

O trwałości konstrukcji żelbetonowych decyduje przede wszystkim zewnętrzna warstwa betonu o grubości około 20 mm. Jakość betonu w tej warstwie ma także znaczący wpływ na nośność i rysoodporność. O ile na górnej powierzchni elementu (nie formowanej) zabiegi pielęgnacyjne, a zwłaszcza odsysanie powietrza i wody, skutecznie poprawiają jakość betonu w tej części, to w pozostałych zewnętrznych warstwach o jakości decyduje rodzaj powierzchni formy lub deskowania.

Iskota problemu

Do niedawna przeważało przekonanie, że szczelna i gładka forma, np. stalowa lub z impregnowanej sklejki, zapewnia najlepsze warunki do układania, zagęszczania i dojrzewania betonu.

Co najmniej cztery przyczyny powodują obniżenie jakości zewnętrznej – formowanej w deskowaniu – warstwy betonu:

- nadmiar wody i banieczki powietrza uwięzione przy szczelnej ścianie formy, tworzące na powierzchni po stwardnieniu duże pory lub kanaliki
- obniżenie właściwości wytrzymałościowych betonu w warstwie przypowierzchniowej, głównie wskutek podwyższenia stosunku w/c (rys. 1)
- zanieczyszczenie powierzchni betonu spowodowane środkami przeciwpływowymi
- duże ryzyko zakłócenia poprawnej pielęgnacji powierzchni bezpośrednio po rozformowaniu.

Na podstawie porównań stwierdzono, że deskowania z blachy lub sklejki, bądź fo-

Betonowanie w deskowaniach selektywnie przepuszczalnych

lie uszczelniające w formach, prowadzą często do większych wad przypowierzchniowych betonu (nie zawsze widocznych) niż bardziej tradycyjne deskowania z surowego drewna, które dawały efekt „bibuły” odsysającej nadmiar wody i utrzymującej wysoką wilgotność.

Rozwój koncepcji

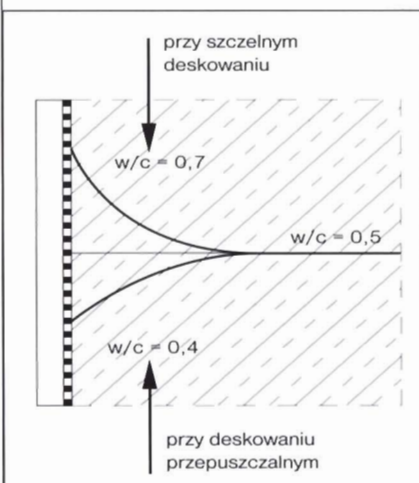
Od około 25 lat wprowadzane są pomysły w pewnym stopniu podobne do próżniowego odsysania wody, polegające na stosowaniu przepuszczalnych deskowań. Stan badań z początku lat 90. podał w zarysie Neville. Rozpoczęło od tego, że płaszczyzny deskowania wyposażano w gęste siatki syntetyczne, zamocowane do podkładu ze sklejki, mającej otwory drenujące. Również w Polsce w latach 1990-1992 prowadzono w ośrodku rzeczyskim badania deskowań przepuszczalnych złożonych z płótna lnianego i perforowanej sklejki. Nie zdawano sobie sprawy, że o skuteczności membrany decydują siły napięcia powierzchniowego przy kontakcie z wodą i dla wszystkich tkanin, zwłaszcza z włóknami naturalnymi, właściwości te są niekorzystne. Stwierdzono już wówczas doświadczalnie, że przepuszczalne deskowania, oprócz obniżenia ciśnienia na deskowanie, obniżają stosunek wodno-cementowy w strefie powierzchniowej, do głębokości rzędu 20 mm (rys. 1). Obniżenie w/c zmienia się stopniowo do wartości pomijalnej na głębokości 20 mm. Wynikiem silnej redukcji stosunku wodno-cementowego jest zmniejszenie powierzchniowej nasiąkliwości (rys. 2) zewnętrznej strefy betonu, co jest zwykle zasadnicze z punktu widzenia trwałości. Zwiększona jest także twardość betonu, co poprawia jego odporność na uszkodzenia i ścieranie. Obszerne badania w roku 1995 przeprowadzono w Niemczech (Stuttgart) w celu oceny skuteczności dwóch specjalnych mat syntetycznych – nieco wcześniej produkowanej w USA przez koncern Du Pont oraz wprowadzanej wtedy na rynek europejski przez firmę duńską Fibertex. Obydwa te rodzaje mat miały podobne cechy podawane przez producentów i zbliżony proces produkcyjny. Badania niemieckie skoncentrowano na aspektach trwałości, bowiem

odbywały się na próbkach poddawanych jedynie normowym procedurom.

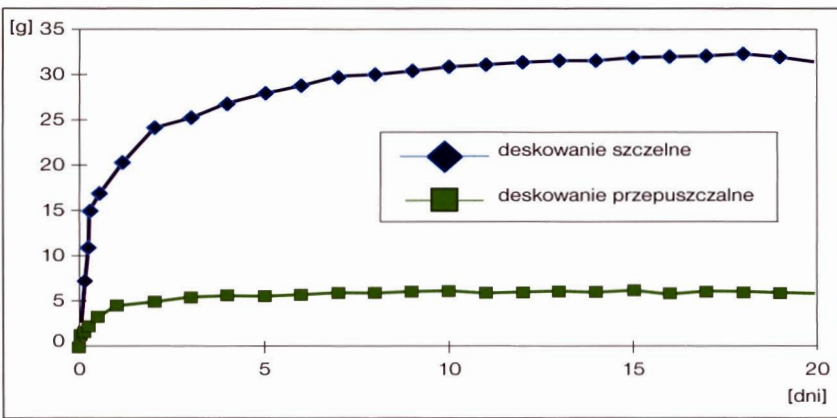
W następnych latach prezentowano wyrywkowe badania i publikowano niektóre zwolnione z klauzuli tajności wyniki wcześniejszych badań. Najintensywniejsze próby prowadzone były bowiem dla potrzeb wojskowych w USA i niektórych państwach NATO, a wiązało się to ze szczelnością budowli podziemnych – szybów wyrzutni rakiet (do 60 m głębokości) i schronów. Były to oczywiście badania tajne i do dziś niewiele o nich wiadomo. Nie ma dotąd publikacji na temat kompleksowych badań elementów konstrukcyjnych, uwzględniających łączne korzyści w zakresie nośności i trwałości elementów formowanych w deskowaniach selektywnie przepuszczalnych nowego typu. Nie udało się znaleźć również informacji o badaniach wyższych klas betonów z dodatkami i domieszkami, przy których skuteczność filtracji może być odmienna wskutek zatykania się porów w matach. W najnowszych źródłach są jedynie wzmianki o indywidualnych zastosowaniach, ale bez towarzyszących im badań.

Osiągane korzyści

Zastosowanie wkładek polega na wykorzystaniu własności kapilarnych mat z bardzo cienkich włókien, których uformowanie we wkładce o grubości około 1 mm (gramatura rzędu 200 g/m²) odbywa się nie na zasadzie tkania, lecz wykonania maty zagęszczanej przez igtowanie, jednostronnie poddanej obróbce termicznej. Surowcem jest specjalny polipropylen, a w wyniku specjalnej obróbki powstaje materiał o wysoce zaawansowanych właściwościach (High-Tech). Zewnętrzna warstwa około 0,1 mm stanowi błonę półprzepuszczalną o szczególnych cechach w zakresie sił napięcia powierzchniowego, a pozostałe 0,9 mm to zespół naczyń kapilarnych, zdolnych do odprowadzenia z powierzchni betonu zarówno nadmiaru wody, jak i powietrza. Wywołanie transportu wody w betonie powoduje ruch cząstek cementu ku powierzchni i zdecydowane zwiększenie szczelności struktury warstwy przypowierzchniowej. Jednocześnie, w miarę procesu hydratacji i wiązania wody



Rys. 1. Schemat różnic stosunku w/c w warstwie betonu przy deskowaniu



Rys. 2. Wyniki porównawczego badania nasiąkliwości powierzchni wysuszonych próbek betonu zanurzonych w roztworze NaCl

wkładka jest w stanie oddać część wody, zapewniając korzystne warunki pielęgnacji powierzchni betonu.

Jest to więc proces poprawy jakości betonu w warstwie przypowierzchniowej nie na drodze chemicznej, lecz czysto fizycznej.

Dotychczas prowadzono badania skutków stosowania takiego formowania przede wszystkim na próbkach, a wiadomości o zastosowaniach w konstrukcjach są bardzo skąpe – dotyczą indywidualnych przypadków zbiorników, nabrzeży, fragmentów mostów, jednak bez wyników badań szczegółowych. Wyniki badań próbek są jednak bardzo zachęcające, tak w zakresie nośności, jak i trwałości. Stwierdzono w betonach średnich klas w warstwie powierzchniowej między innymi:

- wytrzymałość powierzchniową na ściskanie (wzrost liczby odbicia wg prEN 12398) do 40%
- wzrost wytrzymałości na rozciąganie w konstrukcji (metoda pull-out wg prEN 12399) do 60%
- spadek stosunku w/c w świeżym betonie przy powierzchni od 30 do 50%
- wzrost zawartości cementu w stosunku do średniej w przekroju próbki do 35%
- spadek porowatości do 30%, a spadek głębokości karbonatyzacji nawet całkowity (100%)
- spadek wskaźnika ustalonej dyfuzji chlorków o 50 do 70%
- obniżenie wskaźnika ścieralności do 70%.

Niektóre z tych wyników potwierdzono w pilotowych badaniach przeprowadzonych w końcu 2000 roku w Katedrze Inżynierii Budowlanej Politechniki Śląskiej na próbkach kostkowych i walcowych, z zastosowaniem osmotycznej maty syntetycznej najnowszej generacji, dostępnej już na krajowym rynku.

Większość dotychczasowych badań dotyczyła mieszanek betonowych o stosunkowo wysokim wskaźniku w/c (po-

wyżej 0,5). Na razie nie ma dowodów podobnie dużej skuteczności deskowań przepuszczalnych w przypadku niższych stosunków w/c (z przedziału 0,35 do 0,50) i przy stosowaniu plastyfikatorów.

Nowoczesne osmotyczne maty syntetyczne ze specjalnego polipropylenu, uzyskiwane w procesie igłowania i jednostronnej obróbki termicznej są oferowane na naszym rynku od niespełna roku, w zasadzie przez jedną firmę zajmującą się głównie dystrybucją wysoko specjalistycznych geotekstyliów. Jeszcze 3 lata temu maty te objęte były restrykcjami COCOMU, a zatem nieosiągalne legalnie w kraju przed wstąpieniem Polski do NATO. W 2000 r. miały miejsce pierwsze w Polsce prototypowe zastosowania, bez towarzyszących badań – był to jaz w korycie ściekowym zakładu przemysłowego oraz niewielki zbiornik wody pitnej. Realizacje te bazowały na doświadczeniach zagranicznych i nie mogły być wykorzystane w projektach wszystkie potencjalne korzyści, z braku polskich zaleceń w tym zakresie.

Jako szczególną zaletę takiego formowania konstrukcji żelbetonowych podnosi się zmniejszenie wrażliwości na proces pielęgnacji, co jest bardzo ważne przy dużych powierzchniach obiektów wystawionych na działania zewnętrzne. Istota tej zalety podana jest schematycznie na rys. 3.

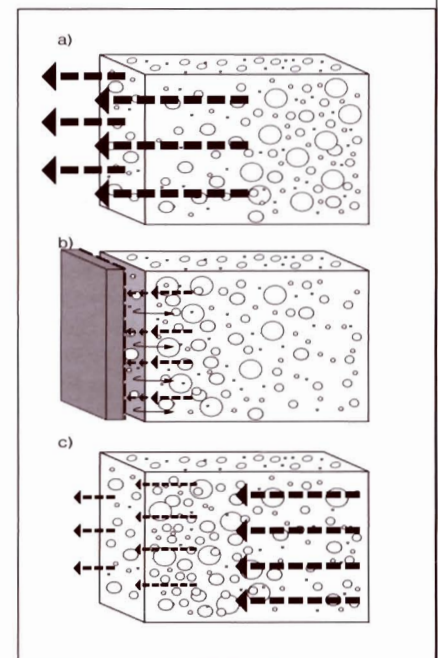
Szersze stosowanie deskowań selektywnie przepuszczalnych, a zwłaszcza kompleksowa ocena korzyści zarówno w aspekcie trwałości, jak i nośności, wymaga jeszcze szeregu badań. Mogą one zaowocować w konkretnych wnioskach, m.in. we wskazaniach stosowania w takich obszarach, jak:

- powierzchnie wewnętrzne zbiorników na cieczy, z decydującym kryterium szczelności
- powierzchnie wewnętrzne zbiorników na materiały sypkie, narażone na mechaniczną destrukcję w wyniku ściera-

- nia, zwłaszcza przy jednoczesnej agresji chemicznej
- zewnętrzne powierzchnie konstrukcji w warunkach zagrożeń korozyjnych atmosfery przemysłowej
- obiekty podziemne – tunele, rurociągi, zbiorniki – poddane działaniu wód agresywnych
- belki i płyty wiaduktów i mostów, narażone na agresywne działania gazów i cieczy
- powierzchnie betonu w obiektach przemysłowych narażonych na destrukcję fizyczną i chemiczną, np. chłodni kominowych i płaszczy kominów
- budowle hydrotechniczne – nabrzeża, zapory, ściany kanałów i śluz
- prefabrykaty do zastosowań w posadzkach, chodnikach lub stropach przemysłowych oraz obiektach przemysłu spożywczego i inwentarskich
- prefabrykaty elewacyjne lub elementy budownictwa komunikacyjnego (np. ekrany drogowe), narażone na intensywne wpływy atmosferyczne i działania zanieczyszczeń.

Oczekuje się, że możliwe będzie m.in. zmniejszenie normowych otuleń zbrojenia, zwłaszcza w przypadkach celowego zmniejszenia ciężaru własnego konstrukcji, jak to ma miejsce w konstrukcjach cienkościennych i powłokowych.

prof. dr inż. Andrzej Ajdukiewicz
Politechnika Śląska



Rys. 3. Porównanie wrażliwości powierzchni betonu na pielęgnację: a) powierzchnia formowana w deskowaniu szczelnym oddaje szybko wodę wskutek porowatej struktury, b) beton dojrzewający w deskowaniu przepuszczalnym ma zagęszczoną strukturę i pobiera z powrotem z deskowania potrzebną ilość wody, c) zagęszczona struktura warstwy powierzchniowej pozwala na niewielką utratę wody przy wadliwej pielęgnacji