Sena: BUDOWNICTWO z. 81

Nr kol. 1292

Jan KUBICA

PEWNE ASPEKTY PROJEKTOWANIA ELEMENTÓW Z BETONU EPOKSYDOWO-ŻWIROWEGO W ŚWIETLE BADAŃ PŁYT FILTRACYJNYCH

Streszczenie. Przedstawiono przeprowadzone badania niszczące 7 płyt filtracyjnych oraz elementów towarzyszących, wykonanych z betonu epoksydowo-żwirowego. Omówiono specyfikę materiału oraz jej wpływ na projektowanie. Podano zagrożenia, jakie kryje w sobie ścisłe stosowanie procedur i wzorów normy PN-84/B-03264 do obliczania ugięć niezbrojonych zginanych elementów z tego materiału.

SOME ASPECTS OF DESIGNS ON THE GRAVEL-EPOXY RESIN CONCRETE ELEMENTS IN THE LIGHT OF INVESTIGATION OF THE FILTER PLATES

Summary. The aim of this paper is to present the results of the destructive tests on 7 gravel-epoxy resin concrete filter plates with concurrent elements. The specific of this material and their influence on design has been discussing. The threats relevant to use the reinforced structures code PN-84/B-03264 to calculation of the deflection of unreinforced resin concrete bending elements has been describing.

EINIGE ASPEKTE IN ENTWURF DER EPOXY-KIES-BETON ELEMENTE IM LICHTE DER UNTERSUCHUNGEN DER FILTER PLATTEN

Zusammenfassung. In der vorliegenden Arbeit ist die zerstörende Untersuchungen der 7 epoxy-kiesbeton filter Platten mit begleiten Elementen vorgestellt. Die Eigenart des Materiales und seines Einfluß auf der Entwurfung werden besprochen. Die Gefahrdungen für der Durchbiegungen der nichtbewehrungen epoxy-kiesbeton Elementen nach PN-84/B-03264 werden auschanlich dargestellt.

1. WPROWADZENIE

Budowa pierwszej w kraju instalacji odsalania wód dołowych (dla KWK "Dębieńsko") bazującej na licencyjnej szwedzkiej technologii wymagała specjalnych płyt filtracyjnych o dużej nośności i odporności chemicznej na solankę o $pH = 4 \div 5$. Rozwiązanie licencyjne przewidywało płyty żelbetowe, zbrojone stalą kwasoodporną. W zamian opracowane zostały w Laboratorium Wydziału Budownictwa niezbrojone płyty filtracyjne z betonu epoksydowożwirowego [1,2] spełniające założone wymagania.

Z betonu tego wykonany został (przez firmę BUDEKO z Gliwic) komplet płyt na dna dyszowe filtrów pośpiesznych dla Zakładu Odsalania Wód Dołowych KWK "Dębieńsko". Kształt oraz wymiary geometryczne płyt przyjęto z rozwiązania szwedzkiego (rys.1).

Wobec braku w dostępnej w kraju literaturze dotyczącej betonów żywicznych [3,4,5,6] jakichkolwiek wskazówek i wzorów pozwalających poprawnie zaprojektować tego typu niezbrojone elementy zginane, zdecydowano się projektować je zgodnie z obowiązującą normą żelbetową [7]. Zdając sobie sprawę, że nie ma pełnej analogii pomiędzy zachowaniem się "klasycznego" betonu żwirowego i betonu epoksydowo-żwirowego, postanowiono zweryfikować wyniki obliczeń przeprowadzając badania kilku płyt w skali naturalnej.

Oprócz określenia własności opracowanego betonu epoksydowo-żwirowego na próbkach normowych (kostki sześcienne $150 \times 150 \times 150$ mm - próbki typu KK oraz walce o średnicy $\phi = 150$ mm i wysokości h = 300 mm - próbki typu PW) zdecydowano się wykonać przed rozpoczęciem produkcji seryjnej badanie dwóch płyt filtracyjnych w skali naturalnej, podpartych i obciążonych w sposób zbliżony do warunków rzeczywistych, panujących w komorze filtracyjnej. Ponadto, po rozpoczęciu produkcji seryjnej, z każdej partii liczącej około 20 ÷ 30 wyprodukowanych płyt wybierano jedną płytę i poddawano badaniom kontrolnym. W ten sposób przebadano jeszcze dodatkowo 5 płyt. Do każdej płyty wykonano elementy kontrolne w postaci beleczek.

2. CHARAKTERYSTYKA BADANYCH ELEMENTÓW

Przebadano łącznie 7 niezbrojonych płyt filtracyjnych o kształcie oraz wymiarach geometrycznych jak na rys. 1.

 $\begin{array}{c}
\Phi \oplus \Phi \oplus \Phi \oplus \Phi \oplus \Phi \oplus \Phi \\
\oplus \oplus \Phi \oplus \Phi \oplus \Phi \oplus \Phi \oplus \Phi & \oplus \Phi \\
\oplus \oplus \Phi \oplus \Phi \oplus \Phi \oplus \Phi \oplus \Phi & \oplus & \oplus & \oplus & \oplus \\
\end{array}$ A x133=798 \oplus 965 $\oplus \oplus \oplus \oplus \oplus$ $\oplus \oplus$ \oplus \oplus 8×110=880 85 85 I 1050





Rys.1. Kształt oraz wymiary gabarytowe płyty Fig.1. Form and overall dimensions of plate 83

A

łowych, elementami kontrolnymi były beleczki pełne o wymiarach 100×100×520 mm (typ BP). Natomiast do każdej płyty z produkcji seryjnej wykonywano, ze względów ekonomicznych, jako elementy kontrolne, beleczki o wymiarach 70,7×70,7×220 mm (typ BN).

3. ZASTOSOWANA TECHNIKA BADAN

Wszystkie elementy, zarówno płyty filtracyjne, jak i beleczki kontrolne, obciążano w sposób doraźny. Płyty oparto na sześciu podporach, co odpowiadało rzeczywistemu podparciu elementu w komorze filtracyjnej przy obciążeniu "od dołu" (płukanie), które zostało przyjęte (zgodnie z założeniami technlogicznymi) jako najbardziej niekorzystne. Schemat stanowiska badawczego pokazano na rys. 2.



Rys.2. Schemat stanowiska badawczego Fig.2. Scheme of the test stand

Elementy badawcze "1" obciążano obciążeniem równomiernie rozłożonym, realizowanym przez rozłożenie siły skupionej (wymuszanej siłownikiem hydraulicznym "2") poprzez odpowiedni układ trawersów "3", na 9 równych co do wartości sił składowych. Każda z tych sił działała w środku geometrycznym blachy obciążającej "4". W trakcie badania mierzono za pomocą czujników indukcyjnych ugięcia płyty w 14 punktach pomiarowych.

Beleczki kontrolne badano w schemacie belki wolnopodpartej. Elementy typu BP obciążano dwoma siłami skupionymi, działającymi w odległości 1/3 ich rozpiętości, licząc o podpory, natomiast beleczki typu BN obciążano jedną siłą skupioną, przyłożoną w środku rozpiętości elementu.

4. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Podstawowe wyniki badań płyt filtracyjnych oraz towarzyszących beleczek kontrolnych przedstawiono w tablicy.

Tablica 1

SYMBOL	PŁYTY		BELECZKI					
PŁYTY	P _n ^{obs}	σ ^{obs} _{pl}	O BP 1)	$\underline{\sigma_{pi}^{obs}}$	f_{max}	<u>fmax</u>	f_u	<u>f_max</u>
	[kN]	[MPa]	[MPa]	Q Bb	[mm]	I _o	[mm]	lo
1	2	3	4	5	6	- 7	8	9
PF-Z/nz-1 ²⁾	180	16,74	16,14	1.04	4.09	1/248	2.14	1/474
PF-Z/nz-2 ²⁾	175	16,27	15,84	1,03	4,10	1/248	2,14	1/474
PF-Z/bz-3 ³⁾	145	13,48	14,16	0,93	3,85	1/263	2,38	1/426
PF-Z/bz-4 ³⁾	151	14,04	14,03	1,00	3,55	1/283	2,05	1/495
PF-Z/bz-5 ³⁾	170	15,81	14,84	1,06	3,77	1/269	1,93	1/526
PF-Z/bz-6 ³⁾	180	16,74	14,67	1,14	5,10	1/199	2,62	1/387
PF-Z/bz-7 ³⁾	180	16,74	14,47	1,16	4,30	1/236	2,34	1/434

Wyniki badań płyt oraz beleczek kontrolnych

¹⁾ - Przy obliczaniu naprężeń niszczących w betonie płyt przyjęto przekrój betonowy netto, z uwzględnieniem osłabienia otworami dysz filtracyjnych.

²⁾ - Płyty do badań rozpoznawczo-materiałowych.

³⁾ - Płyty pochodzące z produkcji seryjnej.

Podano wartości siły niszczącej (Pnobs) poszczególne płyty, odpowiadające tym siłom wartości niszczących naprężeń rozciągających w betonie płyty (on obs), przy przyjęciu liniowej zależności obciążenie - odkształcenie (σ - ϵ). Dalej przedstawiono wartości napreżeń rozciągających w betonie (σ_{RP}^{obs}) w momencie zniszczenia beleczek kontrolnych. Z uwagi na fakt, że badano beleczki kontrolne dwu różnych typów, w celu ujednolicenia charakteru wyników, we wcześniejszych badaniach towarzyszących określono współczynnik korelacji (k) pomiędzy beleczkami typu BP oraz BN, wynoszący: $k = \sigma_{BP}^{obs} / \sigma_{BN}^{obs} = 0,345$. Umożliwiło to w przypadku beleczek typu BN podanie przeliczonych wartości naprężeń jak dla elementów typu BP. W kolumnie "5" tablicy określono dla porównania stosunek napreżeń niszczących w płycie do wielkości naprężeń w betonie beleczek ($\sigma_{pl}^{obs} / \sigma_{BP}^{obs}$). Można łatwo zauważyć, że jest on bliski jedności. Ponadto podano wartości maksymalnych ugięć (fmay) poszczególnych płyt, zanotowanych każdorazowo tuż przed ich zniszczeniem oraz podano stosunek tych ugięć do rozpiętości płyty (fmarlo), który waha się w granicach 1/200 ÷ 1/280. Kolumna "8" zawiera wartości ugięć (f_u) odpowiadających wielkości momentu zginającego od działania obciążeń eksploatacyjnych. Stosunki tych ugięć do rozpiętości płyty mieszczą się w granicach 1/380 + 1/530.

Wykresy średnich ugięć w środku rozpiętości poszczególnych płyt w zależności od wartości momentu zginającego przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Wykresy ugięć w środku rozpiętości elementów. M_u - moment zginający od obciążeń eksploatacyjnych

Fig.3. Diagrams of deflections in the middle of the span of elements. M_u - bending moment of service loads

Wykresy te mają wyraźnie liniowy charakter, a zaobserwowana każdorazowo wartość momentu niszczącego jest znacznie większa od wielkości momentu (M_u) odpowiadającemu obciążeniu eksploatacyjnemu.

Natomiast na rys.4 pokazano wykres średni z badań wszystkich 7 płyt z naniesionymi wielkościami odchylenia od wartości średniej.



- Rys.4. Wykresy moment ugięcie : 1 średni z badań 7 płyt; 2 dla ugięć obliczonych wg
 [4] dla parametrów materiałowych z badań próbek typu KK i PW; 3 dla ugięć obliczonych wg
 [4] dla parametrów materiałowych z badań beleczek typu BP i BN
- Fig.4. Diagrams moment deflection : 1 average from tests of 7 plates; 2 for calculated by [4] values of deflection and material properties from tests of the specimens type KK and PW; 3 - for calculated by [4] values of deflection and material properties from tests of the beams type BP and BN

Ponadto zależność tę porównano z wykresami, w których ugięcia obliczano wg wzorów podanych w normie [7] dla wartości parametrów materiałowych wyznaczonych z badań próbek normowych (typu KK i PW) - wykres "3" oraz parametrów materiałowych wyznaczonych z badań beleczek (typu BP i BN) - wykres "2".

Wykres średni z badań ("1") nie wykazuje charakterystycznego dla zależności obliczeniowych ("2" i "3") załamania w momencie zmiany fazy pracy przekroju z fazy

sprężystej I na fazę przejściową Ia. Analizowany materiał zachowuje się jednofazowo, tzn. po fazie sprężystej ulega zniszczeniu w przypadku elementów niezbrojonych lub przechodzi od razu w fazę II w elementach zbrojonych. Poza tym obliczanie ugięć, zarówno przy założeniu parametrów materiałowych wyznaczonych z badań próbek normowych, jak i badań beleczek wiąże się z dużym ich niedoszacowaniem. Jest to zjawisko dla projektanta dość niepokojące. Niedoszacowanie to waha się (por. rys.5) od $60 \div 75\%$ - przy przyjęciu danych z badań próbek normowych do $25 \div 40\%$ - przy przyjęciu danych materiałowych z badań beleczek.



Rys.5. Wykresy zależności moment zginający - f_{ca}/f_{test} dla ugięć obliczonych wg [4] dla parametrów materiałowych z badań :1 - próbek typu KK i PW; 2 - beleczek typu BP i BN

Fig.5. Diagrams of the relationship bending moment - f_{cal}/f_{test} for values of deflection calculated by [4] for material properties from tests : 1 - specimens type KK and PW; 2 - beams type BP and BN

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania płyt filtracyjnych w skali naturalnej potwierdziły w pełni przydatność opracowanego betonu epoksydowo-żwirowego (z zastosowaniem jako rozcieńczalnika ksylenu) do wykonywania niezbrojonych płyt na dna filtrów pośpiesznych dla zakładów odsalania wód kopalnianych. Płyty wykazywały zarówno wystarczającą nośność (zapas sięgał 60 + 80 % - por. rys.4), jak i dużą sztywność ($f_u/l_0 = 1/380 = 1/530$ - por. tablica).

Ponadto stwierdzono, że w przypadku prowadzenia produkcji seryjnej bieżącą kontrolę wykonywanych płyt można prowadzić poprzez badanie niewielkich rozmiarów beleczek kontrolnych (np. typu BN), uzyskując wystarczającą dokładność.

Opracowany beton epoksydowo-żwirowy posiada typowe (por. prace Czarneckiego [3,4] oraz Hopa [5,6]) własności, charakterystyczne dla tego typu materiału i znacznie się różniące z własnościami "klasycznego" betonu żwirowego. Cechuje go bardzo duża wytrzymałość na ściskanie (ok. 80 MPa), której towarzyszy jednocześnie wysoka wartość wytrzymałości na rozciąganie (ok. 14.5 MPa). W relacji do wytrzymałości na ściskanie moduł sprężystości jest znacznie mniejszy (ok. 18 700 MPa), niż wynikałoby to przy przyjęciu analogii do betonu żwirowego.

Konfrontacja rezultatów przeprowadzonych badań z wielkościami obliczanymi wg wzorów i procedur normy [7] potwierdza całkowitą jej nieprzydatność (czego można sie było spodziewać) do projektowania niezbrojonych elementów zginanych z tego typu betonu. Jak stwierdzono, dotyczy to zarówno rodzaju próbek i wzorów do wyznaczania paramerów wytrzymałościowych, jak i sposobu obliczania ugięć. Wyznaczanie parametrów wytrzymałościowych na próbkach normowych (kostkach sześciennych i walcach) prowadzi, jak stwierdzono, do całkowicie błędnych wyników, a zaobserwowane bardzo duże niedoszacowanie wielkości ugięć jest ze względów projektowych bardzo niebezpieczne. Niestety, w krajowej literaturze brak jest wzorów i procedur (o czym była już wcześniej mowa), pozwalających projektować konstrukcyjne, niezbrojone elementy nośne z tego typu betonów. Jest to bardzo poważna luka. Jedynie Hop w swej pracy [5] podaje wzory do obliczania sztywności elementów zginanych, lecz dotyczy to belek zbrojonych. Wzory te są całkowicie nieprzydatne do projektowania elementów niezbrojonych.

Reasumując, należy stwierdzić, że przy projektowaniu elementów zginanych (szczególnie niezbrojonych) z opracowanego betonu epoksydowo-żwirowego należy zachować daleko posuniętą ostrożność. Stosowanie wzorów i procedur zawartych w normie żelbetowej [7] jest raczej mało sensowne. Wydaje się być celowe, szczególnie w przypadku elementów produkowanych w większych ilościach, przeprowadzenie każdorazowo odpowiednich badań laboratoryjnych, o ile jest to możliwe w skali naturalnej.

Należy również podkreślić, że istnieje uzasadniona potrzeba prowadzenia prac, które by doprowadziły do sformułowania pełnych zasad projektowania elementów konstrukcyjnych z betonów żywicznych.

LITERATURA

- Maćkowski R.: Płyty z betonu żywicznego na dna dyszowe filtrów pospiesznych. XXXVIII Konferencja Naukowa PAN i KN PZiTB, Krynica 1992, t.3, s.49 ÷ 54.
- [2] Kubica J.: Płyty filtracyjne z betonu epoksydowo-żwirowego. IV Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Nowe rozwiązania konstrukcyjne i technologiczne w budownictwie betonowym. Wrocław - Szklarska Poręba, 1994, Referaty, s. 103-108.
- [3] Czarnecki L.: Betony żywiczne. Arkady, Warszawa 1982.
- [4] Czarnecki L., Skwara J., Szwarc M.: Zastosowania betonów żywicznych. Z serii: Problemy Budownictwa, COIB, Warszawa 1978.
- [5] Hop T.: Betony polimerowe. Tom 1 i 2. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1992.
- [6] Hop T.: Betony modyfikowane polimerami. Arkady, Warszawa 1976.
- [7] PN-84/B-03264. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie. Wydawnictwa Normalizacyjne "ALFA", Warszawa 1984.

Recenzent: Dr hab.inż. Lech Czarnecki Prof. Politechniki Warszawskiej

Wpłyneło do Redakcji 20.06.1995 r.

Abstract

Building of the first (in Poland) installation to water desalination for Coal Mining "Debiensko" has been requiring the special type of filter plates. According to Swedish technology, the plates should be making from reinforced concrete with acid resistance reinforcement. Interchangeably, in Labour of Faculty of Civil Engineering, the special resm concrete filter plates were well up. In this paper the results of the destructive tests of 7 gravelepoxy resin concrete plates (shape and overall dimensions - see Fig.1) with concurrent elements (beams of two types) were presenting. The scheme of the test stand has been showing in Fig.2. In Fig.3 the diagrams of deflections in the middle of the span of plates have been presenting. The relationships Moment - deflection (average values) for test (curve "1") and calculated values (material properties from tests standard specimens - curve "2" and bending tests of beams - curve "3") have been describing in Fig.4. The moment - f. f. relationships were presenting. The investigations have been showing the considerabling bending strength and high stiffness of the filter plates. Epoxy-resin concrete has high compressive strength, but low value of the modules of elasticity. It causes the problems with using to calculation by code [4] the deflections of unreinforced resin concrete bending elements. The calculating values of the deflections are 25-75% lower then from the test once.