



DANUTA BEBŁACZ<sup>1)</sup>  
MICHAŁ A. GLINICKI<sup>2)</sup>  
MACIEJ SOBCZAK<sup>3)</sup>  
JOLANTA WOŁOWICZ<sup>4)</sup>

## INVESTIGATION OF THE LOAD BEARING CAPACITY OF PRECAST MANHOLE COVERS TO BE EMBEDDED IN ROAD PAVEMENTS

## BADANIE NOŚNOŚCI PREFABRYKOWANYCH POKRYW STUDNI PRZEZNACZONYCH DO WBUDOWANIA W NAWIERZCHNIE JEZDNI

**STRESZCZENIE.** Betonowe pokrywy studni kanalizacji kablowej, wbudowane w nawierzchnie jezdni drogowych i chodników, często ulegają uszkodzeniom, powodując zagrożenie bezpieczeństwa ruchu drogowego. Dlatego podjęte zostały badania pokryw betonowych o podwyższonej trwałości. Zaprojektowano nowe konstrukcje pokryw i opracowano receptury betonu o podwyższonej odporności na oddziaływania agresywne. Przeprowadzono badania nośności elementów wyprodukowanych w różnych zakładach prefabrykacji na podstawie opracowanych receptur betonu. Przeanalizowano wpływ rodzaju cementu, domieszek chemicznych i zbrojenia rozproszonego na nośność prefabrykatów betonowych. Stwierdzono znaczący wpływ zbrojenia rozproszonego na podwyższenie nośności pokryw.

**SŁOWA KLUCZOWE:** beton, fibrobeton, nośność, pokrywy studni, prefabrykaty.

**ABSTRACT.** Concrete manhole covers of underground cable networks, placed into pavements of roadways and footways, are often subjected to premature damage posing a threat to traffic safety. That is why the investigation was undertaken to increase the durability of precast concrete covers. New concrete mixtures for precast elements as well as the structure of elements (the type of a chassis, the number and arrangement of reinforcement bars) were designed. Experimental research into the load bearing capacity of concrete elements manufactured in multiple precast plants according to the assumed mix design was carried out. The impact of the type of cement, chemical admixtures and fibre reinforcement on the load capacity of precast concrete elements was assessed. The high effectiveness of fibre reinforcement enhancing the load bearing capacity of concrete covers was found.

**KEYWORDS:** concrete, concrete precast elements, fibre-concrete, load capacity, manhole covers.

<sup>1)</sup> Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa; [dbeblacz@ibdim.edu.pl](mailto:dbeblacz@ibdim.edu.pl) (✉)

<sup>2)</sup> Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN i Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa; [mglinic@ippt.gov.pl](mailto:mglinic@ippt.gov.pl)

<sup>3)</sup> Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa; [msobczak@ippt.gov.pl](mailto:msobczak@ippt.gov.pl)

<sup>4)</sup> Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa; [jwolow@ippt.gov.pl](mailto:jwolow@ippt.gov.pl)

## 1. WPROWADZENIE

Studnie kanalizacyjne, zapewniające dostęp do podziemnej sieci kablowej, w obszarach zurbanizowanych często umiejscowione są w obrębie nawierzchni jezdni lub dróg dla pieszych i rowerów. Tradycyjnie pokrywy studni kanalizacyjnych wykonuje się z prefabrykatów betonowych, ułożonych w poziomie jezdni. Ocena stanu technicznego pokryw i zwieńczeń zabudowanych w ciągach drogowych w kilku dużych aglomeracjach miejskich [1] i [2] wykazała, że znacząca część pokryw ma znaczne uszkodzenia, ujawniające się już po jednym roku eksploatacji. Stwierdzono, że około 70 % pokryw wbudowanych w nawierzchnie wykazuje spękania betonu, złuszczenia powierzchni, pęknięcia opraw oraz klawiszowanie pokryw w ramach. Pokrywy będące w wieloletniej eksploatacji nie są trwale oznakowane, więc nie jest możliwe zidentyfikowanie normowej klasy zwieńczenia. Trwałość pokryw często okazuje się niedostateczna, a w konsekwencji pojawiają się zagrożenia bezpieczeństwa użytkowników dróg.

Prefabrykowane pokrywy studni kablowych są na ogół zbudowane z żeliwnej lub stalowej oprawy, wypełnionej betonem zbrojonym prętami stalowymi. Wymagania techniczne dotyczące pokryw i całych zwieńczeń studni kanalizacyjnych określone są w normie PN-EN 124:2000. Na podstawie badania nośności zdefiniowane są klasy zwieńczeń: A 15, B 125, C 250, D 400, E 600 i F 900, odpowiednie do zastosowania w określonych obszarach dróg [2]. Na przykład: klasa A 15 jest dostateczna w obszarach przeznaczonych wyłącznie dla pieszych i rowerzystów, a klasa D 400 dotyczy zastosowań na jezdniach dróg, utwardzonych poboczach oraz parkingach przeznaczonych dla wszystkich rodzajów pojazdów drogowych. Normowe wymagania w odniesieniu do właściwości stosowanego betonu dotyczą jedynie wytrzymałości betonu na ściskanie: co najmniej 45 MPa w przypadku klas B 125 - F 900 oraz co najmniej 25 MPa w przypadku klasy A 15. Nie określono żadnych wymagań trwałościowych, mimo że elementy betonowe umiejscowione w nawierzchni drogowej są poddawane nie tylko obciążeniom mechanicznym, ale też agresywnym oddziaływaniom klimatycznym i oddziaływaniom soli odladzających [3]. W związku z tym podjęto prace badawcze, zmierzające do opracowania nowych rozwiązań materiałowych oraz wykonania elementów prefabrykowanych o odpowiedniej odporności na agresję środowiska i o stosownej nośności. Zakres modyfikacji materiałowych obejmował przede wszystkim zastosowanie różnych rodzajów cementu, zgodnie ze wskazówkami

## 1. INTRODUCTION

Manhole units providing access to underground cable networks in urban areas are frequently placed within road pavements, footways or cycle routes. Traditionally, covers (tops) of manhole are made as precast concrete units that are located at the level of pavement. An assessment of technical condition of precast concrete covers placed into roadways of several large urbanized regions has revealed substantial damage to in checked elements already after one-year operation [1], [2]. Such damage as concrete cracking, surface scaling, fractured frames, and wobbling of the whole covers have been reported in roughly 70 per cent of cases. Moreover, covers being operated for a long time have not been permanently marked, hence it has been impossible to identify their standard class of bearing capacity. The durability of the covers generally turns out to be inadequate. Consequently, threats to traffic safety of the road users may develop.

In most cases precast manhole covers are made of cast iron or steel frame filled with concrete reinforced with steel bars. Technical requirements for covers and complete manhole caps are specified in the standard PN-EN 124:2000. The following classes of tops can be found there: A 15, B 125, C 250, D 400, E 600 and F 900, that are defined on the basis of standard loading tests and dedicated for use in the determined road areas [2]. For instance the class A 15 is sufficient for areas intended for pedestrians and bikers exclusively, while the class D 400 refers to applications on road pavements, hardened verges and parking lots for all kinds of vehicles. Standard requirements with regard to properties of the applied concrete concern only its compressive strength to be at least 45 MPa for the class B 125 to F 900 or 25 MPa for the class A 15. No requirements for durability are specified there, in spite of the fact that concrete elements placed in road pavements are subjected not only to mechanical loading but also to aggressive environmental actions and aggression of de-icing chemicals [3]. Therefore a research project has been undertaken leading to new material solutions for manufacturing of precast concrete elements of suitable resistance to aggressive environments and adequate load bearing capacity. The range of tested materials covered mainly various types of cement, as suggested in [4], additives in the form of ashes out of coal combustion, analogically to [5], and also steel fibres as the dispersed concrete reinforcement [6], [7], in order to increase the strength of concrete and its flexural toughness.

podanymi w [4], a także dodatków popiołów lotnych ze spalania węgla, analogicznie jak w [5]. Zastosowano także włókna stalowe, stanowiące zbrojenie rozproszone [6], [7], w celu podwyższenia wytrzymałości i odporności betonu na pęknięcie.

## 2. OPIS BADAŃ

### 2.1. MATERIAŁY I ELEMENTY PRÓBNE

Stosując koncepcję projektowania betonu na trwałość, wyselekcjonowano właściwe rodzaje cementu, 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 prefabrykacjach drogowych [8]:

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

Zaprojektowano również serie fibrobetonów oraz fibrobetonów wysokowartościowych, tj. wykazujących wzmocnienie przy rozciąganiu. Stosowano trzy rodzaje cementu: CEM I 42,5 R, CEM II/B-S 42,5 N oraz CEM III/A 32,5 N, jak również dwa rodzaje kruszywa grubego frakcji 2-8 mm i 8 - 16 mm: kruszywo łamane - grys granitowy „Gołaszycze” oraz kruszywo otoczkowe. Wykorzystano dwa rodzaje domieszek chemicznych: superplastyfikator oraz domieszkę uplastyczniająco-napowietrzającą. Przyjęto dwa rodzaje włókien stalowych do betonu:

- włókna o długości  $l = 30$  mm i średnicy  $d = 0,6$  mm z haczykowatymi zakończeniami, z drutu stalowego, o wytrzymałości minimalnej 1000 MPa,
- mikrowłókna o długości  $l = 12$  mm i średnicy  $d = 0,1$  mm, proste, ze stali, o wytrzymałości minimalnej 1500 MPa.

W wybranych mieszankach jako dodatek zastosowano fluidalny popiół lotny spełniający wymagania Aprobata Technicznej IBDiM AT/2008-03-1536.

Mieszanki betonowe zostały zaprojektowane metodą doświadczalną [9]. W tablicach 1-3 podano skład zaprojektowanych mieszanek. Wytrzymałość betonu w wieku 3, 28 i 56 dni przedstawiono na Rys. 1a i 1b. Wyniki określenia mrozoodporności betonu F150 lub F100, zgodnie z procedurą opisaną w normie PN-B-03250, podano na Rys. 1c.

Opracowane receptury mieszanek betonowych przekazane zostały do wytypowanych zakładów prefabrykacji,

## 2. DESCRIPTION OF EXPERIMENTAL RESEARCH

### 2.1. MATERIALS AND SPECIMENS

When designing the concrete for durability in intended precast elements, the appropriate types of the following materials were selected: cement, aggregate, chemical admixtures, type II additives, and fibres. Two categories of concrete durability level in the case of structural precast elements for road applications were assumed [8]:

- category I – concrete with min. 20-year durability,
- category II – concrete with min. 10-year durability.

Fibre concrete and high performance fibre reinforced concrete (exhibiting strain-hardening behaviour) were also designed. Three types of cement: CEM I 42.5 R, CEM II/B-S 42.5N and CEM III/A 32.5 N were used. Two types of coarse aggregate were applied: fraction 2-8 mm and fraction 8 - 16 mm of crushed stones (granite from Gołaszycze) and natural gravel aggregate. Two types of chemical admixtures: a super-plasticizer and plasticizing-air-entraining admixture were used. Also two types of steel fibres for concrete were applied:

- hooked fibres 30 mm in length and 0.6 mm in diameter with the tensile strength of min. 1 000 MPa,
- straight micro-fibres 12 mm in length and 0.1 mm in diameter with the tensile strength of min. 1 500 MPa.

In selected mixes an additive based on fluidized bed fly ash as in accordance to the IBDiM Technical Approval No. AT/2008-03-1536 was applied.

Concrete mixes were designed experimentally [9]. The composition is shown in Tables 1-3. The compressive strength of concrete at the age of 3, 28 and 56 days is shown in Fig. 1a and Fig. 1b. Results of the frost-resistance tests, F150 or F100 according to PN-B-03250, are shown in Fig. 1c.

The designed concrete mixtures were passed on to selected precast concrete plants to manufacture the covers of manhole units of two types: the heavyweight cover and the lightweight cover, measuring  $997 \times 597 \times 80$  mm and  $485 \times 485 \times 60$  mm respectively. Various types of steel and cast iron chassis as well as reinforcement with steel bars from 6 mm up to 12 mm in diameter were used (Fig. 2). The results of tests published in [10] were the basis for selection of steel types of the required strength and the required deformation capacity. Controlled tensile tests performed using

Tablica 1. Skład mieszanek betonowych przeznaczonych do wykonania prefabrykatów [kg/m<sup>3</sup>]  
 Table 1. Concrete mix design for precast elements [kg/m<sup>3</sup>]

Oznaczenie serii betonu Designation of concrete series	Cement: zawartość i rodzaj Cement: content and type		Woda Water	Piasek Sand	Kruszywo grube Coarse aggregate		Domieszki chemiczne <sup>*)</sup> Chemical admixtures <sup>*)</sup>	
				0 - 2 mm	2 - 8 mm	8 - 16 mm	SP	U-N
G-8	370	CEM I	166.5	567	756 <sup>***)</sup>	567 <sup>**)</sup>	1.11	–
G-13	370	CEM II/B-S	166.5	473	754 <sup>**)</sup>	526 <sup>**)</sup>	–	0.30
G-14	320	CEM II/B-S	160.0	508	653 <sup>***)</sup>	653 <sup>***)</sup>	–	0.30
G-17	320	CEM III/A	160.0	545	700 <sup>***)</sup>	700 <sup>***)</sup>	0.96	–

Uwagi / Remarks

<sup>\*)</sup> oznaczenia domieszek chemicznych: SP – superplastyfikator, U-N – domieszka uplastyczniająco-napowietrzająca  
 designation of chemical admixtures: SP – superplasticizer, U-N – plasticizing and air-entraining admixture

<sup>\*\*)</sup> grys granitowy „Gołaszyce” / crushed granite “Gołaszyce”

<sup>\*\*\*)</sup> żwir naturalny / natural gravel

Tablica 2. Skład betonu i fibrobetonu z dodatkiem zgodnym z AT/2008-03-1536 [kg/m<sup>3</sup>]  
 Table 2. Concrete and fibre-concrete composition containing an additive in accordance with AT/2008-03-1536 [kg/m<sup>3</sup>]

Oznaczenie serii betonu Designation of concrete series	Cement CEM I 42.5 R	Dodatek: popiół lotny z kotłów fluidalnych Additive: fluidized bed fly ash	Woda Water	Piasek Sand	Grys granitowy Crushed granite aggregate		Włókna stalowe Steel fibres	Domieszka Admixture U-N
				0 - 2 mm	2 - 8 mm	8 - 16 mm		
G-142	383	–	150	492	780	554	–	1.07
G-143	301	76 <sup>T)</sup>	168	478	756	544	–	1.33
G-145	299	76 <sup>K)</sup>	179	490	764	541	–	1.69
G-146	302	77 <sup>T)</sup>	147	476	770	545	102	1.33

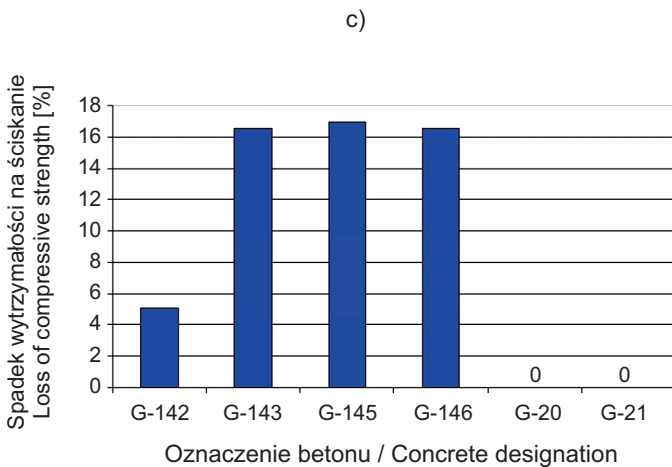
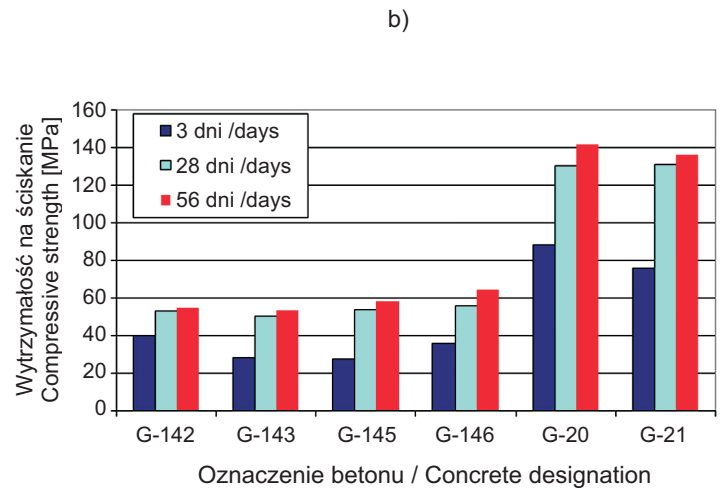
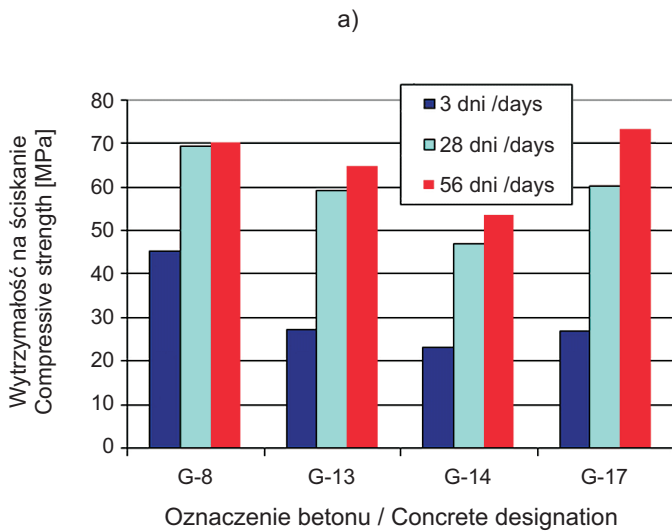
Uwagi / Remarks

<sup>T)</sup> ze spalania węgla brunatnego  
 out of burning lignite coal

<sup>K)</sup> ze spalania węgla kamiennego  
 out of burning bituminous coal

Tablica 3. Skład fibrobetonu wysokowartościowego [kg/m<sup>3</sup>]  
 Table 3. Composition of high-performance fibre concrete [kg/m<sup>3</sup>]

Oznaczenie serii betonu Designation of concrete series	Cement CEM I 42.5 R	Pył krzemionkowy Silica fume	Woda Water	Piasek kwarcowy Quartz sand 0.1 - 0.6 mm	Grys granitowy Crushed granite aggregate 2 - 4 mm	Mikrowłókna stalowe Steel microfibres	Superplastyfikator Superplasticizer
G-20	775	91	182	401	866	182	32
G-21	764	90	180	395	854	225	40



Rys. 1. Wytrzymałość na ściskanie próbek betonu o składzie według Tabelicy 1 (a), Tabelicy 2 i Tabelicy 3 (b) oraz spadek wytrzymałości próbek tych betonów na ściskanie po cyklicznym zamrażaniu i rozmrażaniu (c)

Fig. 1. Compressive strength of concrete specimens: (a) for concrete composition given in Table 1, (b) for concrete composition given in Tables 2 and 3, (c) reduction of the compressive strength after cyclic freezing and thawing of specimens

gdzie wykonano prefabrykowane pokrywy studni kanalizacji kablowych o typowych rozmiarach pokrywy ciężkiej  $997 \times 597 \times 80$  mm oraz pokrywy lekkiej  $485 \times 485 \times 60$  mm. Stosowano różne rodzaje opraw ze stali i z żeliwa, a także zbrojenie prętami stalowymi o średnicy od 6 do 12 mm (Rys. 2). Na podstawie wyników badań opublikowanych w [10] dokonano wyboru gatunków stali, które okazały się najlepsze jednocześnie pod względem wytrzymałości i odkształcalności. W rezultacie kontrolowanych prób rozciągania, przeprowadzonych w maszynie wytrzymałościowej Instron, określono niezbędne charakterystyki mechaniczne stali. Wytwarzanie prefabrykatów miało miejsce w siedmiu różnych zakładach produkcyjnych, natomiast prototypowe pokrywy z fibrobetonu wysokowartościowego wykonano w laboratorium IBDiM.

Instron testing machine provided the required mechanical characteristics of steel. Precast concrete covers were manufactured at seven different industrial plants whereas prototype covers of high performance fibre reinforced concrete were manufactured at IBDiM laboratory.

## 2.2. BEARING CAPACITY TEST METHOD

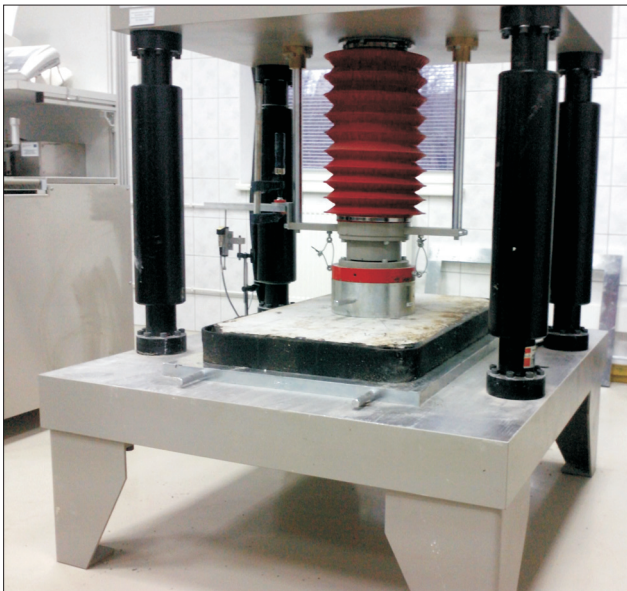
Load tests on precast elements were carried out in compliance with PN-EN 124:2000 in order to determine the class of the cap (load bearing capacity). A concrete cover on a test stand is shown in Fig. 3. The test consisted in cyclic loading of the cover slab up to  $2/3$  of its designed load and unloading (five cycles), then followed by increased loading up to full designed load that was maintained for 30 seconds. The deflection in the middle of cover slab was

Rys. 2. Widok opraw ze stali wraz z prętami zbrojenia stalowego przygotowanych do wykonania betonowych pokryw studni kanalizacyjnych typu ciężkiego

Fig. 2. View of steel frames with a steel bar reinforcement prepared for setting-up the covers for heavyweight manhole units

## 2.2. METODA BADAŃ NOŚNOŚCI

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



## 3. WYNIKI BADAŃ

Wyniki badania nośności pokryw przedstawiono w Tablicach 4 i 5 bez ujawniania producentów pokryw i uszeregowano według wzrastającej wartości siły niszczonej. Na tej podstawie zakwalifikowano prefabrykaty do „potencjalnej klasy nośności”, która w wielu przypadkach była inna niż uzyskana klasa nośności według PN-EN 124. Wynika



measured and recorded simultaneously with a computer-aided data collecting system. The standard class of the cover means the bearing capacity of the cover slab in kN under the static load located in the middle of the cover slab, freely supported along its perimeter.

Rys. 3. Widok betonowej pokrywy na stanowisku badawczym do określenia nośności zgodnie z normą PN-EN 124:2000  
Fig. 3. View of a concrete cover on a test stand for determination of load bearing capacity according to PN-EN 124:2000

## 3. TEST RESULTS

The results of load bearing capacity tests are presented in Table 4 and Table 5 without disclosing names of manufacturers. The results are arranged in the sequence of increasing ultimate load. It was the basis to categorize precast elements into a “potential” bearing capacity class which in many cases was different from obtained capacity class according to PN-EN 124. It resulted from the specificity of the standard loading procedure which was dependent on a designed capacity class. If it turned out to be higher than the actual load capacity, the standard procedure ended up only with a statement of nonconformity with the declared class. On the basis of the ultimate load value one can predict that an appropriately lower class would be met.

to ze specyfikacji procedury normowego obciążania, uzależnionego od zadeklarowanej klasy nośności. Jeżeli zadeklarowana klasy nośności okazała się wyższa niż faktyczna nośność prefabrykatu, to procedura normowa kończyła się jedynie stwierdzeniem niezgodności z deklarowaną klasą. Na podstawie wartości siły niszczącej można jednak przewidywać spełnienie wymagań nośności klasy odpowiednio niższej.

W Tablicach 4 i 5 wprowadzone zostało pozanormowe oznaczenie klasy A 75, zgodnie z propozycjami zawartymi w wytycznych [8]. Jest to nowa klasa zwieńczenia zaproponowana w odniesieniu do powierzchni przeznaczonych wyłącznie dla samochodów osobowych, pieszych i rowerzystów. Zwieńczenia studni kablowych klasy A 75 powinny odznaczać się minimalną nośnością 75 kN określoną w badaniach normowych. Wprowadzenie nowej klasy zwieńczenia było uzasadnione wspomnianymi wcześniej licznymi uszkodzeniami pokryw studni kablowych oraz intencją podwyższenia bezpieczeństwa użytkowników dróg poprzez zwiększenie trwałości pokryw najczęściej używanych. Ma to związek z wysoką agresywnością środowiska oddziałującego na pokrywy betonowe umiejscowione w nawierzchniach, klasyfikowanego jako XF4 zgodnie z zasadami normy PN-EN 206-1.

Stwierdzono zróżnicowanie nośności prefabrykatów wykonanych przez różnych producentów na podstawie nominalnie tych samych receptur mieszanki betonowej. Jest to zrozumiałe z uwagi na użycie lokalnego kruszywa drobnego i miejscowej technologii produkcji. Stwierdzono wszakże regularny wpływ rodzaju oprawy prefabrykatu: przy tych samych recepturach betonu niższą nośność prefabrykatów uzyskano przy oprawach żeliwnych - prefabrykaty w oprawach stalowych wykazały relatywnie wyższą nośność.

Badania nośności prefabrykowanych pokryw ciężkich o wymiarach  $997 \times 597 \times 80$  mm wykazały:

- siły niszczące powyżej 500 kN w przypadku prefabrykatów z fibrobetonu wysokowartościowego o wytrzymałości na ściskanie min. 120 MPa według receptur G-20 i G-21,
- siły niszczące w granicach 250-400 kN w przypadku prefabrykatów z fibrobetonu o wytrzymałości na ściskanie min. 50 MPa według receptury G-146 oraz betonu z cementu CEM II/B-S o wytrzymałości na ściskanie min. 55 MPa według receptury G-13,
- siły niszczące w granicach 128-244 kN w przypadku prefabrykatów z betonu bez dodatków według receptury G-8 i G-13 oraz betonu z dodatkiem fluidalnych popiołów lotnych według receptur G-142, G-143, G-145.

A non-standard designation of the class A 75 was introduced in Table 4 and 5 in accordance with suggestions included in the guidelines [8]. It is a new class of covers introduced only for areas intended for passenger cars, pedestrians and bikers. Manhole covers of the class A 75 should have the minimum load bearing capacity of 75 kN determined using the standard test. Introduction of a new class of covers was justified by the above mentioned numerous damage to manhole covers and the intention to increase safety of road users through an increase in durability of the most frequently used covers. It is related to the exposure of concrete covers placed into road pavement to aggressive environment classified as XF4, according to the clauses in the standard PN-EN 206-1.

The loading tests on heavyweight precast covers measuring  $997 \times 597 \times 80$  mm revealed:

- the ultimate loads over 500 kN in case of high performance fibre reinforced concrete precast elements with the compressive strength of min. 120 MPa according to the recipes G-20 and G-21,
- the ultimate loads in the 250-400 kN range in case of fibre-concrete precast elements with the compressive strength of min. 50 MPa according to the recipe G-146, and concrete precast elements of cement CEM II/B-S with the compressive strength of min. 55 MPa according to the recipe G-13,
- the ultimate loads in the 128-244 kN range in case of additive-free concrete precast elements following the recipes G-8 and G-13, and in case of elements of the concrete with the additive of fluidized bed fly ash after the recipes G-142, G-143, G-145.

Concrete mix design was found adequate for manufacturing the covers of classes from B 125 up to D 400. The influence of concrete mix design on the load bearing capacity of concrete covers was found. The considerable influence of either the steel bar reinforcement or the level of steel strength on the load capacity was not observed.

The majority of tests on lightweight precast covers measuring  $485 \times 485 \times 60$  mm resulted in the statement of conformity to the relevant standard requirements. The covers of designed class C 250 with measured ultimate loads from 167 kN up to 211 kN, i.e. much less than the required load capacity of 250 kN, were an exception to the rule. The load bearing capacity of concrete elements in steel frames turned out to be superior to the capacity of elements in cast iron frames.

Tablica 4. Zestawienie wyników badań nośności pokryw ciężkich  
Table 4. Results of loading capacity tests of heavyweight manhole covers

Potencjalna klasa Potential class	Siła niszcząca Ultimate load [kN]	Skład betonu *) Concrete composition *)	Materiał oprawy, zbrojenie stalowe Mounting material, steel reinforcement	Obciążenie badawcze Design load [kN]	Trwałe ugięcie Residual deflection [mm]	Klasa uzyskana Obtained class
A75	87.0	G-8	CI, P	ng	–	–
	101.1	G-13	CI, R	ng	–	–
	103.0	G-8	CI, P	ng	–	–
	119.0	G-8	CI, P	ng	–	–
	123.0	G-8	CI, P	ng	–	–
	125.3	G-13	CI, P	ng	–	–
B125	128.0	G-8	CI, P	125	1.29	B125
	131.2	G-13	CI, R	ng	–	–
	133.6	G-13	ST, R	ng	–	–
	136.0	G-13	CI, P	125	1.55	B125
	144.0	G-13	STC, R $\phi$ 10, $\phi$ 12	ng	–	–
	144.0	G-13	STC, R $\phi$ 10, $\phi$ 12	ng	–	–
	145.0	G-13	ST, R	125	0.27	B125
	154.1	G-13	CI, P	125	0.91	B125
	155.0	G-8	ST, P	125	0.78	B125
	177.0	G-8	ST, P	125	0.69	B125
	179.0	G-8	ST, P	125	0.79	B125
	180.0	G-13	ST, P	ng	–	–
	181.0	G-13	STC, R $\phi$ 10, $\phi$ 12	ng	–	–
	193.0	G-145	ST, R	125	0.55	B125
	193.8	G-13	ST, P	ng	–	–
	195.3	G-13	CI, R	ng	–	–
	197.0	G-8	ST, P	125	0.58	B125
	197.0	G-143	ST, R	125	0.44	B125
	197.1	G-13	ST, P	ng	–	–
	198.0	G-8	ST, P	125	1.08	B125
	199.0	G-13	CI, R	ng	–	–
	202.0	G-8	ST, P	125	0.65	B125
	203.0	G-13	ST, P	ng	–	–
	204.0	G-143	ST, R	125	0.57	B125
	205.1	G-13	ST, P	ng	–	–
	212.0	G-145	ST, R	125	0,41	B125
	216.0	G-13	ST, P	ng	–	–
	220.0	G-142	ST, R	125	0.41	B125
227.1	G-142	ST, R	125	0.51	B125	
244.2	G-13	CI, R	125	0.86	B125	



Tablica 4. ciąg dalszy  
Table 4. continued

Potencjalna klasa Potential class	Siła niszcząca Ultimate load [kN]	Skład betonu *) Concrete composition *)	Materiał oprawy, zbrojenie stalowe Mounting material, steel reinforcement	Obciążenie badawcze Design load [kN]	Trwałe ugięcie Residual deflection [mm]	Klasa uzyskana Obtained class
C250	250.2	G-13	ST, R	ng	0.46	–
	296.0	G-13	STC, R $\phi$ 10, $\phi$ 12	250	0.45	C250
	313.5	G-13	ST+B, R	250	0.39	C250
	321.0	G-13	ST+B, R	ng	–	–
	325.0	G-146	ST, R	125	0.79	C250
	335.0	G-13	STC, R $\phi$ 10, $\phi$ 12	250	0.77	C250
	348.0	G-13	ST, R	ng	0.37	–
	352.0	G-13	ST, R	ng	0.29	–
	384.0	G-13	STC, R $\phi$ 10, $\phi$ 12	250	0.40	C250
401.0	G-13	ST, R	ng	0.22	–	
D400	511.7	G-21	ST, R	400	2.08	D400
	514.0	G-21	ST, P	400	1.03	D400
	524.1	G-21	ST, P	400.1	1.68	D400
	530.0	G-21	ST, P	400	1.22	D400
	544.0	G-21	ST, R	400	1.80	D400
	548.0	G-20	ST, P	400	1.06	D400
	551.0	G-20	ST, P	400	1.24	D400
	556.4	G-13	CI+BR	400	0.01	D400
558.0	G-20	ST, P	400	1.43	D400	

Uwagi / Remarks

\*) oznaczenie składu betonu zgodnie z Tablicami 1 - 3 / composition of concrete according to Tables 1 to 3,

CI – żeliwo / cast iron, CI+BR – żeliwo + dno i żebra / cast iron + ribs and bottom plate, ST – stal / steel,

ST+B – stal + stalowe dno / steel + steel bottom plate,

STC – ceownik stalowy / steel profile C, P – pręty gładkie / smooth bars, R – pręty żebrowane / ribbed bars,

– brak danych / no data, ng – projektowane obciążenie nie zostało osiągnięte / design load not achieved

Opracowane receptury mieszanek betonowych są więc odpowiednie do wykonania pokryw klasy od B 125 do D 400. Stwierdzono uzależnienie nośności pokryw od składu betonu. Nie odnotowano zasadniczego wpływu użebrowania prętów zbrojeniowych ani wytrzymałości stali.

Badania nośności prefabrykowanych pokryw lekkich o wymiarach 485 × 485 × 60 mm wykazały w większości zgodność z wymaganiami normowymi nośności. Wyjątkiem były pokrywy projektowanej klasy C 250: zmierzone siły niszczące wynosiły od 167 do 211 kN, zatem były znacznie niższe niż wymagane obciążenie 250 kN. Stwierdzono wyższą nośność prefabrykatów w oprawach stalowych niż prefabrykatów w oprawach żeliwnych.

The high effectiveness of fibre-reinforcement resulting in the increased load bearing capacity was observed. Positive effects of fibre reinforcement could be even more evident in case of dynamic loads. It was shown by L. Kwaśniewski [11] with the use of LS-DYNA program for computer simulations of loads acting on precast manhole cover placed into road pavement. An analysis of loading action induced by a wheel running over a concrete cover placed on a pavement revealed the presence of tensile stresses in the whole precast element as opposed to the case of a static loading. Such a distribution of tensile stresses in concrete provided a justification for an increase of tensile strength and for high deformation capacity (a pseudo-elastic characteristics) of concrete by the use of fibre reinforcement.

Tablica 5. Zestawienie wyników badań nośności pokryw lekkich  
Table 5. Results of loading capacity tests of lightweight manhole covers

Potencjalna klasa Potential class	Siła niszcząca Ultimate load [kN]	Skład betonu *) Concrete composition *)	Materiał oprawy, zbrojenie stalowe Mounting material, steel reinforcement	Obciążenie badawcze Design load [kN]	Trwałe ugięcie Residual deflection [mm]	Klasa uzyskana Obtained class
A15	60.8	G-14	CI, P	15	0	A15
	62	G-17		15	0.03	A15
	71	G-14		15	0.02	A15
	71	G-17		15	0.04	A15
	74	G-14		15	0.02	A15
	74	G-14		15	0.01	A15
A75	75	G-17	CI, P	15	0	A15
	78	G-14		15	0.01	A15
	78	G-17		15	0.04	A15
	80	G-14		ng	–	–
	80	G-14		15	0.10	A15
	81	G-17		15	0.02	A15
	82	G-14		ng	–	–
	82	G-14		ng	–	–
	86	G-14		15	0.02	A15
	86	G-14		15	0.02	A15
	87	G-14		15	0	A15
	91	G-17		ng	–	–
B125	139	G-14	ST, P	125	0.67	B125
	139	G-17		125	0.58	B125
	139	G-17		125	0.74	B125
	143	G-17		125	0.76	B125
	144	G-14		125	0.73	B125
	148	G-17		125	0.90	B125
	152	G-14		125	0.47	B125
	152	G-14		125	0.68	B125
	156	G-17		125	1.08	B125
	158	G-14		125	0.86	B125
B125	167.4	G-14	ST, R j12	ng	–	–
	205.4	G-14		ng	0.99	–
	208.2	G-14		ng	0.87	–
	210.2	G-14		ng	0.60	–
	214.6	G-14		ng	0.64	–
	220.9	G-14		ng	0.29	–

Uwagi / Remarks

\*) oznaczenie składu betonu zgodnie z Tablicą 1 / composition of concrete according to Table 1,

CI – żeliwo / cast iron, ST – stal / steel, P – pręty gładkie / smooth bars, R – pręty żebrowane / ribbed bars,

ng – projektowane obciążenie nie zostało osiągnięte / design load not achieved, – brak danych / no data

Ustalono wysoką efektywność zbrojenia rozproszonego stosowanego w celu podwyższenia nośności pokryw prefabrykowanych. Efekt zbrojenia rozproszonego może być jeszcze bardziej znaczący w wypadku oddziaływań dynamicznych. Wykazały to symulacje komputerowe przy wykorzystaniu programu LS-DYNA, przeprowadzone przez L. Kwaśniewskiego [11], dotyczące prefabrykowanych pokryw studni, zamontowanych w nawierzchni drogowej. Na podstawie analizy oddziaływania przejeżdżającego koła pojazdu na pokrywę w nawierzchni stwierdzono m.in. występowanie naprężeń rozciągających w betonie w całym prefabrykacie, w odróżnieniu od przypadku obciążenia statycznego. Taki rozkład naprężeń w betonie uzasadnia potrzebę zwiększenia wytrzymałości na rozciąganie i uzyskanie pseudoplastycznej charakterystyki betonu poprzez zastosowanie zbrojenia włóknami.

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań nośności prefabrykowanych pokryw betonowych można sformułować następujące wnioski:

1. Zastosowanie opracowanych receptur na beton o podwyższonej trwałości okazało się przydatne do uzyskania nośności prefabrykatów sięgającej do klasy C 250. Klasę zwięźnienia D 400 uzyskano dla pokryw wykonanych z fibrobetonu wysokowartościowego.
2. Stwierdzono zróżnicowanie nośności prefabrykatów wykonanych przez różnych producentów na podstawie nominalnie tych samych receptur mieszanki betonowej. Niższą nośność prefabrykatów uzyskano w przypadku opraw żeliwnych, natomiast prefabrykaty w oprawach stalowych wykazały relatywnie wyższą nośność.
3. Pokrywy wyprodukowane w zakładach prefabrykacji na podstawie opracowanych receptur mieszanek betonów I i II kategorii trwałości uzyskały odpowiednio klasy zwięźnienia A 15, B 125, C 250 oraz A 15, B 125.
4. Skutecznym rozwiązaniem technicznym prowadzącym do wykonania pokryw odpowiadających normowej klasie zwięźnienia D 400 jest zastosowanie fibrobetonu z włóknami stalowymi, prowadzące do podwyższenia wytrzymałości na rozciąganie betonu i do uzyskania charakterystyki materiału quasi-ciagliwego.

#### INFORMACJE DODATKOWE

Praca została wykonana w ramach Projektu Rozwojowego nr N R04 0007 04.

#### 4. CONCLUSIONS

On the basis of performed tests of load bearing capacity of concrete covers the following conclusions can be drawn:

1. The designed concrete recipes with an increased durability were suitable for obtaining precast elements with the load bearing capacity up to the class C 250. The load bearing capacity of the class D 400 was attained for covers manufactured using high performance fibre reinforced concrete.
2. The load bearing capacity of precast elements based on nominally the same concrete mix design was found to be different for various manufacturers. The relatively lower load bearing capacity of precast elements with cast iron frames in comparison with elements with steel frames was found.
3. Covers manufactured at precast plants in accordance with the designed concrete mix design of the durability categories I and II obtained the classes A 15, B 125, C 250, and A 15, B 125 respectively.
4. The technically effective solution for manufacturing of covers to match the standard class D 400 requirements is the application of the steel fibre concrete to enhance the tensile strength of concrete and to provide a quasi-ductile material characteristics instead of a brittle one.

#### ACKNOWLEDGEMENT

The research was supported by Research and Development Project No. N R04 0007 04

#### BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] Czagowiec Z., Glinicki M.A., Kowalski P.: Ocena stanu technicznego betonowych pokryw studni kanalizacji kablowej stosowanych w ciągach drogowych. DROGI I MOSTY, **8**, 3, 2009, 5 - 30
- [2] Beblacz D., Glinicki M.A.: Wpływ domieszek i dodatków do betonu na wytrzymałość i trwałość betonu w prefabrykowanych pokrywach studni. IBDiM, Seria S „Studia i materiały” – Beton modyfikowany do dróg i mostów, **62**, Warszawa, 2010, 47 - 56
- [3] Delatte N.: Concrete pavement design, construction and performance. Taylor and Francis, London and New York, 2008
- [4] Gawlicki M.: Przydatność cementów wieloskładnikowych i dodatków mineralnych do produkcji betonu na pokrywy studzienek kanalizacji kablowej. DROGI I MOSTY, **8**, 1, 2009, 41 - 71

- [5] *Dhir R.K., Jones M.R.*: Development of pfa use in pre-cast concrete manhole units. *Cement and Concrete Research*, **22**, 1992, 35 - 46
- [6] *Glinicki M.A.*: Ocena i projektowanie fibrobetonów na podstawie wytrzymałości równoważnej. *DROGI I MOSTY*, **1**, 3, 2002, 5 - 36
- [7] *Bentur A., Mindess S.*: Fibre reinforced cementitious composites. Taylor and Francis, London and New York, 2007
- [8] *Glinicki M.A., Rafalski L., Bełłacz D., Kamiński P., Czagowiec Z., Kowalski P., Dmowski E.*: Kryteria wykonania i badania pokryw oraz zwieńczeń studni kanalizacji kablowej z betonu zbrojonego. Seria I „Informacje, Instrukcje”, 82, IBDiM, Warszawa 2010
- [9] *Bełłacz D., Glinicki M.A., Kamiński P.*: Właściwości techniczne betonu modyfikowanego domieszkami i dodatkami, przeznaczonego na prefabrykowane pokrywy studni wbudowanych w nawierzchnie. VI Konferencja „Dni Betonu – Tradycja i Nowoczesność”, Wisła 11-13.10.2010, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków, 2010, 851 - 859
- [10] *Glinicka A.*: Badania osiowego rozciągania prętów z wybranych gatunków stali zbrojeniowych. Logitrans – VII Konferencja Naukowo-Techniczna Logistyka, Systemy Transportowe, Bezpieczeństwo w Transporcie, 2010, 1581 - 1588
- [11] *Kwaśniewski L.*: Analiza dynamiczna oddziaływania ruchomego koła na pokrywę studni kablowej. *DROGI I MOSTY*, **9**, 1, 2010, 77 - 98

## NORMY / STANDARDS

PN-EN 124:2000 Zwieńczenia wpustów i studzienek kanalizacyjnych do nawierzchni dla ruchu pieszego i kołowego. Zasady konstrukcji, badania typu, znakowanie, kontrola jakości

PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność

PN-B-03250: 1988 Beton zwykły