr inż. KRZYSZTOF PYTEL, mgr inż. PAWEŁ TRYBALSKI, Grupa Ożarów SA

Projekty obejmujące rozbudowę infrastruktury drogowej pokazują, iż coraz większą wagę przywiązuje się do jakości i kosztów wytwarzania podbudowy. Stanowi ona bardzo istotny element nośny oraz pełni ważną funkcję w zapewnieniu trwałości konstrukcji nawierzchni dróg.

Powszechnie znane i budowane w Polsce warstwy drogowe z kruszyw związanych spoiwem hydraulicznym przeznaczonym na warstwy podbudowy są opisane przez pięć norm z grupy PN-EN 14227. Na podstawie norm PN-S do wykonywania podbudów drogowych stosuje się głównie mieszanki kruszyw lub gruntów z dodatkiem cementów, zazwyczaj CEM II/B-V 32,5R. Według nowych wymagań zawartych w grupie norm PN-EN 14227 jako spoiwo hydrauliczne oprócz popularnego cementu dopuszcza się również stosowanie popiołów lotnych, żużli czy spoiw drogowych. W artykule porównano betony chude z udziałem cementu CEM II/B-V 32,5R-HSR, ze spoiwem drogowym REYMIX-Stabilizacja HSD 22,5E.

1. Wymagania stawiane podbudowom drogowym

Normy grupy PN-EN 14227:1-5 wprowadzają nowe podejście, obejmujące wymagania dotyczące właściwości kruszyw opartych na klasyfikacji według PN-EN 13242 [1] i alternatywną klasyfikację wytrzymałości (klasyfikację mieszanek związanych spoiwami drogowymi przedstawia tabela 1). Cytowane normy wprowadzają nowe metody formowania i pielęgnacji pobranych prób, bardzo elastycznie podchodzą do wymagań stawianych mieszankom, jeżeli zostaną one wprowadzone do dokumentacji technicznej budowy. Wymagają przygotowania odpowiednich dokumentów technicznych, aplikujących ich postanowienia do przepisów krajowych. Dlatego też kraje członkowskie Unii Europejskiej opracowują

Tab. 1. Klasyfikacja wytrzymałości na ściskanie mieszanek związanych spoiwem

Klasa R_c	Minimalne R_c [MPa] dla cylindra o wskaźniku smukłości 2*	Minimalne R_c [MPa] dla cylindra o wskaźniku smukłości 1*
C0,4/0,5	0,4	0,5
C0,8/1,0	0,8	1,0
C1,5/2	1,5	2
C3/4	3	4
C6/8	6	8
C9/12	9	12
C12/16	12	16
C15/20	15	20
C18/24	18	24
C21/28	21	28
C24/32	24	32
C27/36	27	36
C _{dv}	Wartość deklarowana	Wartość deklarowana

*Jeżeli wykorzystano cylindry o wskaźniku smukłości innym niż 1 lub 2, należy przed użyciem określić ich korelację z cylindrami o wskaźniku smukłości 1 lub 2.

dokumenty aplikacyjne. W Polsce są to „Wytyczne Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad WT-5 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych”. Dotychczas na podstawie norm z grupy PN-S do wykonywania podbudów drogowych stosuje się głównie mieszanki kruszyw naturalnych lub gruntów z dodatkiem cementu (stabilizacje gruntów cementem według PN-S 96012 [2]) oraz chude betony według PN-S 96013 [3]. Podstawowym kryterium projektowania tych mieszanek jest zakres wytrzymałości na ściskanie po siedmiu i 28 dniach. W dokumentach normatywnych [2, 3] cement jest jedynym spoiwem wiążącym, co bardzo ogranicza stosowanie innych materiałów dostępnych na rynku, np. spoiw drogowych. Wychodząc naprzeciw zapotrzebowaniom rynku w normach serii PN-EN 14227 dopuszcza się zastosowanie m.in. hydraulicznego spoiwa drogowego.

2. Materiały i metody

Program badań obejmuje badanie wytrzymałości na ściskanie oraz badanie mrozoodporności mieszanek zawierających dwa rodzaje spoiwa: CEM II/B-V 32,5R-HSR oraz REYMIX-Stabilizacja HSD 22,5E. Charakterystykę spoiw przedstawia tabela 2.

2.1. Cement portlandzki popiołowy CEM II/B-V 32,5R-HSR

Cement portlandzki popiołowy CEM II/B-V 32,5R-HSR powstaje w wyniku zmielenia klinkieru w ilości ok. 70% z dodatkiem popiołu lotnego krzemionkowego w ilości ok. 25% oraz regulatora czasu wiązania w ilości maksymalnie 5%. Charakteryzuje się wydłużonym czasem wiązania, niskim ciepłem hydratacji, niskim skurczem, umiarkowaną dynamiką narastania wytrzymałości wczesnej i bardzo dobrą dynamiką narastania wytrzymałości w długim okresie twardnienia, a także dobrą odpornością na korozję siarczanową.

2.2. Hydrauliczne spoiwo drogowe REYMIX-Stabilizacja HSD 22,5E

Hydrauliczne spoiwo drogowe REYMIX-Stabilizacja HSD 22,5E jest mineralnym spoiwem hydraulicznym powstałym w wyniku wspólnego przemiału klinkieru portlandzkiego, pyłów lotnych oraz materiałów dodatkowych wraz z aktywatorem twardnienia. Przeznaczone jest do zastosowań w budownictwie komunikacyjnym do wykonywania stabilizacji spoiwem hydraulicznym. Jako produkt o wysokiej aktywności hydraulicznej charakteryzuje się dobrym przyrostem wytrzymałości w początkowym okresie twardnienia, niskim skurczem oraz jednorodnością składu.

2.3. Kruszywa

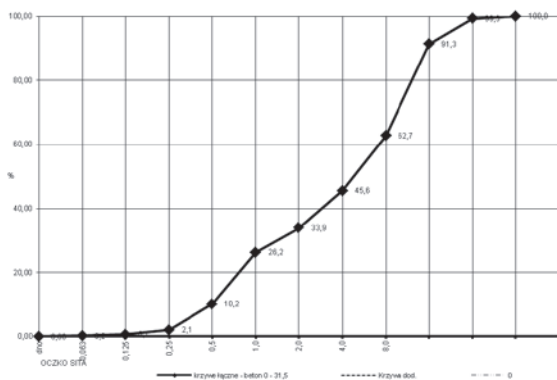
W projekcie badawczym zastosowano kruszywa pochodzące z Zakładu Eksploatacji Kruszywa Radłów we frakcjach:

Tab. 2. Parametry fizykochemiczne omawianych spoiw

Parametr	CEM II B-V 32,5R-HSR, Ożarów	REYMIX-Stabilizacja HSD 22,5 E, Zakład Cemen- townia Rejowiec
Zawartość siarczanów (jako SO ₃) [%]	3,16	3,40
Zawartość chlorków Cl ⁻ [%]	0,045	
Początek czasu wią- zania [min]	213	254
Wytrzymałość na ściskanie [MPa] po 2 dniach	19,0	
po 7 dniach		19,5
po 28 dniach	50,4	33,9
po 90 dniach		41,3
Powierzchnia wła- ściwa [cm ² /g]	4440	5470

- a) kruszywo naturalne żwirowe 0–31,5 [mm],
- b) żwir 2–8 [mm],
- c) żwir 8–16 [mm].

Udział poszczególnych frakcji dobrano na podstawie zaleceń zawartych w normie PN-EN 14227, co obrazuje wykres 1.



Wykres 1. Krzywa uziarnienia dobranej mieszanki okruszowej

2.4. Obliczanie wilgotności optymalnej i gęstości objętościowej

Dodatek spoiwa do mieszanki powoduje zmianę wilgotności optymalnej. Badanie Proctora przeprowadzono zgodnie z normą PN-B-04481:1988 [4], stosując metodę II (duży cylinder, ubijak lekki). Mieszankę przygotowaną w odpowiednich proporcjach odsiano przez sito o wymiarze oczka # 10,0 [mm], podziarno

Tab. 3. Parametry wilgotności optymalnej i gęstości objętościowej

	5 %		7 %		9 %	
	Wopt	qds	Wopt	qds	Wopt	qds
CEM II B-V 32,5R-HSR	6,74	2,29	6,85	2,33	6,88	2,34
REYMIX-Sta- bilizacja HSD 22,5E	5,24	2,28	5,66	2,33	6,31	2,35

posłużyło do określenia parametru wilgotności optymalnej, natomiast stosunek nadziarna do całości mieszanki jako parametr korygujący zastosowano w obliczeniach wilgotności optymalnej i gęstości objętościowej. Wyniki badań wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu mieszanek mineralno-spoiwowych przedstawiono w tabeli 3.

3. Omówienie wyników

Na podstawie wyników z tabeli 3 obliczono składy mieszanek spoiwowo-kruszywowych, które przedstawia tabela 4. Formowanie próbek wykonano w formach cylindrycznych Ø 160 [mm]. Próbkę zagęszczano dynamicznie przy wilgotności optymalnej mieszanki. Dla każdej mieszanki kruszywa ze spoiwem wykonano po dziewięć próbek (do określenia wytrzymałości siedmio-, 28- i 42-dniowej). W celu porównania stwardniałych betonów wszystkie przechowywano w komorze wilgotnościowej. Dodatkowo w celu określenia mrozoodporności wykonano po trzy próbki dla każdej z mieszanki, badanie rozpoczęto w 42 dniu dojrzewania.

Tab. 4. Skład mieszanek spoiwowo-kruszywowych

Udział spoiwa Nazwa	5 %		7 %		9 %	
	REYMIX-Stabilizacja HSD 22,5 E	CEM II B-V 32,5 R-HSR	REYMIX-Stabilizacja HSD 22,5 E	CEM II B-V 32,5 R-HSR	REYMIX-Stabilizacja HSD 22,5 E	CEM II B-V 32,5 R-HSR
Spoivo [kg]	103	103	143	142	182	180
Kruszywo 0-31,5 [mm] [kg]	1245	1230	1245	1230	1220	1212
Kruszywo 2-8 [mm] [kg]	412	410	410	406	405	400
Kruszywo 8-16 [mm] [kg]	412	410	410	406	405	400
Woda [kg]	113	145	124	150	140	150

3.1. Badanie wytrzymałości

Badanie wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono zgodnie z normą PN-S-96013:1997 [3]. Parametry wytrzymałościowe oraz klasyfikację wytrzymałości według [3, 6] przedstawia tabela 5 oraz wykresy 2 i 3.

Badania zaformowanych próbek dowodzą, że REYMIX-Stabilizacja HSD 22,5E pozwala na uzyskanie wyższych parametrów wytrzymałościowych mieszanek spoiwowo-kruszywowych przy zawartości spoiwa 5% i 7%. Natomiast znaczącą przewagę nad spoiwem drogowym uzyskuje cement przy udziale 9%. Klasyfikację przeprowadzono na podstawie parametru wytrzymałości osiąganego w 42 dniu dojrzewania. Mieszanki charakteryzują się znacznym przyrostem wytrzymałości w początkowym stadium dojrzewania do siódmego i 28 dnia, natomiast przyrost wytrzymałości pomiędzy 28 a 42 dniem jest niewielki.

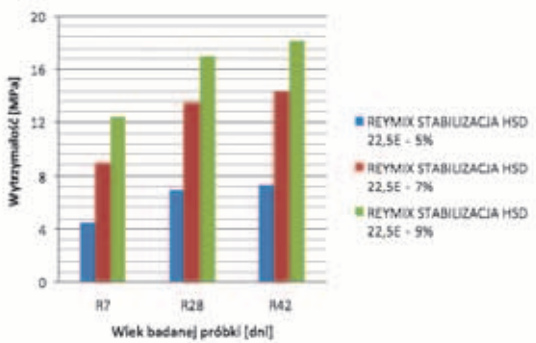
3.2. Badanie mrozoodporności

Badanie mrozoodporności przeprowadzono według „Wytycznych Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad WT-5

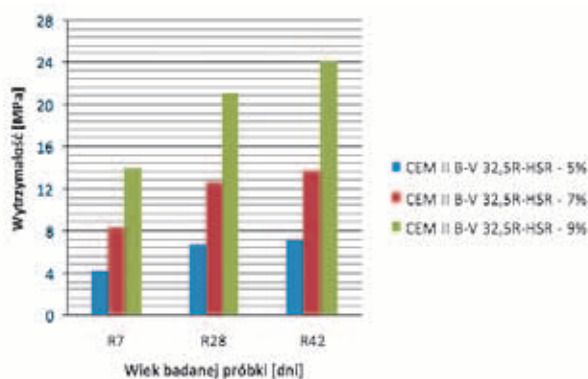
Tab. 5. Parametry mieszanek spoiwowo-kruszywowych

Udział spoiwa	5 %		7 %		9 %	
	REYMIK-Stabilizacja HSD 22,5E	CEM II B-V 32,5R-HSR	REYMIK-Stabilizacja HSD 22,5E	CEM II B-V 32,5R-HSR	REYMIK-Stabilizacja HSD 22,5E	CEM II B-V 32,5R-HSR
R7 [MPa]	4,4	4,2	9,0	8,3	12,4	14,0
R28 [MPa]	6,9	6,7	13,4	12,5	17,0	21,0
R42 [MPa]	7,3	7,1	14,3	13,6	18,1	24,1
PN-S 96013	TAK	TAK	NIE	NIE	NIE	NIE
*PN-EN 14227	C3/4	C3/4	C9/12	C9/12	C12/16	C18/24
q [kg/m ³]	2124	2163	2211	2253	2212	2249
d 60/d 10	14,16					
Wskaźnik mrozoodporności $F = R_c^{z-o} / R_c$	0,60	0,62	0,74	0,77	0,78	0,82

Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych”. Próbki po 42 dniach dojrzewania w komorze klimatycznej poddano procesowi pielęgnacji (zamoczono na 24 godziny w wodzie, następnie poddano 14 cyklom zamrażania i odmrażania). Ocena współczynnika mrozoodporności przeprowadzona została na podstawie porównania stosunku wytrzymałości próbek poddanych pielęgnacji do próbek świadków zgodnie ze wzorem $F = R_c^{z-o} / R_c$.

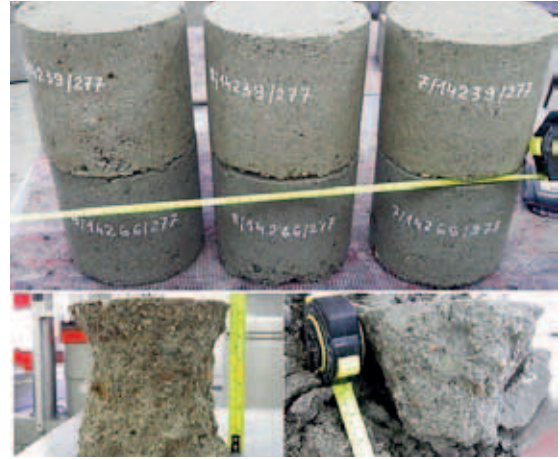


Wykres 2. Przyrost wytrzymałości dla mieszanki z udziałem spoiwa drogowego REYMIK-Stabilizacja HSD 22,5E



Wykres 3. Przyrost wytrzymałości dla mieszanki z udziałem spoiwa CEM II B-V 32,5R-HSR

Wraz ze wzrostem zawartości spoiwa parametr współczynnika mrozoodporności wzrasta. Próbki zawierające hydrauliczne spoiwo drogowe po przejściu założonych cykli mrozoodporności i badaniu wytrzymałości zachowywały kształt klepsydry, natomiast próbki zawierające cement uległy całkowitemu zniszczeniu, co obrazuje rycina 1.



Ryc. 1. Próbki przed i po badaniu wytrzymałości

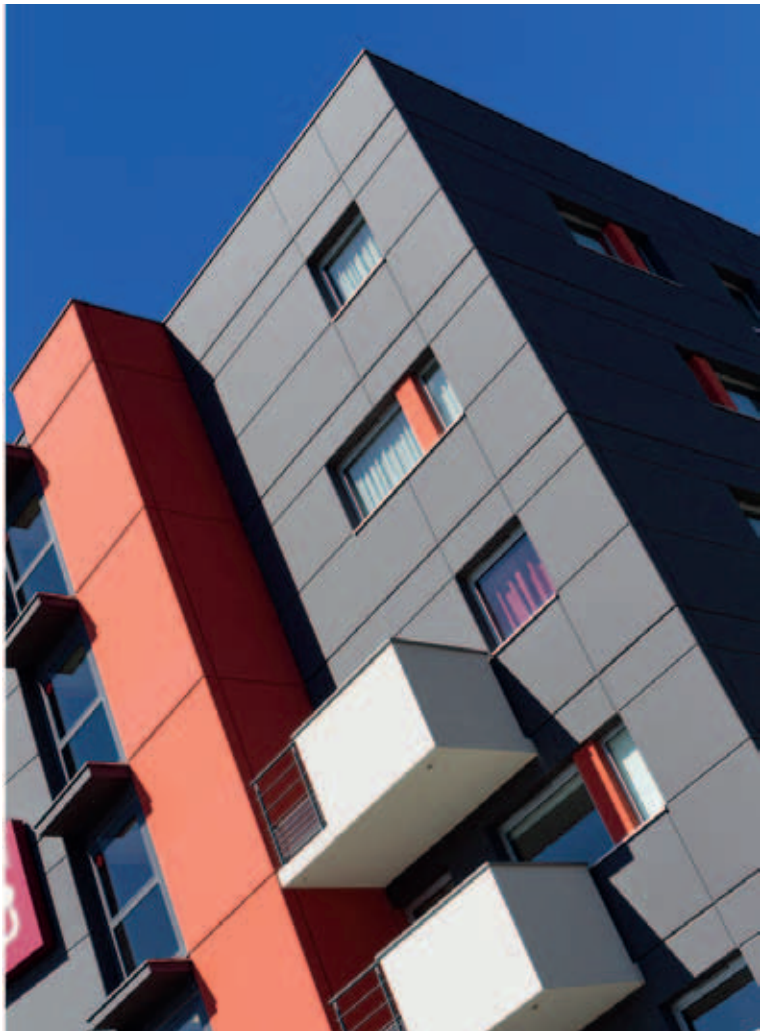
4. Wnioski

Spoiwa hydrauliczne stanowią ekonomicznie i jakościowo uzasadnioną alternatywę dla mieszanek cementowych. Spoiwo REYMIK-Stabilizacja HSD dzięki znacznie zwiększonej powierzchni właściwej może być lepszym rozwiązaniem niż cement w układzie z kruszywem o zbyt małej różnorodności frakcji. Większa powierzchnia właściwa spoiwa doszczelnia wówczas porowatą strukturę stosu kruszywowego.

Spoiwo hydrauliczne REYMIK-Stabilizacja HSD umożliwia tanią i szybką budowę wysokiej jakości dróg. Często pozwala na prowadzenie prac na podłożach o trudnych warunkach. Może być stosowane do stabilizacji mieszanek kruszyw oraz gruntów. Przeznaczone jest do wykonywania podbudowy pomocniczej i zasadniczej, jako materiał do ulepszania właściwości mieszanek, dla kategorii obciążenia ruchem od KR1 do KR6. Z powodzeniem jest wykorzystywany do stabilizacji podłoża pod obiekty kubaturowe, do konstruowania podbudowy pod nawierzchnię z betonowej kostki brukowej, jak również do konstruowania górnych i dolnych warstw podbudowy, a także do budowy nasypów pod drogi krajowe, ekspresowe, autostrady i lotniska.

Literatura

- [1] PN-EN 13242:2010 *Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym.*
- [2] PN-S 96012:1997 *Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem.*
- [3] PN-S 96013:1997 *Drogi samochodowe. Podbudowa z chudego betonu. Wymagania i badania.*
- [4] PN-B-04481:1988 *Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.*
- [5] PN-EN 14227-1:2007 *Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Wymagania. Część 1. Mieszanki związane cementem.*
- [6] PN-EN 14227-5:2007 *Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Wymagania. Część 5. Mieszanki związane spoiwem drogowym.*



Jesteśmy wszędzie tam, gdzie realizowane są wielkie idee.



35 *lat*
**CO CEMENT
OŻARÓW**