

Marek WĘGLORZ\*  
Politechnika Śląska

## WPLYW DESKOWAŃ SELEKTYWNIE PRZEPUSZCZALNYCH NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE POWIERZCHNI BETONU

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono nowoczesną koncepcję podwyższenia trwałości powierzchni betonu przez betonowanie w deskowaniach selektywnie przepuszczalnych. Przedstawiono ideę nowej technologii oraz niektóre wyniki badań właściwości fizycznych powierzchni betonu formowanych w DSP w porównaniu z tradycyjnym deskowaniem ze sklejki.

## EFFECTS OF CONTROLLED PERMEABILITY FORMWORKS ON MECHANICAL NEAR-SURFACE PROPERTIES OF CONCRETE

**Summary.** In this paper the new idea of increasing durability of concrete surface by means Controlled Permeability Formworks was presented. The concept of the new technology and some results of research on mechanical properties of the concrete surfaces formed in CPF have been presented with comparison to traditional formwork made from plywood.

### 1. Wprowadzenie

Poprawę jakości betonu uzyskuje się przez stosowanie domieszek i dodatków oraz zaawansowane metody wibracji, powiązane z próżniowym odwadnianiem. Problemem pozostaje jednak jakość powierzchni bezpośrednio przylegającej do deskowania.

Ciekawym rozwiązaniem, pozwalającym na wyeliminowanie wad powierzchni z jednoczesną poprawą jej parametrów fizycznych, chemicznych, jak i mechanicznych, jest zastosowanie deskowań o selektywnej przepuszczalności (ang. Controlled Permeability Formworks).

---

\* Opiekun naukowy: Prof. dr inż. Andrzej Ajdukiewicz.

Działanie deskowań selektywnie przepuszczalnych przypomina w pewnym stopniu próżniowe odsysanie wody, ale bez potrzeby użycia pompy próżniowej. Rolę tę przejmują maty syntetyczne przymocowywane odpowiednio do pionowych i dennych płaszczyzn deskowania.

Zadaniem maty jest odprowadzenie nadmiaru tzw. „wody dla urabialności” [1] oraz powietrza ze świeżego betonu, z jednoczesnym zatrzymaniem cząstek cementu przy powierzchni betonu. Drenaż wody oraz uwolnienie powietrza jest zapewnione układem naczyń kapilarnych warstwy drenującej maty, o grubości około 0,9 mm. Z kolei, zatrzymanie cząstek cementu przy powierzchni betonu jest możliwe dzięki błonie półprzepuszczalnej, przylegającej do betonu, o zdecydowanie bardziej zwartej strukturze i grubości około 0,1 mm.

Najbardziej istotnym efektem działania deskowań selektywnie przepuszczalnych jest obniżenie stosunku wodno-cementowego (w/c) w strefie powierzchniowej o grubości około 20 mm. Ważnymi pochodnymi obniżenia wskaźnika wodno-cementowego są: zmniejszenie przepuszczalności i powierzchniowej absorpcji oraz zwiększenie twardości i odporności na ścieranie. Cechy te poprawiają odporność betonu na uszkodzenia i erozję oraz wpływają pozytywnie na trwałość konstrukcji.

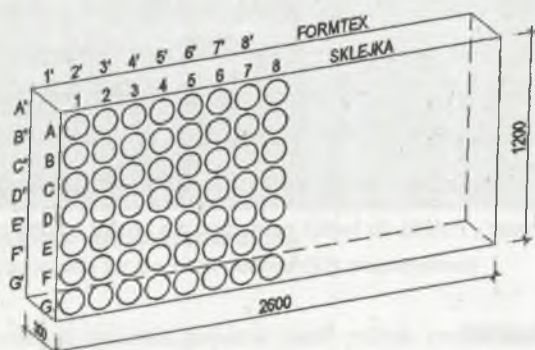
Problematyka deskowań selektywnie przepuszczalnych jest tematem nowym, w związku z czym ciągle trwają badania potwierdzające skuteczność tej technologii. Problematyka ta w Europie rozwijana jest głównie w ramach ośrodka niemieckiego – Politechniki w Stuttgarcie, pod kierunkiem Prof. Gunthera Schellinga [3, 4].

W Polsce tematykę próżniowego odsysania wody z betonu przez stosowanie przepuszczalnych deskowań podjęto w latach 1990-1992 na Politechnice w Rzeszowie. Obserwacjom poddano deskowania z perforowanej sklejki, wyłożone płótnem lnianym [2].

W 2002 roku rozpoczęto, w ramach dwuletniego grantu KBN, prowadzenie obserwacji zachowania DSP z mat syntetycznych w ośrodku śląskim – na Wydziale Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Kierownikiem grantu jest Prof. dr inż. Andrzej Ajdukiewicz. Autor zaś jest jednym z jego wykonawców. Prowadzone są równoległe badania własności fizycznych, mechanicznych i, we współpracy z Instytutem Chemii Nieorganicznej Politechniki Śląskiej, również badania strukturalne.

## 2. Przedmiot badań

Dotychczasowe obserwacje dotyczą dwóch partii betonu. Pierwsza partia pochodzi z 5 grudnia 2002 roku, a druga z 15 kwietnia 2003. Z obu partii betonu wykonano po jednym bloku betonowym o wymiarach 300x1200x2600 mm. Blok został wykonany w deskowaniu z impregnowanej sklejki, przy czym jedną z powierzchni wyłożono matą syntetyczną. Matę przymocowano do deskowania w sposób zapewniający odprowadzenie nadmiaru wody na zewnątrz.



Rys. 1. Blok betonowy – oznaczenie próbek rdzeniowych pobieranych do badań  
Fig. 1. Concrete block – marking of the test cores

W badaniach wykorzystano matę syntetyczną duńskiej firmy Fibertex, której przykładowe dane techniczne, według specyfikacji producenta, podano w tabeli 1.

Tabela 1

### Wartości średnie niektórych cech fizycznych wkładek *Formtex*

|  |                      |
|--|----------------------|
| Masa na jednostkę powierzchni  | 200 g/m <sup>2</sup> |
| Grubość (pod obciążeniem 2 kPa)                                      | 1 mm                 |
| Wytrzymałość na rozciąganie – podłużnie/poprzecznie w rulonie        | 6 kN/m               |
| Wydłużenie całkowite przy zerwaniu – podłużnie/poprzecznie w rulonie | 40/30 %              |
| Przepuszczalność wody (słupek 100 mm)                                | 7 l/s/m <sup>2</sup> |
| Wielkość porów   | < 30 μm              |
| Absorpcja wody   | 0,5 l/m <sup>2</sup> |

Pierwsza partia betonu, z grudnia 2002, wykonana została na kruszywie drobnym (piasek) w liczbie około 792 kg/m<sup>3</sup> oraz grubym (żwir) w liczbie około 973 kg/m<sup>3</sup> i o maksymalnej średnicy ziarna 16 mm. Jako spoiwo zastosowano cement portlandzki CEM I 32,5 w liczbie 335 kg/m<sup>3</sup>, bez dodatków i domieszek. Wskaźnik wodno-cementowy został określony przez



producenta (Readymix Polska Sp. z o.o.) na poziomie  $w/c=0,6$ . Średnia wytrzymałość 28-dniowa na ściskanie na próbkach walcowych wyniosła 25 MPa.

Elementy drugiej (kwietniowej) serii badań wykonano z betonu na kruszywie drobnym (piasek) w liczbie około  $662 \text{ kg/m}^3$  oraz grubym (żwir) w liczbie około  $1127 \text{ kg/m}^3$  i o maksymalnej średnicy ziarna 16 mm. Spoiwem był cement portlandzki CEM II BS 32,5 w liczbie  $375 \text{ kg/m}^3$ , bez dodatków, ale z domieszką Superplastyfikatora, w ilości 0,8% masy cementu. Średnia wytrzymałość 28-dniowa na ściskanie, mierzona na próbkach walcowych, wyniosła 33 MPa przy wskaźniku wodno-cementowym  $w/c = 0,47$ .

Mieszankę układano w bloku w trzech warstwach o miąższości około 400 mm każda. Dla prawidłowego ułożenia betonu w bloku użyto wibratora wglębnego o średnicy 35 mm. Deskowanie bloku betonowego w obu seriach badań zostało usunięte po około 28-dniach. Wszystkie elementy przechowywano w naturalnym środowisku, w średniej temperaturze około  $16^\circ\text{C}$  oraz przy wilgotności względnej około 70% (dla elementów serii grudniowej warunki te były surowsze). Próbki do badań pobierano dla wieku betonu powyżej 28 dni.

### 3. Metodologia badań

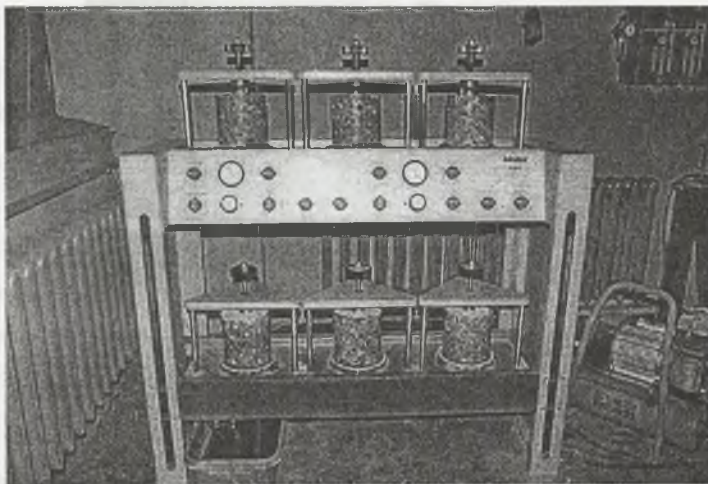
Pierwsze badania potraktowano jako serię pilotażową, mającą na celu potwierdzenie korzyści wynikających z badań prowadzonych w innych ośrodkach oraz rozpoznanie technologii betonowania, a szczególnie warunków układania i wibrowania w deskowaniu selektywnie przepuszczalnym. Pozwoliło to na dokładniejsze przygotowanie kolejnej serii badań, obszerniejszej pod względem zakresu.

Celem stwierdzenia korzyści płynących z zastosowania mat syntetycznych w aspekcie trwałości przeprowadzono badania porównawcze wodoprzepuszczalności, odporności na ścieranie, twardości – w badaniu sklerometrycznym młotkiem Schmidta oraz przyczepności przez odrywanie metodą pull-off.

Badania wykonano na próbkach walcowych o średnicy około 150 mm i wysokości 300 mm, wywierconych z bloku betonowego. Po przecięciu rdzeni w połowie wysokości możliwe było stwierdzenie, w tych samych warunkach, parametrów powierzchniowych od strony tradycyjnego deskowania ze sklejki i od strony deskowania wyłożonego syntetykiem.

Do badania wodoprzepuszczalności pobrano trzy próbki rdzeniowe, podzielone na sześć walców o wymiarach  $150 \times 150 \text{ mm}$ . Próbki oznaczono jako A2, D2 i G2 – od strony sklejki oraz A2', D2' i G2' – od strony Formtexu. Wzdłuż tworzących próbki zaizolowano żywicą

epoksydową, ograniczając w ten sposób dostęp wody wyłącznie do powierzchni formowanej w deskowaniu. Ciśnienie wody o wartości 1,0MPa utrzymywano przez 72 godziny.



Rys. 2. Aparatura do pomiaru wodoprzepuszczalności

Fig. 2. The measuring apparatus for the water permeability measurements

Badaniu odporności na ścieranie poddano sześć próbek sześciennych o wymiarze boku  $71\text{mm} \pm 1\text{mm}$ , opisanych jako B4, D4, D5 i D7 – od strony sklejki oraz B4', D4', D5' i D7' – od strony Formtexu, odpowiednio. Ścieraniu poddano powierzchniowe płaszczyzny próbek. Badanie wykonano na tarczy Boehmego, zgodnie z procedurą normową [według 8].

Badanie twardości powierzchni stwardniałego betonu, podobnie jak badanie wytrzymałości na rozciąganie, przeprowadzono na powierzchni bloku betonowego.

Próbę sklerometryczną za pomocą młotka Schmidta wykonano zgodnie z zaleceniami normowymi [według 9]. Wykonano 7 odczytów dla każdego z 12 punktów na powierzchni ściany. Badanie przeprowadzono dla betonu w wieku około 100 dni.

Badanie przyczepności przez odrywanie wykonano metodą pull-off, zgodnie z wytycznymi normowymi [10]. Wykorzystano 12 krążków aluminiowych o średnicy 50 mm i grubości 20 mm. Krążki naklejano na powierzchnię betonu za pomocą szybkotwardniejącego dwuskładnikowego kleju epoksydowego. Do odrywania użyto przyrządu pracującego w zakresie 0-16kN, z analogową tarczą do odczytu. Badanie wykonano dla betonu w wieku około 28 dni.



Rys. 3. Badanie pull-off  
Fig. 3. Pull-off strength test

#### 4. Wyniki badań

Wyniki badań zostały opracowane według procedur normowych, odpowiednich dla danej próby. Badania wodoprzepuszczalności i twardości wykonano dla bloku betonowego zabetonowanego w grudniu 2002, a pozostałe badania: odporności na ścieranie oraz wytrzymałości na rozciąganie metodą pull-off wykonano dla bloku betonowego z kwietnia 2003.

Ze względu na małą liczbę próbek zrezygnowano z obróbki statystycznej wyników.

Wodoprzepuszczalność określono przez podanie maksymalnej głębokości penetracji, z zaokrągleniem do milimetra. Dla powierzchni wykonanej w deskowaniu ze sklejki zmierzono, dla próbek oznaczonych jako A2, D2 i G2, następujące głębokości penetracji wody: 7, 6 oraz 5 cm. Dla powierzchni od strony maty syntetycznej uzyskano zawilgocenie: 2, 3 i 1cm - dla próbek: A2', D2' i G2'. Otrzymano więc znaczącą poprawę jakości powierzchni betonu w DSP.

Ścieralność oznaczono przez utratę objętości próbek, w  $\text{cm}^3$ , z dokładnością do  $0,1\text{cm}^3$ , jako różnicę średniej objętości próbki przed badaniem i po badaniu. Dla próbek formowanych w deskowaniu tradycyjnym uzyskano ubytki objętości: 9,3; 12,9; 10,0; i  $10,3\text{cm}^3$ , dla próbek oznaczonych jako B4, D4, D5 i D7. Dla odpowiadających próbek w DSP otrzymano następujące ubytki objętości: 6,9; 8,4; 6,7; i  $9,5\text{cm}^3$ . Wyniki potwierdzają większą odporność na ścieranie powierzchni w DSP.



W badaniu sklerometrycznym uzyskano znaczącą różnicę twardości. Średnia liczba odbicia młotka Schmidta dla powierzchni formowanej w deskowaniu tradycyjnym wyniosła 40,4, przy współczynniku zmienności  $v_L=1\%$ . Dla powierzchni formowanej w syntetyku Formtex uzyskano większą średnią liczbę odbicia  $L_{sr} = 46,9$  przy współczynniku zmienności  $v_L=2\%$ . Dla DSP otrzymano więc około 16% większą liczbę odbicia.

W badaniu przyczepności przez odrywanie uzyskano średnią wartość siły odrywającej 5,7 kN od strony deskowania tradycyjnego oraz 7,0 kN, tj. około 23% większą od strony Formtexu. W większości przypadków zniszczenie nastąpiło na powierzchni betonu. Niemniej, dla określenia wartości średniej wykorzystano wszystkie wyniki z uwzględnieniem zniszczenia przez płaszczyznę kleju. Również to badanie pokazało pozytywny efekt zastosowania syntetyku w deskowaniu.

## 5. Wnioski

Opisane badania skuteczności stosowania deskowań selektywnie przepuszczalnych obejmowały: badanie wodoprzepuszczalności, odporności na ścieranie, sklerometryczne badanie twardości metodą młotka Schmidta oraz badanie przyczepności przez odrywanie metodą pull-off.

Wszystkie próby potwierdziły wpływ DSP na poprawę własności fizycznych warstwy powierzchniowej betonu. W szczególności, dla DSP, uzyskano 16% większą wartość liczby odbicia w badaniu sklerometrycznym za pomocą młotka Schmidta oraz 23% większą średnią wartość siły odrywającej. Z uwagi na małą próbę nie wykonano obróbki statystycznej, ograniczając się do podania wartości uzyskanych wprost z badań lub wartości średnich.

Badania przeprowadzone zostały dla betonów średnich wytrzymałości – o wytrzymałości 28-dniowej równej 25MPa - dla partii grudniowej oraz 33MPa - dla partii kwietniowej. Wskaźniki w/c badanych betonów wynosiły, odpowiednio: 0,6 oraz 0,47, przy czym druga partia betonu zawierała domieszkę Superplastyfikatora w ilości 0,8% masy cementu.

## LITERATURA

1. Neville A. M.: Właściwości betonu. (tłum. z angielskiego). Polski Cement, Kraków 2000, s. 874.
2. Trojnar K.: Poprawa cech fizycznych powierzchniowej warstwy betonu formowanego w deskowaniu perforowanym. Inżynieria i Budownictwo Nr 10, 1992, s. 387 – 389.
3. Barnewold R.: Saugende Schalungsbahnen. Eine Technik zur Verbesserung der Betorandzone. Praca inżynierska, Fachhochschule, Stuttgart 2000.
4. Sorensen M.G.: Controlled permeability formwork – for durable concrete. 1st fib Congress, Osaka 2002, p. 379 – 384.
5. Ajdukiewicz A.: Korzyści betonowania w nowoczesnych deskowaniach przepuszczalnych. XVIII Konferencja Naukowo-Techniczna “Beton i prefabrykacja - Jadwisin’2002”, 10-12 kwietnia 2002, Popowo k. Warszawy, COBRPB “CEBET”, Warszawa 2002, t.2, s.7-14.
6. PN-EN 12390-8: Badania betonu. Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2001.
7. PN-84/B-04111: Materiały kamienne. Oznaczanie ścieralności na tarczy Boehmego. Kombinat Kamienia Budowlanego. Ośrodek Badawczo-Rozwojowy PROKAM, Kraków 1984.
8. Instrukcja ITB nr 210: Badanie sklerometryczne betonu młotkiem Schmidta.
9. PN-EN 1542: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Pomiar przyczepności przez odrywanie. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2000.
10. Wilson D.: Durability problems: is formwork the cause? Concrete Engineering, Vol. 5, No 2, 2001, p. 35-38.
11. Jasiczak J., Szczeszek M.: Variation of Concrete Base’s Cleaning Grade and Estimation of Protective Coatings. Proceedings of the International Conference: Concrete for Extreme Conditions. Scotland, UK, Spetember 2002, p. 179-188.
12. Jasiczak J., Bromber T.: Przyczepność do betonu powłok POLYMENT przy wariantowo przygotowanym podłożu. Kwartalnik „Warstwy”, Nr(16) 199, s.98-99.



## Abstract

The use of admixtures, additives and the high-tech methods of concrete compaction enhance concrete properties. These methods are not sufficient for the quality of concrete surface attached immediately to a formwork. Controlled Permeability Formworks represent the new concept, which eliminate surface defects with the simultaneous enhancement of the physical, chemical as well as mechanical properties of near surface concrete.

In this study, some results of the effect of formwork covered with synthetic liner, on mechanical properties of concrete are presented. The results of water permeability, abrasion resistance, surface hardness by using the rebound hammer test and pull-off strength measured on the concrete blocks made of medium-performance concretes are discussed.