

Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym wg WT5:2010 GDDKiA z punktu widzenia producenta betonu – porównanie z dotychczas stosowanymi wytycznymi dla stabilizacji i podbudów

MIXTURES BOUND WITH HYDRAULIC BINDER ACC. TO WT5:2010 GDDKIA FROM THE POINT OF VIEW OF CONCRETE MANUFACTURER – COMPARISON WITH CURRENTLY APPLICABLE INSTRUCTIONS FOR STABILIZATION LAYERS AND BASE COURSES

Streszczenie

Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym dzięki Wytycznym Technicznym nr 5 GDDKiA od 19 listopada 2010 znalazły swoje miejsce w procesie realizacji dróg w Polsce.

Artykuł skupi się na mieszankach związanych cementem CBGM (z ang. Cement Bound Granular Mixtures). Z punktu widzenia producenta betonu jest to najbardziej interesujące zagadnienie. Najważniejsze normy na których bazuje WT 5 to PN-EN 14227-1:2007 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym Wymagania. Część 1: Mieszanki związane cementem oraz PN-EN 13242 A1- 2010 Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym.

CBGM to mieszanka związana hydraulicznie, składająca się z kruszywa o kontrolowanym uziarnieniu i cementu, wymieszana w taki sposób, aby zapewnić uzyskanie jednorodnej mieszanki. Wbudowanie i rozkładanie CBGM musi odbywać się za pomocą specjalistycznego sprzętu przy optymalnej wilgotności i maksymalnej gęstości szkieletu kruszywowego, z zachowaniem odpowiedniej energii zagęszczania.

Zastanowimy się jak wypada porównanie powyższych mieszanek do produktów z grupy norm PN-S 96012-13:1997. Czy pojawiające się zapisy w specyfikacjach np. C1.5/2.5 (Rm=2.5) mają uzasadnienie, czy są to tożsame produkty. Czy są, a jeżeli tak to jakie różnice w stosowanych materiałach, wytycznych, procedurach badawczych.

Zostaną przedstawione doświadczenia firmy CEMEX z produkcji i opracowywania receptur na CBGM oraz pewne obserwacje pokazujące następstwa odstępstw od reżimu technologicznego w produkcji i badaniu tych mieszanek.

Czy bliżej CBGM do stabilizacji czy betonu ?

Abstract

Mixtures bound with hydraulic binder produced according to the Technical Instruction no. 5 issued by GDDKiA on 19 November 2010 found their place in road construction in Poland.

The paper focuses on Cement Bound Granular Mixtures (CBGM). From the point of view of a concrete manufacturer, this is a very interesting topic. The most important standards on which WT 5 is based include PN-EN 14227-1:2007 Mixtures bound with hydraulic binder. Requirements. Part 1: Cement bound mixtures, and PN-EN 13242 A1-2010 Aggregates for non-bound and hydraulically bound materials used in civil structures and road construction.

CBGM is a hydraulically bound mixture which is made of controlled grading aggregate and cement, mixed in such a way to obtain a homogenous mixture. CBGM must be placed and spread with use of special equipment at optimum humidity and maximum density of the aggregate skeleton, while maintaining adequate compaction energy.

We will discuss the comparison of the above mixtures for products from the group of standards PN-S 96012-13:1997. Are the denotations such as for example C1.5/2.5 (Rm = 2.5), which appear in specifications, justified, or are these identical products? Are there any differences in used materials, instructions, testing procedures? If yes, what are the differences?

The experience gathered by CEMEX during production and preparing CBGM composition formula will be presented along with some observations showing what may be some consequences of deviations from the technology regime during production and testing of the mixtures.

Is CBGM closer to stabilization or concrete?

Wprowadzenie

Temat artykułu brzmi: Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym wg WT5:2010 GDDKiA z punktu widzenia producenta betonu – porównanie z dotychczas stosowanymi wytycznymi dla stabilizacji i podbudów.

Pragniemy zwrócić uwagę na sformułowanie z *punktu widzenia producenta betonu*. W całym artykule będzie ono kluczowe i temat jest rozwijany z takiej właśnie perspektywy.

W procesie produkcji betonu towarowego ten segment produktów był raczej traktowany jako niszowy. Jednak przez okres ostatnich sześciu lat w Polsce wykonano wiele realizacji infrastruktury drogowej, co przełożyło się na bardziej wnikliwe spojrzenie branży producentów betonu towarowego na ten produkt.

Do 2010 roku podbudowy i stabilizacje cementowe produkowano i projektowano głównie w oparciu o dwie normy:

a/ PN-S-96012 1997 Obiekty mostowe. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem

b/ PN-S-96013 1997 Obiekty mostowe. Podbudowa z chudego betonu – Wymagania, badania.

Od 19 listopada 2010 r. pojawiły się Wymagania Techniczne WT 5 GDDKiA Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych. Najbardziej nas interesująca cz.1 to mieszanki związane cementem wg PN-EN 14227-1. Wymagania pojawiły się jako załącznik nr 4 do Zarządzenia nr 102 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad w sprawie stosowania wymagań technicznych na drogach krajowych.

Wspomniane wymagania obejmują produkty, które wcześniej opisywały dwie normy.

Uregulowanie zdawało się być konieczne ponieważ wspomniane wcześniejsze dokumenty z 1997 roku odwoływały się do nieaktualnych norm dotyczących składników typu; cement, dodatki, kruszywa.

Pretekstem do napisania artykułu były również zapisy licznych przeglądanych specyfikacji typu: C1.5/2.5 (Rm=2,5) pokazujące kompletną nieznamość tematu wśród specyfikujących. Nie dotyczy to oczywiście wszystkich, spotkaliśmy się również z poprawnie wykonanymi specyfikacjami.

1. Wymagania dla składników

Podstawową zmianą jest uaktualnienie wymagań do obowiązujących norm dotyczących składników i znajdujących się w nich oznaczeń oraz opisów ich parametrów. Jest to bardzo ważne, ponieważ producenci wystawiając dokumenty jakościowe, dokonując badań typu oraz badań kontrolnych ze zrozumiałych powodów posługują się najbardziej aktualnymi normami; taki mają obowiązek wobec istniejących przepisów. Wszelkie powoływania się na inne (również i nieaktualne dokumenty) może mieć tylko charakter uzupełniający, wychodzący naprzeciw zapytaniu klienta.

1.1. Cement

Mieszanki wg PN-S-96012 1997 (stabilizacje Rm=1,5 MPa, Rm=2,5 MPa, Rm=5MPa) mogły być produkowane tylko z cementów o wytrzymałości 32,5 lub 32,5R (wg PN-B-19701:1997); innych norma nie dopuszczała.

Produkty wg PN-S-96013 1997 (ChB 6-9 MPa) należało wykonać z cementu co najmniej klasy 25 (PN-B-3000/A2:1997, PN-B-3001/A2:1997, PN-B-3005/A2:1997). Jak widać wszystkie nieaktualne.

PN-EN 14227-1:2007 pozwala nareszcie produkować CBGM z cementów wg PN-EN 197-1 bez sztucznych ograniczeń, czyli z każdego, dla którego wykazano jego przydatność w praktyce.

1.2. Kruszywa

W przypadku Rm mówimy raczej o gruncie niż kruszywie stabilizowanym. Wymagania dla mieszanki mineralnej (rys. 1) Oprócz tego pojawia się zapis o tym, że najlepszy rezultat zagęszczenia uzyskuje się przy zawartości frakcji >2 mm co najmniej 30%.

Lp	Właściwości	Jednostki	Wymagania
1	Uziarnienie -Zawartość ziaren przechodzących przez sito # 50 mm -Zawartość ziaren przechodzących przez sito # 25 mm -Zawartość ziaren przechodzących przez sito # 4 mm -Zawartość ziaren przechodzących przez sito # 0.25 mm -Zawartość ziaren przechodzących przez sito # 0.05 mm -Zawartość części mniejszych od 0.002 mm, nie więcej niż	% (m/m) % (m/m) % (m/m) % (m/m) % (m/m) % (m/m)	100 85-100 50-100 10-100 0-100 20
2	Granica płynności W_L , nie więcej niż	% (m/m)	40
3	Wskaźnik plastyczności I_p , nie więcej niż	% (m/m)	15
4	Odczyn pH	-	od 5 do 8
5	Zawartość części organicznych, nie więcej niż	% (m/m)	2,0
6	Zawartość siarczanów, przeliczonych na SO_3 , nie więcej niż	% (m/m)	1,0

Rys. 1. Grunt (kruszywo) stabilizowane cementem PN-S-96012 1997

W przypadku ChB 6–9 MPa, można było stosować następujące kruszywo:

- kruszywo mineralne zwykle wg PN-B-11111:1996, PN-B-11113:1996,
- kruszywo łamane ze skał naturalnych wg PN-B-11112:1996
- kruszywo z żużla wielkopieczowego kawałkowego wg PN-B-23004
- grys z otoczków lub mieszaninę tych kruszyw PN-86/B-06712

Jednocześnie krzywa uziarnienia mieszanki powinna mieścić się w krzywych prezentowanych w PN-B-06250:1998 (Załącznik 1 Rys. b)

PN-EN 13242 A1- 2010 Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym – wytycza parametry jakim powinny odpowiadać kruszywa stosowane w CBGM.

Dodatkowo mamy kilka przedziałów krzywych uziarnienia, które możemy stosować w określonych typach podbudów dróg o danych kategoriach ruchu.

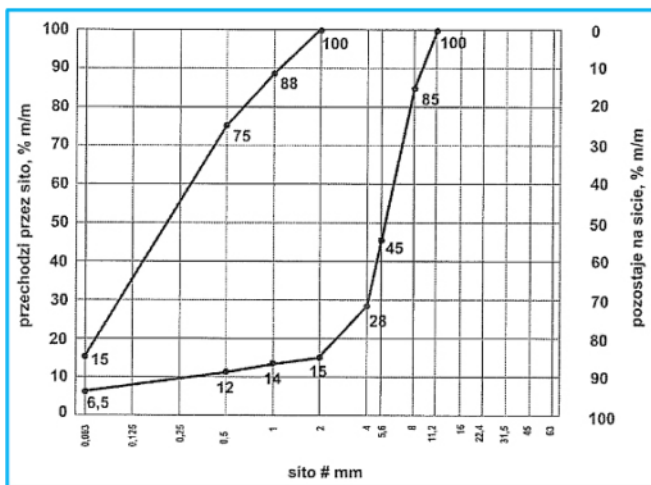
LP	WŁAŚCIWOŚCI	JEDNOSTKI	WYMAGANIA
1	Zawartość pyłów mineralnych poniżej 0.063 mm, nie więcej niż	%(m/m)	4
2	Zawartość zanieczyszczeń oboych, nie więcej niż	%(m/m)	0.5
3	Zawartość ziaren nieforemnych, nie więcej niż	%(m/m)	30
4	Zawartość zanieczyszczeń organicznych	-	Barwa nie ciemniejsza niż wzorcowa
5	Zawartość związków siarki w przeliczeniu na SO ₃ , nie więcej niż	%(m/m)	1
6	Nasiąkliwość ziaren w frakcji ≥ 4 mm, nie więcej niż	%(m/m)	5
7	Mrozoodporność frakcji ≥ 4 mm:		
	a) jedno- i wiele frakcyjnych grysów oraz grubych mieszanek kruszywa Lamanego ze skal magmowych i metamorficznych oraz grysów i grubych mieszanek kruszywa lamanego z otoczków, nie więcej niż	%(m/m)	5
	b) związków jedno- i wiele frakcyjnych oraz grubych mieszanek kruszywa naturalnego , nie więcej niż	%(m/m)	10
c) Grysów jedno- i wiele frakcyjnych oraz grubych mieszanek kruszywa lamanego, sortowana i z otoczków ze skal osadowych (piaskowocowych i krzemionkowych), nie więcej niż	%(m/m)	20	
8	Odporność na rozpad krzemianowy i żelazowy (dotyczy kruszywa zużłowego)		całkowita

Rys. 2. Wymagania co do kruszyw wg PN-S-96013:1997

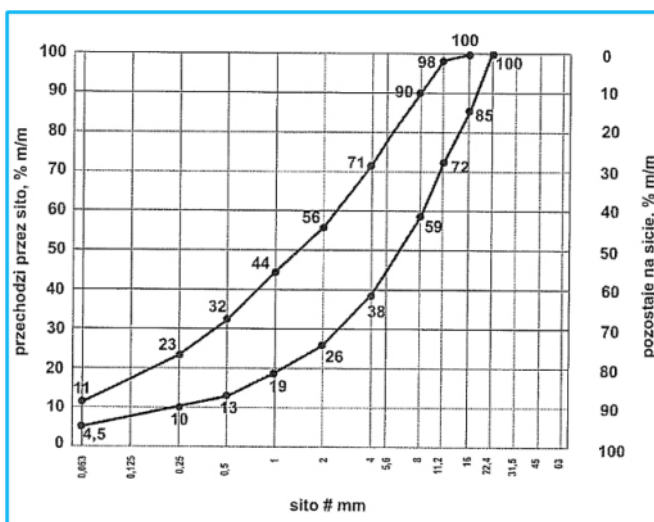
Właściwość	Deklarowane kategorie lub wartości	
	związane warstwy podbudowy pomocniczej i podłoża ulepszanego wszystkie kategorie ruchu (KR1-KR6)	związane warstwy podbudowy zasadniczej wszystkie kategorie ruchu (KR1-KR6)
Uziarnienie wg PN-EN 933-1	G _c 80/20, G _r 80, G _a 75	G _c 80/20, G _r 80, G _a 76
Ogólne granice i tolerancje uziarnienia kruszywa grubego na sitach pośrednich wg PN-EN 933-1	G _{Tc} NR	
Tolerancja typowego uziarnienia kruszywa drobnego i kruszywa o ciągłym uziarnieniu wg PN-EN 933-1	G _{Tf} NR, G _{Ta} NR	
Kształt kruszywa grubego-maksymalne wartości wskaźnika płaskości wg PN-EN 933-3	FI Deklarowany	FI ₅₀
Kształt kruszywa grubego-maksymalne wartości wskaźnika kształtu wg PN-EN 933-3	SI Deklarowane	SI ₅₀
Kategorie procentowych zawartości ziaren o powierz. Przekrzesnej lub łamanych oraz ziaren całkowicie zaokrąglonych w kruszywie grubym wg PN-EN 933-5	C _{NR}	
Zawartość pyłów w kruszywie grubym wg PN-EN 933-1	f deklarowana	
Zawartość pyłów w kruszywie drobnym wg PN-EN 933-2	f deklarowana	
Odporność na rozdrabnianie kruszywa grubego wg PN-EN 1097-2	LA ₅₀	LA ₅₀
Odporność na ścieranie wg PN-EN 1097-1	M _{DE} NR	
Siarczany rozpuszczalne w kwasie wg PN-EN 1744-1	Kruszywo kam. AS _{0,2} ; Żużel kawałkowy wielkopiecowy AS _{1,0}	
Całkowita zawartość siarki wg PN-EN 1744-1	Kruszywo kam. SN _{NR} ; Żużel kawałkowy wielkopiecowy S ₂	
Nasiąkliwość wg PN-EN 1097-6 (Jeśli kruszywo nie spełnia warunku to należy zbadać jego mrozoodporność)	WA _{0,2}	
Mrozoodporność na kruszywa frakcji 8/16 wg PN-EN 1367-1	skaly magmowe i przeobrażone F ₄ skaly osadowe F ₁₀ kruszywa z recyklingu F ₁₀	F ₄

Rys. 3. Wybrane parametry kruszyw stosowanych w CBGM Rys.3

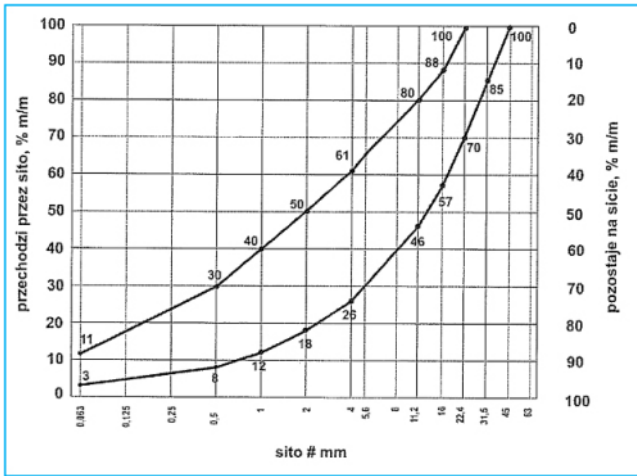
Krzywe graniczne uziarnienia CBGM podane są dla maksymalnego ziarna kruszywa; 8 mm, 11,2 mm, 16 mm, 22,4 mm i 31,5 mm. Przy czym krzywej 0–8 mm możemy używać jedynie w ulepszonym podłożu (w krzywa ta wpisuje się piasek 0–2 mm).



Rys. 4 a. Krzywe uziarnienia CBGM 0-8 mm



Rys. 4 b. Krzywe uziarnienia CBGM 0-16 mm



Rys. 4 c. Krzywe uziarnienia CBGM 0–31,5 mm

1.3. Dodatki

W przypadku gdy któryś z dodatków (żużel lub popiół) występuje w ilości większej niż cement, jest tzw. głównym składnikiem należy produkt odnieść do odpowiednio innej części WT 5 – drugiej w przypadku żużla i trzeciej w przypadku popiołu.

2. Parametry służące do opisu wytrzymałości i trwałości mieszanek w ujęciu „starych” i „nowych” wytycznych

2.1. Wytrzymałość

Stabilizacje Rm wg PN-S-96012 1997 oraz ChB 6–9 wg PN-S-96013 klasyfikowano pod względem wytrzymałości następująco.

	R7 [Mpa]	R28 [Mpa]	Wskaźnik mrozoodporności
Rm 1,5	--	0,5 - 1,5	0,6
Rm 2,5	1,0 - 1,6	1,5 - 2,5	0,6
Rm 5,0	1,6 - 2,2	2,5 - 5,0	0,7
ChB 6/9	3,5 - 5,5	6 - 9	--

Rys. 5. Klasyfikacja Rm i ChB pod względem wytrzymałości

Podstawowa różnica polega obecnie na fakcie braku konieczności specyfikacji w CBGM wytrzymałości po upływie 7 dni. Dopuszcza się jedynie taką możliwość, ale nie ma wyspecyfikowanych wartości, które należy spełnić. Ewentualne badania w innych terminach mają mieć znaczenie orientacyjne lub mogą być kwestią umowy między producentem a klientem.

Zdecydowanie zwiększono zakres wytrzymałości z równoczesnym wzrostem określenia górnego jej ograniczenia (rys. 6).

Kolumna	1	2	3
Wiersz	Wytrzymałość na ściskanie po 28dniach		Klasa wytrzymałości
	Wytrzymałość charakterystyczna R_c		
	Próbki walcowe $H/D^a=2,0$	Próbki walcowe $H/D^a=1^b$	
1	Brak wymagań		C_0
2	1,5	2,0	$C_{1,5/2,0}$
3	3,0	4,0	$C_{3/4}$
4	5,0	6,0	$C_{5/6}$
5	8,0	10,0	$C_{8/10}$
6	12	15	$C_{12/15}$
7	16	20	$C_{16/20}$
8	20	25	$C_{20/25}$

^aH/D = stosunek wysokości do średnicy próbki
^bH/D = 0,8 do 1,2

Rys. 6. Klasyfikacja pod względem wytrzymałości CBGM

WT 5 podaje górne ograniczenia dla: $C_{1,5/2}$ – nie więcej niż 4 MPa; dla $C_{3/4}$ – nie więcej niż 6 MPa, dla $C_{5/6}$ – nie więcej niż 10MPa; dla $C_{8/10}$ – nie więcej niż 20 MPa w zależności od zastosowania w danym rodzaju podbudowy i określonej kategorii ruchu.

Wytrzymałość zostaje również oznaczona na innych próbkach, a zastosowanie rozmiaru form do ich pobrania zależy od maksymalnego ziarna kruszywa stabilizowanej mieszanki.

Wcześniej należało to uczynić w walcach $d=80\text{mm}$, $h=80\text{mm}$, było to problematyczne, ponieważ już kiedy mieliśmy do czynienia z ziarnem o średnicy $d > 16\text{mm}$. Obecne wymiary form pozwalają pobrać zdecydowanie bardziej reprezentatywną próbkę i tak naprawdę bezpośrednio odpowiadają wymiarom cylindrów Proctora. Nie ma więc konieczności przeliczania energii zagęszczenia. W procesie projektowania i sprawdzania mieszanki CBGM używamy tego samego sprzętu i tej samej procedury zagęszczania. Obecnie są to form typu A ($d=100\text{mm}$, $h=120\text{mm}$) przy maksymalnym dozwolonym wymiarze ziarna 16 mm oraz form typu B ($d=150\text{mm}$, $h=120\text{mm}$) przy maksymalnym dozwolonym wymiarze ziarna 31,5 mm. W ten sposób pozbyliśmy się problemu niereprezentatywnej próbki mieszanki pobranej do badań. Teraz materiał badany ma szansę być takiego uziarnienia jak ten w podbudowie, co oczywiście przekłada się na większą wiarygodność przeprowadzanych badań.

2.2. Wskaźnik mrozoodporności

Oprócz wytrzymałości w stabilizacjach badaliśmy i badamy również obecnie trwałość, za pomocą wskaźnika mrozoodporności.

Aktualnie nie ma normy na badanie parametru mrozoodporności. Ponieważ jednak WT5 określa ten parametr zależnie od rodzaju podbudowy i kategorii ruchu opisuje również metodę badania.

Dla przypomnienia sposób obliczenia wskaźnika mrozoodporności to stosunek wytrzymałości na ściskanie próbek poddanych 14 cyklom zamrażania i odmrażania do wytrzymałości próbek określonej po 28 dniach twardnienia.

Dawniej rozpoczęcie pierwszego cyklu zamrażania i rozmrażania następowało po 14 dniach odpowiedniej pielęgnacji. Teraz zaczynamy badanie po 28 dniach. Wydaje się być to rozsądne, ponieważ zdecydowanie rozszerzyła się paleta stosowanych cementów do podbudów.

Jeden cykl zamrażania i odmrażania polega na zamrażaniu próbki w temperaturze $-23^{\circ}\text{C}+/-2^{\circ}\text{C}$ przez 8 godzin i odmrażania w wodzie o temperaturze $+18^{\circ}\text{C}$ przez 16 godzin.

Wskaźnik mrozoodporności wymagany jest przede wszystkim w podbudowie zasadniczej i pomocniczej. Nie ma konieczności spełniania warunku mrozoodporności w warstwie ulepszonego podłoża.

2.3. Metody pielęgnacji próbek

Jak przy każdym badaniu materiału polegającym na poborze jego prób, kluczowe dla wyniku są jakość ich wykonania i pielęgnacji, a także powtarzalność tych czynności.

W poprzednich normach mieliśmy mocno zagmatwany ich opis.

Dla przypomnienia w PN-S-96012 mamy, oddzielne warunki dla każdego rodzaju próbek.

Próbki przeznaczone do ściskania po 7 dniach: 3 dni pielęgnacji w temperaturze pokojowej z zabezpieczeniem przed wysychaniem, 1 dzień zanurzenie na głębokość 1 cm w wodzie, a przez następne trzy dni zanurzenie całkowicie w wodzie o temperaturze pokojowej.

Próbki przeznaczone do ściskania po 28 dniach: 14 dni pielęgnacji w temperaturze pokojowej z zabezpieczeniem przed wysychaniem, po czym 14 dni w wodzie o temperaturze pokojowej.

Próbki przeznaczone do określenia wskaźnika mrozoodporności: 13 dni przechowywanie w temperaturze pokojowej z zabezpieczeniem przed wysychaniem, zanurzenie na 1 dzień w wodzie, a następnie w ciągu kolejnych 14 dni poddanie cyklom zamrażania i rozmrażania.

Jak do tego zagadnienia podchodzą dokumenty opisujące pielęgnacje CBGM ?

Próbki walcowe, zagęszczane ubijakiem Proctora, powinny być przygotowane zgodnie z PN-EN 13286-50.

Wg WT-5 próbki do określenia wytrzymałości należy przechowywać przez 14 dni w temperaturze pokojowej z zabezpieczeniem przed wysychaniem (w komorze o wilgotności powyżej 95%–100% lub w wilgotnym piasku) i następnie zanurzyć na 14 dni do wody o temperaturze pokojowej. Próbki do określenia wskaźnika mrozoodporności należy przechowywać przez 28 dni w temperaturze pokojowej z zabezpieczeniem przed wysychaniem (w komorze o wilgotności powyżej 95%–100% lub w wilgotnym piasku) i następnie zanurzyć na 1 dzień do wody o temperaturze pokojowej. O tyle to upraszcza całe sprawę, że przy jednym sposobie pielęgnacji należy tylko pamiętać o innym okresie przechowywania w piasku próbek przeznaczonych do różnych badań.

Wspomniana norma PN-EN 13286-50 dopuszcza również inne/różne metody przechowywania próbek, dlatego zasadnym wydaje się zawsze przy prezentacji wyników i deklarowaniu klasy wytrzymałości przez producenta wskazanie metody pielęgnacji po jakiej ta wytrzymałość została określona. Warunkiem koniecznym jest również prowadzenie tej czynności w sposób identyczny przez klienta potwierdzającego zgodność produktu na budowie. Wymaga to uściśleń przed samym procesem rozpoczęcia dostaw.

2.4. Projektowanie mieszanki – metoda Proctora

Projektowanie stabilizacji jest specyficzne. Polega na określeniu maksymalnej gęstości szkieletu kruszywowego oraz wilgotności optymalnej mieszanki, które stanowią punkt wyjścia do projektu. Zaczynamy więc od tego na czym kończy się projektowanie zwykłego betonu.

Parametry określamy za pomocą metody Proctora główne założenia metodologii pozostały niezmiennie.

W obu normach mamy wspólne wartości energii zagęszczenia w normalnej i zmodyfikowanej metodzie Proctora, odpowiednio:

0,56 – 0,63 MJ/m³=J/cm³ (średnia 0,6 MJ/m³) metoda normalna, 2,56 – 2,80 MJ/m³=J/cm³ (średnia 2,68 MJ/m³) metoda zmodyfikowana. Różnica polega na tym, że w nowej brak wskazania, którą z nich należy zastosować. Mamy pewną dowolność, która jest uzasadniona jeżeli dostępna jest informacja na temat jak też będzie materiał zagęszczany przy wbudowywaniu podbudowy. Zależnie od tego należy zastosować tą metodę, która odzwierciedli energię zagęszczania na budowie. Konieczna jest tym większa energia im stosujemy mieszankę o bardziej mocnym szkielecie. Oczywiście jest, że przy opracowywaniu receptury trzeba wybraną metodę wskazać.

Doświadczenie wskazuje, że w metodzie zmodyfikowanej uzyskamy większą wartość maksymalnej gęstości szkieletu kruszywowego oraz niższą wilgotność optymalną, natomiast w normalnej metodzie dokładnie odwrotnie, mniejszą maksymalną gęstość szkieletu kruszywowego, większą wilgotność optymalną.

3. Doświadczenia firmy CEMEX w produkcji stabilizacji PN-S-96012 1997 i CBGM WT-5

Najważniejszym parametrem mieszanek stabilizowanych cementem jest wilgotność optymalna, drugi istotny parametr to maksymalna gęstość szkieletu kruszywowego przeliczana na 1 m³. Obydwa parametry są ze sobą nierozzerwalnie związane. Odpowiednia gęstość CBGMu jest uzyskiwana w produkcji tak naprawdę jako efekt poprawnej wilgotności mieszanki i dzięki dobrze wywzorcowanym wagom poszczególnych surowców na WBT.

Produkcja powinna się odbywać jedynie na wytwórniach posiadających sondy wilgotnościowe dzięki, którym jest możliwość uwzględnienia faktycznej wilgotności surowców używanych do produkcji. To z kolei pozwala na wyprodukowanie mieszanki o optymalnej do zagęszczenia wilgotności i gęstości.

Następnym ważnym parametrem jest wilgotność kruszyw, która mają być stabilizowane. Nie może ona przekraczać wilgotności optymalnej, bo wtedy produkcja staje się zwyczajnie niemożliwa.

Należy zadbać o odpowiedni czas mieszania w mieszalniku produkcyjnym – nie mniej niż 30 sekund. Pozwoli to na uzyskanie jednorodnej mieszanki o takich samych parametrach w całej jej objętości.

Oczywiście nie należy zapominać, że skrzynie transportowe samochodów przewożących produkt na budowę muszą być przykryte, aby zapobiegać jej wysuszeniu.

Z doświadczenia i badań CEMEX wynika, że:

- Jeżeli wilgotność wyprodukowanej mieszanki będzie o 1% niższa w stosunku do wilgotności optymalnej następuje spadek gęstości g_c o 5,1% oraz spadek wytrzymałości o 49,1%.
- Jeżeli wilgotność wyprodukowanej mieszanki będzie o 1% wyższa w stosunku do wilgotności optymalnej następuje spadek gęstości g_c o 1,1% oraz spadek wytrzymałości o 23,2%.

Zdecydowanie widać więc, że większą szkodę wyrządzamy jeżeli chodzi o wytrzymałość stwardniałego CBGM, w sytuacji kiedy w świeżej mieszance wody jest mniej od wartości optymalnej niż wtedy kiedy jest jej za dużo. Należy jednak pamiętać o specyfice wbudowywania CBGMu na budowie. Produkt jest układany, wałowany i zagęszczany za pomocą walców statyczny lub dynamicznych. Powoduje to, że oczekiwania klienta na budowie są dokładnie odwrotne niż tendencje przedstawione powyżej. Im bardziej wilgotny produkt tym proces zagęszczania staje się trudniejszy.

Właśnie dlatego wilgotność musi mieć wartość optymalną, aby połączyć zgodność parametrów wytrzymałości oraz zdolności do zagęszczania i właśnie dlatego jest to tak trudna mieszanka do wyprodukowania.

Podano wybrane wyniki z zarobów próbnych mieszanek stabilizowanych cementem, w ujęciu analizowanych zapisów normowych, biorąc pod uwagę różne stopy okruczowe mieszanek głównie komponowanych z materiałów dostępnych na wytwórniach CEMEX.

Stosy stabilizowano podobną procentową zawartością cementu, tak aby porównać wpływ stosu na wytrzymałość.



Fot. 1.



Fot. 2.

3.1. Mieszanka stabilizowana cementem wg PN-S-96012

Wg zaleceń powyższej normy skomponowano stos o ziarnach powyżej 2 mm w ilości stanowiącej co najmniej 30% całości kruszywa. W tym przypadku był to żwir naturalny frakcji od 2 do 16 mm. Resztę stosu uzupełnił piasek płukany 0–2 mm. Do stabilizowania użyto cement CEM II ALL 32,5R CEMEX produkowany w Rudnikach. Frakcje pyłaste uzupełniono popiołem lotnym z węgla kamiennego. Procedura projektowania i badania próbek oraz ich pielęgnacji zgodna z normą PN-S-96012. Wyniki przedstawiono na rysunku 7.

	dodatek cementu do kruszywa	dodatek popiołu do kruszywa	0/2	2/16	R ₇	R ₂₈
	%	%	%	%	MPa	MPa
ST	1	4	67	33	0.17	0.32
ST	2	4	67	33	0.57	0.79
ST	2.5	4	67	33	1.19	1.77
ST	3	4	67	33	1.46	2.84
ST	3.5	4	67	33	1.64	3.67
ST	4	4	67	33	3.32	4.91
ST	5	4	67	33	4.05	7.23
ST	7	4	67	33	7.31	9.91
ST	9	4	67	33	9.45	13.96

Rys. 7.

3.2. Mieszanka stabilizowana cementem wg WT-5, CBGM 0–8 mm

Zastabilizowano piasek płukany cementem CEM II BS42,5 N CEMEX Rudniki. Frakcje pylaste uzupełniono popiołem lotnym z węgla kamiennego. Procedura projektowania i badania próbek oraz ich pielęgnacji zgodna z WT-5. Wyniki przedstawiono na rysunku 8.

	dodatek cementu do kruszywa	dodatek popiołu do kruszywa	0/2	R ₇	R ₂₈
	%	%	%	MPa	MPa
CBGM 0/8	4.5	2.8	100	1.05	1.74
CBGM 0/8	5.5	2.8	100	1.42	2.43
CBGM 0/8	6.5	2.8	100	1.73	3.52
CBGM 0/8	8.5	2.8	100	1.76	3.86
CBGM 0/8	9.5	2.9	100	3.52	5.32

Rys . 8.

3.3. Mieszanka stabilizowana cementem wg WT-5, CBGM 0–8 mm

Zastabilizowano piasek kopalniany nie płukany, cementem CEM II BS 42,5 N CEMEX Rudniki. Frakcje pylaste uzupełniono popiołem lotnym z węgla kamiennego. Procedura projektowania i badania próbek oraz ich pielęgnacji zgodna z WT-5. Wyniki przedstawiono na rysunku 9.

	dodatek cementu do kruszywa	dodatek popiołu do kruszywa	0/2	2/8	R ₇	R ₂₈
	%	%	%	%	MPa	MPa
CBGM 0/8	4	4	92	8	0.87	1.5
CBGM 0/8	6	4	92	8	1.6	3.3
CBGM 0/8	7	4	92	8	2.1	4.4
CBGM 0/8	9	4	92	8	4.1	7.4

Rys. 9.

3.4. Mieszanka stabilizowana cementem wg Wt-5 CBGM 0–16 mm

Zastabilizowano kompozycje piasku 0-2 mm i kruszywa do 16 mm zgodnie z krzywą CBGM 0-16 mm cementem CEM II BS 42,5 N CEMEX Rudniki. Zastosowano piasek płukany i żwir naturalny otoczkowy. Frakcje pylaste uzupełniono popiołem lotnym z węgla kamiennego. Procedura projektowania i badania próbek oraz ich pielęgnacji zgodna z WT-5. Wyniki przedstawiono na rysunku 10.

	dodatek cementu do kruszywa	dodatek popiołu do kruszywa	0/2	2/16	R ₇	R ₂₈
	%	%	%	%	MPa	MPa
CBGM 0/16	2.4	2.4	47	53	0.91	2.26
CBGM 0/16	3	2.4	47	53	1.91	3.37
CBGM 0/16	4	2.4	47	53	3.45	6.44
CBGM 0/16	5	2.4	47	53	4.5	10.03
CBGM 0/16	6	2.4	47	53	8.71	14.6
CBGM 0/16	8	2.4	47	53	12.11	22.4

Rys. 10.

3.5. Mieszanka stabilizowana cementem WT-5 CBGM 0-31,5 mm

Zastabilizowano kompozycje piasku 0–2 mm oraz kruszywa 2–31,5 mm zgodnego z krzywą CBGM 0–31,5 mm cementem CEM II BS 42,5 N. CEMEX Rudniki. Zastosowano piasek płukany i żwir łamany wapienny 2–31,5 mm. Frakcje pylaste uzupełniono popiołem lotnym z węgla kamiennego. Procedura projektowania i badania próbek oraz ich pielęgnacji zgodna z WT-5. Wyniki przedstawiono na rysunku 11.

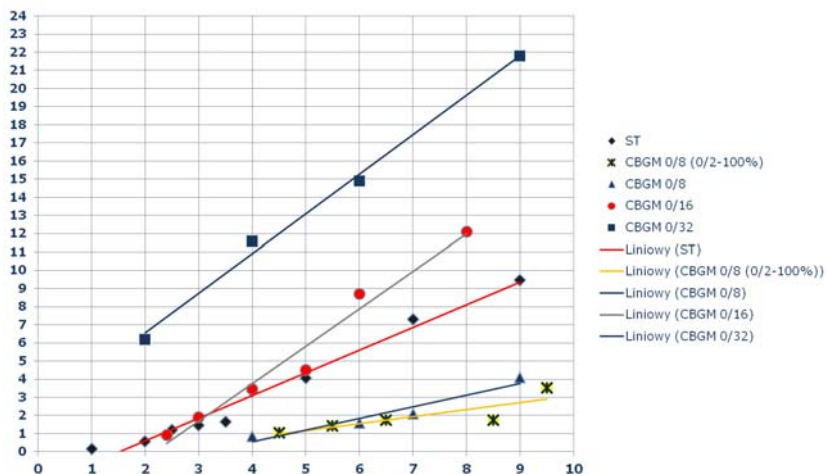
	dodatek cementu do kruszywa	dodatek popiołu do kruszywa	0/2	2/31	R ₇	R ₂₈
	%	%	%	%	MPa	MPa
CBGM 0/32	2	3	39	61	6.2	9
CBGM 0/32	4	3	39	61	11.6	14.3
CBGM 0/32	6	3	39	61	14.9	20.7
CBGM 0/32	9	3	39	61	21.8	29.1

Rys. 11.

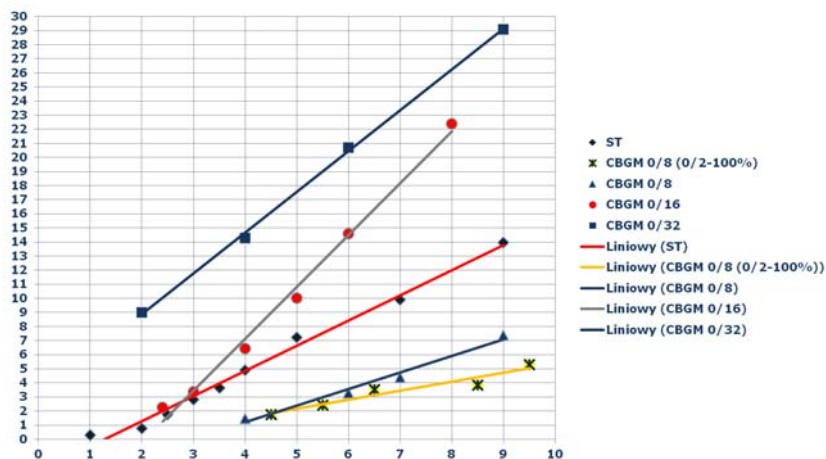
3.6. Zestawienie wyników na wykresie wytrzymałości i procentowej zawartości cementu

Wszystkie wyniki ściskania próbek po upływie 7 i 28 dni przedstawiono odpowiednio na rysunkach 12 i 13.

Wytyczono krzywe zależności wytrzymałości w MPa (oś y) od zawartości procentowej cementu (oś x) dla każdego stosu okrucowego i zestawiono je razem po to, aby wysnuć wnioski.



Rys. 12. Zestawienie wyników 7-dniowych



Rys. 13. Zestawienie wyników 28-dniowych

4. Wnioski

Oczywiście wyniki wytrzymałości zarówno 7-dniowe, jak i 28-dniowe, dla tych samych zawartości procentowych stosowanego cementu są wyższe im stabilizowany stos okruszowy ma mocniejszy szkielet.

Najniższe wytrzymałości zanotowano dla stabilizowanych piasków, a najwyższe dla łamanego kruszywa o uziarnieniu do 31,5 mm.

Zaobserwowano, że dla stosowanego materiału do 31,5 mm uzyskanie najniższej klasy wytrzymałości C1,5/2 jest trudne, zwłaszcza jeżeli występuje dodatkowe ograniczenie z góry do 4 MPa, w przypadku podbudowy pomocniczej i zasadniczej. Potwierdzają to

również inne badania CEMEX przeprowadzane na dużej ilości różnorodnych mieszanek o uziarnieniu do 31,5 mm nie publikowane w tym artykule.

Uziarnienie, dobrze skomponowany stos okruszowy prawidłowo zagęszczony przenosi główne obciążenia. Nie sposób ustrzec się wrażeniu, że zwłaszcza wyższe klasy CBGM przypominają bardziej beton niż stabilizację. Dodatkowo mają przewagę nad betonem produkowanym w podobnej konsystencji, ze względu na ściśle określony sposób ich badania, a przede wszystkim zagęszczania. Niesprecyzowana metoda zagęszczania próbek do badania wilgotnych mieszanek betonu towarowego stwarza pole do nieścisłości w interpretacji wyników uzyskiwanych w różnych laboratoriach. Jest to przyczyną wielu spornych sytuacji między klientem i wykonawcą. Można z całą pewnością powiedzieć o luce w precyzyjnym określeniu metod badawczych betonu towarowego. W tym przypadku mieszanek o konsystencji wilgotnej. Istnieje możliwość, aby ją wypełnić, wprowadzając odpowiednie zapisy w mającym powstać krajowym dodatku do obowiązującej normy PN EN 206 :2014.

Wracając do CBGMu należy zauważyć, że stosowanie popiołu lotnego wyraźnie poprawia zdolności do dobrego zagęszczenia i pomaga wpisać się w wymagane w WT-5 krzywe uziarnienia w dolnych frakcjach 0,063 mm i 0,125 mm. Należy jedynie pamiętać, aby jego ilość była mniejsza w stosunku do cementu, tak aby to cement był głównym składnikiem spoiwa.

5. Podsumowanie

Zdecydowanie nie należy stawiać znaku równości między $R_m=2,5$ MPa (1,5-2,5 MPa) a mieszanką CBGM C1,5/2. Są to dwa różne produkty zwłaszcza jeżeli specyfikacje narzucają jeszcze krzywe uziarnienia do tego ostatniego zgodne z WT-5 (np. CBGM 0-31,5). Obydwa produkty mają różne wytrzymałości.

Pierwszy od 1,5 do 2,5 MPa, a drugi od 2 do 4 MPa. Pierwszy może być wykonany na kruszywie/gruncie o uziarnieniu co najmniej 30% powyżej 2 mm, drugi ma przytaczane krzywe o określonym uziarnieniu. Zarówno norma PN-EN 14227 i WT-5 nie dotyczą stabilizowania cementem gruntów a jedynie kruszyw. Kruszywa są wyrobem budowlanym, co pociąga za sobą konieczność wystawiania przez producenta określonych dokumentów przy jego sprzedaży. Oznacza to, że możemy sobie wyobrazić, że w przypadku $R_m= 2,5$ MPa wykorzystujemy materiał, który spełnia tylko założenia normy PN-S-96012, natomiast przy produkcji CBGMu możemy stosować kruszywa będące wyrobem budowlanym pochodzące od certyfikowanych dostawców, którzy wystawiają odpowiednie dokumenty przy ich sprzedaży i stale kontrolują pewne cechy swojego produktu. $R_m=2,5$ MPa może być stabilizowany tylko cementem marki 32,5; CBGM cementem o dowolnej marce. Różne są wymiary form, w których badamy oba produkty. Różne są warunki ich pielęgnacji; różny okres, po którym badamy wskaźnik mrozoodporności. Wskazano podstawowe różnice. Jest ich więcej, ale te wystarczą, aby obronić postawioną w podsumowaniu tezę.

$R_m=2,5$ MPa (1,5-2,5 MPa) i CBGM C1,5/2 to dwa różne produkty.

Literatura

- [1] Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych WT-5 2010. Wymagania Techniczne. Załącznik nr 4 do Zarządzenia nr 102 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dn. 19.11.2010
- [2] PN-EN 14227-1:2007. Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Wymagania-Część 1:Mieszanki związane cementem.

- [3] PN-S-96012:1997 Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem.
- [4] PN-S-96013:1997 Podbudowa z chudego betonu- wymagania i badania.
- [5] Wyniki Badań. Określenie składu mieszanek kruszywowo-cementowych przeznaczonych do ulepszonego podłoża gruntowego oraz podbudów drogowych z chudego betonu. Sprawozdanie z badań IBDiM Zakład Geotechniki i Fundamentowania Laboratorium Geotechniki :2010 w opracowaniu mgr Inż. Marcin Dreger