

**Mgr inż. Danuta Beblacz**

Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa

**Doc. dr hab. inż. Michał A. Glinicki**

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN i Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa

**Mgr inż. Przemysław Kamiński**

Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa

## **WŁAŚCIWOŚCI TECHNICZNE BETONU MODYFIKOWANEGO DOMIESZKAMI I DODATKAMI PRZEZNACZONEGO NA PREFABRYKOWANE POKRYWY STUDNI WBUDOWANYCH W NAWIERZCHNIE**

### **TECHNICAL PROPERTIES OF CONCRETE MODIFIED WITH ADDITIONS DESIGNED FOR PRECAST MANHOLE COVERS BUILT IN PAVEMENTS**

#### **Streszczenie**

Przedstawiono zagadnienia związane z jakością prefabrykowanych, betonowych pokryw studni kanalizacji kablowej, wbudowanych w nawierzchnie drogowe. Przeprowadzono badania doświadczalne właściwości mechanicznych i trwałości betonu przeznaczanego do wykonania prefabrykatów. Wykonano badania nośności całych prefabrykatów, wykonanych w różnych zakładach produkcyjnych na podstawie opracowanych recept betonu. Przeanalizowano wpływ rodzaju cementu, domieszek chemicznych i zbrojenia rozproszonego na nośność prefabrykatów betonowych oraz na odporność betonu na oddziaływania klimatyczne i eksploatacyjne. Wnioski z pracy badawczej odnoszą się do konstrukcji pokryw oraz przydatności pokryw do zastosowań w ciągach dróg dla pieszych i pojazdów.

#### **Abstract**

Technical issues in regard to the quality of precast concrete manhole covers, produced for telecommunication networks and built in pavements, are presented. Experimental tests on mechanical properties and durability of concrete designed for precast elements were performed. Full scale elements manufactured in several precast concrete plants were tested to determine the load bearing capacity. The influence of cement type, admixture type and fibrous microreinforcement on the load bearing capacity of precast elements and the resistance of concrete to aggressive environment was analysed. The conclusions were drawn in regard to the design of precast elements and their conformity to the required performance in pavement applications.

## 1. Wprowadzenie

W referacie przedstawiono niektóre wyniki pracy badawczej „Analiza wymagań i opracowanie kryteriów bezpieczeństwa użytkowania zwieńczeń studni kanalizacji kablowej wykonywanych w nawierzchniach dróg i ciągów pieszych” zrealizowanej w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów we współpracy z Zakładem Doświadczalnym Budownictwa Łączności, IPPT PAN oraz Politechniką Warszawską. Przedmiotem badań były prefabrykowane pokrywy i zwieńczenia studni kanalizacji kablowej, stosowane w ciągach drogowych. Celem badań było opracowanie nowych rozwiązań technologicznych i zasad wykonania prefabrykatów o podwyższonej nośności i radykalnie zwiększonej trwałości na oddziaływanie warunków atmosferycznych i zimowego utrzymania dróg.

Motywację do podjęcia badań stanowiły wyniki obserwacji stanu technicznego zwieńczeń studni kablowych, przedstawione m.in. w [1] i [2]. Przeprowadzona ocena stanu technicznego zwieńczeń zabudowanych w ciągach drogowych w kilku dużych aglomeracjach miejskich wykazała, że znacząca część wbudowanych pokryw ma uszkodzenia i wady produkcyjne, ujawniające się już po jednym roku eksploatacji i stwarzające zagrożenie bezpieczeństwa użytkowników dróg. Nośność diagnozowanych pokryw okazała się często niższa od projektowanej. Szacunkowo na terenie Polski wbudowanych jest ok. 1 mln pokryw studni kanalizacji kablowych. W wyniku obserwacji stwierdzono, że ok. 70 % pokryw ma uszkodzenia betonu takie jak znaczne spękania, złuszczenia powierzchni, ale także pęknięcia opraw, klawiszowanie pokryw w ramach – luzy pomiędzy oprawą a ramą większe od dopuszczalnych (Rys.1). Pokrywy będące w wieloletniej eksploatacji nie są trwale oznakowane, więc nie jest możliwe zidentyfikowanie normowej klasy zwieńczenia.

Rys.1

## 2. Opis badań

### 2.1 Próbki z betonu i stosowane metody badań

Stosując koncepcję projektowania betonu na trwałość wyselekcjonowano właściwe rodzaje cementu [3], rodzaje kruszyw, domieszek chemicznych, dodatków typu II oraz włókien do betonu przeznaczonego na prefabrykaty. Do projektowania mieszanek betonowych przyjęto dwie kategorie trwałości betonu w konstrukcyjnych prefabrykatkach drogowych:

- kategoria I – beton o trwałości min. 20 lat,
- kategoria II – beton o trwałości min. 10 lat.

Mieszanki betonowe zostały zaprojektowane metodą doświadczalną. Założono konsystencję mieszanki betonowej klasy S2 do S3 oraz napowietrzenie mieszanki zgodnie z normą. W Tablicy 1 i 2 podano proporcje składników mieszanki betonowej użytych do wykonania zarobów próbnych.

Zaprojektowano również serie betonów ze zbrojeniem rozproszonym, m.in. wykonując próbki z fibrobetonu wysokowartościowego (HPFRCC, [4]) tj. kompozytu o charakterystyce mechanicznej zbliżonej do materiału ciągłego ze wzmocnieniem pod obciążeniem rozciągającym. Przyjęto ograniczenia uziarnienia kruszywa do 4 mm. Proporcje mieszanki do wykonania fibrobetonów HPFRCC podano w Tablicy 3.

Z zarobów próbnych wykonano normowe próbki sześciennie o boku 150 mm do określania wytrzymałości na ściskanie, ścieralności i mrozoodporności betonu oraz próbki pryzmatyczne

100x100x500 mm do określenia wytrzymałości na zginanie. Próbkę pielęgnowano przez 28 dni w normowych warunkach wysokiej wilgotności i temperatury 18-20 °C.

**Tablica 1 - Proporcje składników mieszanek betonowych przeznaczonych do wykonania prefabrykatów I kategorii trwałości**

Oznaczenie serii betonu	Cement		Woda	Piasek	Kruszywo łamane			Domieszki chemiczne <sup>(1)</sup>		
	[kg]	typ			0-2 mm	2-8 mm	8-16 mm	SP	N	U-N
			[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
MAG-1	370	CEM I	166,5	474	755 <sup>(2)</sup>	527 <sup>(2)</sup>	1,11	0,259	-	
MAG-2	370	CEM II/B-S	166,5	474	754 <sup>(2)</sup>	526 <sup>(2)</sup>	1,11	0,259	-	
MAG-3	370	CEM III/A	166,5	509	810 <sup>(2)</sup>	565 <sup>(2)</sup>	1,11	-	-	
MAG-4	370	CEM I	166,5	510	813 <sup>(2)</sup>	567 <sup>(2)</sup>	1,11	-	-	
MAG-5	370	CEM II/B-S	166,5	510	811 <sup>(2)</sup>	566 <sup>(2)</sup>	1,11	-	-	
MAG-6	370	CEM I	166,5	527	703 <sup>(3)</sup>	527 <sup>(2)</sup>	1,11	0,259	-	
MAG-7	370	CEM II/B-S	166,5	526	702 <sup>(2)</sup>	526 <sup>(2)</sup>	1,11	0,259	-	
MAG-8	370	CEM I	166,5	567	756 <sup>(3)</sup>	567 <sup>(2)</sup>	1,11	-	-	
MAG-9	370	CEM II/B-S	166,5	566	755 <sup>(3)</sup>	566 <sup>(2)</sup>	1,11	-	-	
MAG-10	370	CEM I	166,5	567	756 <sup>(3)</sup>	567 <sup>(2)</sup>	-	-	0,3	
MAG-11	370	CEM II/B-S	166,5	527	702 <sup>(3)</sup>	527 <sup>(2)</sup>	-	-	0,3	
MAG-12	370	CEM I	166,5	474	755 <sup>(2)</sup>	527 <sup>(2)</sup>	-	-	0,3	
MAG-13	370	CEM II/B-S	166,5	473	754 <sup>(2)</sup>	526 <sup>(2)</sup>	-	-	0,3	
MAG-18	370	CEM III/A	148	510	655 <sup>(3)</sup>	655 <sup>(2)</sup>	1,11 <sup>(4)</sup>	-	-	

(1) Oznaczenia domieszek chemicznych: SP – superplastyfikator, N – domieszka napowietrzająca, U-N – domieszka uplastyczniająco-napowietrzająca

(2) kruszywo łamane - grys granitowy „Gołszyce”

(3) kruszywo otoczakowe - żwir 2-8mm

(4) dodatkowo modyfikator styrenowo-butadienowy 25 kg/m<sup>3</sup>

**Tablica 2 - Proporcje składników mieszanek betonowych przeznaczonych do wykonania prefabrykatów II kategorii trwałości**

Ozn. serii betonu	Cement		Woda	Piasek	Kruszywo naturalne			Domieszki chemiczne		
	[kg]	typ			0-2 mm	2-8 mm	8-16 mm	SP	N	U-N
			[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
MAG-14	320	CEM II/B-S	160	508	653	653	-	-	0,30	
MAG-15	320	CEM III/A	160	507	653	652	-	-	0,30	
MAG-16	320	CEM II/B-S	160	546	701	701	0,96	-	-	
MAG-17	320	CEM III/A	160	545	700	700	0,96	-	-	
MAG-19	320	CEM II/A-LL	160	507	653	652	-	-	0,30	

Na próbkach wykonanych z mieszanek betonowych wg podanych recept przeprowadzono badania następujących właściwości:

- Wytrzymałość na ściskanie po 3, 28 i 56 dniach zgodnie z PN-EN 12390-3:2009,

- Wytrzymałość na zginanie po 28 dniach zgodnie z PN-EN 12390-5:2009,
- Odporność na działanie mrozu F150 wg Procedury Badawczej IBDiM Nr PB-TB-1/23:2008 zgodnej z PN-88/B-06250,
- Odporność na działanie mrozu i roztworu NaCl zgodnie z PN-EN 1338:2005,
- Odporność na ścieranie zgodnie z PN-EN 1338:2005 Zał.G.

**Tablica 3 Proporcje składników fibrobetonu wysokowartościowego**

Ozn. serii betonu	Cement	Mikro-krzemionka	Woda	Piasek kwarcowy 0,1-0,6 mm	Grys granitowy 2-4 mm	Mikrowłókna stalowe 12/0,1	Super-plastyfikator
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
MAG-20	775	91	182	401	866	182	32
MAG-21	764	90	180	395	854	225	40

## 2.2 Prefabrykaty z betonu i sposób badania nośności

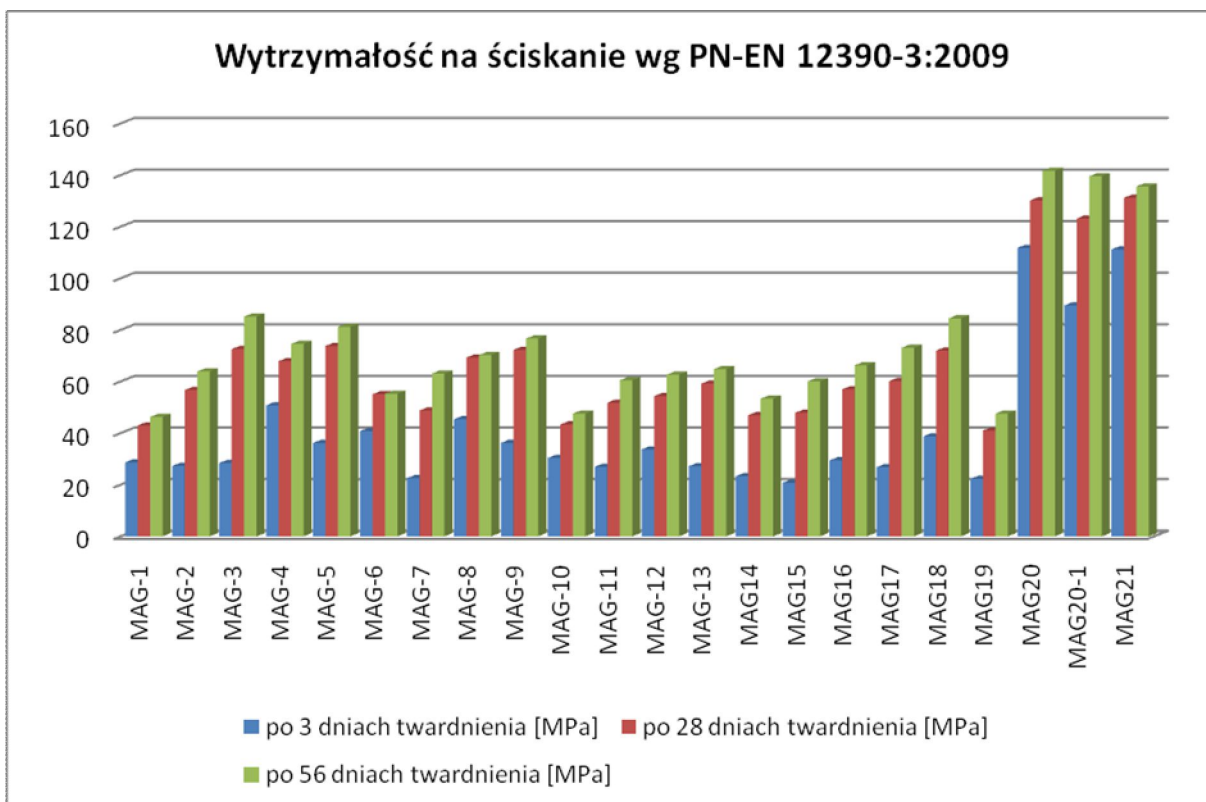
Z wytypowanych recept mieszanki betonowej wykonano prefabrykowane pokrywy studni kanalizacji kablowych o typowych rozmiarach pokrywy ciężkiej 997x597x80mm oraz pokrywy lekkiej 485x485x60 mm . Stosując różne rodzaje opraw ze stali i z żeliwa, a także zbrojenie prętami stalowymi o średnicy od 6 do 12mm. Prefabrykaty wykonano z recept oznaczonych nr 14, 17 , 8, 13, 20. Wytwarzanie prefabrykatów miało miejsce w siedmiu różnych zakładach produkcyjnych, natomiast prototypowe pokrywy z fibrobetonu wysokowartościowego wykonano w laboratorium IBDiM. Pielęgnacja betonu w prefabrykatkach odbyła się w warunkach zakładów prefabrykacji.

Badania obciążeniowe prefabrykatów przeprowadzono zgodnie z PN-EN 124:2000 w celu określenia klasy zwięźczenia (nośności). Stanowisko badawcze pokazano na rys.2. Badanie polegało na pięciokrotnym obciążaniu zwięźczenia do wartości 2/3 obciążenia projektowanego i odciążaniu, a następnie zwiększeniu obciążania aż do osiągnięcia pełnego obciążenia, które powinno być utrzymane przez 30 s. Jednocześnie mierzono ugięcie pokrywy w środku i rejestrowano wyniki pomiarów za pomocą komputerowego systemu akwizycji danych. Normowa klasa zwięźczenia oznacza nośność pokrywy w kN, poddanej działaniu obciążenia statycznego w środku pokrywy podpartej swobodnie na obwodzie.

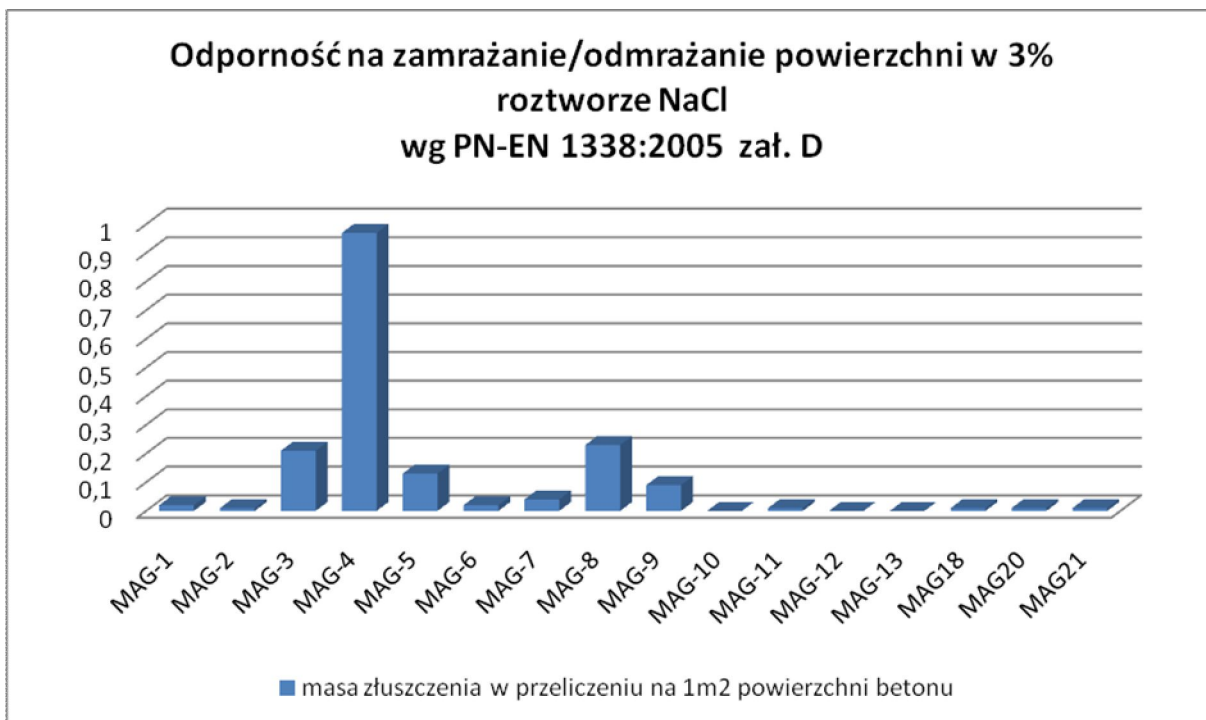
Rys.2

## 3. Wyniki badań

Uzyskane wyniki badań próbek betonu przedstawiono na rys.3-5; zastosowane oznaczenia serii betonu są zgodne z danymi w Tablicach 1-3.



Rys. 3 Wytrzymałość na ściskanie próbek betonu o składzie wg Tablic 1-3

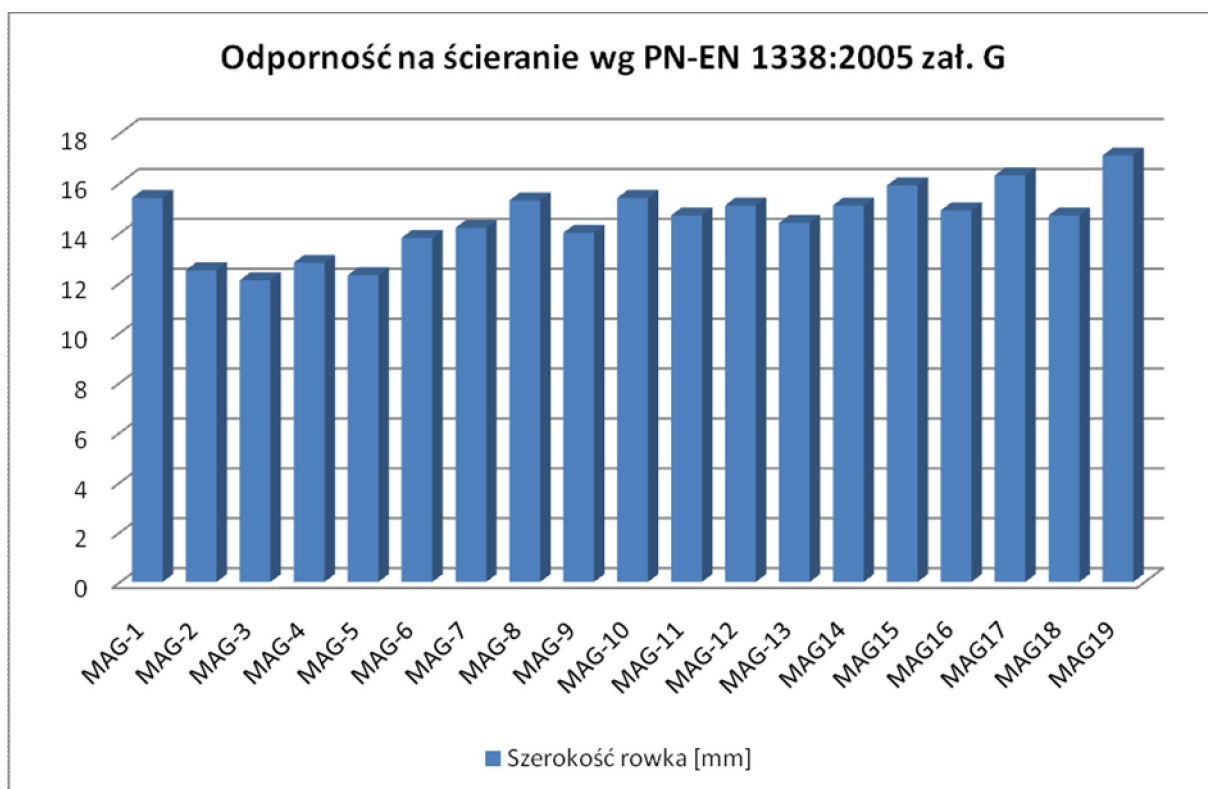


Rys. 4 Odporność na działanie mrozu i roztworu soli odladzającej próbek betonu o składzie wg Tablic 1-3

Spośród betonów kategorii II trwałości najwyższą wytrzymałością na ściskanie charakteryzują się betony wykonane wg recepty nr 16 i 17.

Spośród betonów kategorii I trwałości najwyższą wytrzymałością na ściskanie charakteryzują się betony wykonane wg recepty nr 3, 5, 8 i 9.

Najwyższą odpornością na zamrażanie/rozmarzanie z udziałem soli odladzających charakteryzują się betony wykonane wg recept nr 2, 10, 12 i 13. Najmniejszą odpornością na zamrażanie/rozmarzanie z udziałem soli odladzających charakteryzuje się beton wykonany wg recepty nr 4. Uzyskane wyniki badań (średni ubytek masy <math>< 1,0 \text{ kg/m}^2</math>, żaden pojedynczy wynik nie większy niż <math>1,5 \text{ kg/m}^2</math>) odpowiadają odporności na zamrażanie/rozmarzanie z udziałem soli odladzających 3 (D) wg PN-EN 1338:2005.



Rys. 5 Odporność na ścieranie próbek betonu o składzie wg Tablic 1-3

Najwyższą odporność na ścieranie wykazały betony wykonane wg recept nr 2, 3 i 5. Najniższą odporność wykazały betony wykonane wg recept nr 1, 15 i 17. Uzyskane wyniki badań ( $\leq 20 \text{ mm}$ ) odpowiadają klasie odporności na ścieranie 4 (I) wg PN-EN 1338:2005. Wyższą odpornością na ścieranie charakteryzują się betony wykonane z kruszywami łamanymi. Nie wykazano bezpośredniego wpływu rodzaju cementu na parametr ścieralności.

Uzyskane wyniki badania wytrzymałości i trwałości betonu potwierdziły zgodność z oczekiwanymi właściwościami betonu w dwóch kategoriach trwałości:

- Kategoria II (pokrywy o trwałości min. 10 lat): beton klasy wytrzymałościowej min. C25/30 z kruszywem naturalnym, o stopniu mrozoodporności min. F100 i odporności na ścieranie nie więcej niż 20 mm,

- Kategoria I (pokrywy o trwałości min. 20 lat): beton klasy wytrzymałościowej min. C35/45 z kruszywem łamanym 2-8 mm i 8-16 mm lub łamanym 8-16 mm i naturalnym frakcji 2-8 mm, o odporności na zamrażanie/rozmarzanie z udziałem soli odladzającej  $S_{28} \leq 1,0 \text{ kg/m}^2$  i odporności na ścieranie nie więcej niż 20mm.

Według normy PN-EN 124 wytrzymałość betonu na ściskanie po 28 dniach powinna wynosić dla klasy zwieńczenia B 125 – F 900 – co najmniej 45 MPa, a dla klasy A 15 – co najmniej 25 MPa.

Przeprowadzone wyniki badań nośności pokryw pod obciążeniem statycznym wykazały pewne zróżnicowanie nośności prefabrykatów pochodzących od różnych producentów.

Stwierdzono, że przy tych samych receptach betonu niższą nośność prefabrykatów uzyskuje się przy oprawach żeliwnych - prefabrykaty w oprawach stalowych wykazały relatywnie wyższą nośność. Wpływ składu mieszanki betonowej na nośność prefabrykatów ujawnił się przede wszystkim w zakresie wysokich klas nośności prefabrykatów ciężkich:

- siły niszczące powyżej 500 kN uzyskano dla prefabrykatów wykonanych z fibrobetonu wysokowartościowego wg recept nr 20 i 21,
- siły niszczące w granicach 250-400 kN uzyskano dla prefabrykatów wykonanych z betonu z cementu CEM II/B-S o wytrzymałości na ściskanie co najmniej 55 MPa wg recepty nr 13,
- siły niszczące w granicach 128-244 kN uzyskano dla prefabrykatów wykonanych z betonu bez dodatków wg recepty nr 8 i 13.

W konsekwencji przeprowadzonych badań sformułowano kryteria wykonania [5], przydatne do uruchomienia krajowej produkcji prefabrykatów o właściwościach technicznych umożliwiających znaczące podwyższenie bezpieczeństwa ruchu po nawierzchniach, w których umieszczono studnie kanalizacji kablowej.

#### 4. Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników badań nośności pokryw i kompletnych zwieńczeń można sformułować następujące spostrzeżenia i wnioski.

- Pokrywy wyprodukowane wg recept dla betonów II kategorii trwałości uzyskały klasę zwieńczenia A 15 i B 125.
- Pokrywy wyprodukowane wg recept dla betonów I kategorii trwałości uzyskały klasę zwieńczenia A 15, B 125, C 250 i D 400 (klasa D 400 została uzyskana tylko w przypadku jednej pokrywy, wykonanej z dodatkowym stalowym dnem).
- Klasę zwieńczenia D 400 uzyskano dla pokryw wykonanych z fibrobetonu wysokowartościowego.
- Stosując dotychczas wykorzystywaną konstrukcję pokryw (rodzaj oprawy, ilość i rozmieszczenie prętów zbrojeniowych) i beton klasy wytrzymałościowej C35/45 możliwe jest uzyskanie klasy zwieńczenia co najwyżej C 250.
- Skutecznym rozwiązaniem technicznym prowadzącym do wykonania pokryw odpowiadających normowej klasie zwieńczenia D 400 jest radykalna modyfikacja betonu, prowadząca do podwyższenia wytrzymałości na rozciąganie i uzyskania charakterystyki materiału quasi-ciągłego zamiast kruchego.

#### Informacja dodatkowa:

Badania zostały zrealizowane w ramach Projektu Rozwojowego N R04 0007 04.

### **Publikacje cytowane**

- [1] Z.Czagowiec, M.A.Glinicki, P.Kowalski, Ocena stanu technicznego betonowych pokryw studni kanalizacji kablowej stosowanych w ciągach drogowych, DROGI i MOSTY, nr 3/2009, 5-30
- [2] D.Bebłacz, M.A.Glinicki, Wpływ domieszek i dodatków do betonu na wytrzymałość i trwałość betonu w prefabrykowanych pokrywach studni. w: Beton modyfikowany do dróg i mostów. Seria „S” Studia i materiały, zeszyt 62, IBDiM, Warszawa 2010, 47-56
- [3] M.Gawlicki, Przydatność cementów wieloskładnikowych i dodatków mineralnych do produkcji betonu na pokrywy studzienek kanalizacji kablowej, DROGI i MOSTY, nr 1/2009, 41 – 71
- [4] M.A.Glinicki, Beton ze zbrojeniem strukturalnym, XXV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 10-13 marca 2010, PZITB Gliwice, Tom 2
- [5] Kryteria wykonania i badania pokryw oraz zwieńczeń studni kanalizacji kablowej z betonu zbrojonego, praca zbiorowa pod kier M.A.Glinickiego, Seria wydawnicza I „Informacje, Instrukcje”, zeszyt 82, IBDiM Warszawa 2010





Rys. 1 Typowe uszkodzenia zwieńczeń studni kanalizacji kablowej, zabudowanych w drogach dla pieszych i pojazdów, zaobserwowane w Krakowie i w Warszawie [1]

Rys. 2 Stanowisko do badań obciążeniowych betonowych pokryw studni kanalizacji kablowej zgodnie z normą PN-EN 124:2000

