

**KRZYSZTOF SZAFRAN**

**Wydział Technologii Materiałowych  
i Wzornictwa Tekstyliów Politechniki Łódzkiej**

## **WARSTWOWY WIELOFUNKCYJNY KOMPOZYT TEKSTYLNY W HYDROIZOLACJI KONSTRUKCJI BETONOWYCH**

Promotor: **dr hab. inż. Jan Wojtysiak**  
Promotor pomocniczy: **dr inż. Jacek Szer**

Recenzenci: **dr hab. inż. Danuta Ciechańska, prof. IBWCh**  
**prof. dr hab. inż. Piotr Klemm**

*Tematem rozprawy doktorskiej jest **Warstwowy wielofunkcyjny kompozyt tekstylny w hydroizolacji konstrukcji betonowych**, który stanowi naukowe podejście do nowego rodzaju przeciwwodnego zabezpieczenia, szczególnie poziomych zewnętrznych konstrukcji betonowych z wykorzystaniem materiałów włókienniczych. Nowa metoda opiera się na materiałach włókienniczych o różnych strukturach funkcjonalnych, które są wszechobecne w zastosowaniach technicznych. Materiały włókiennicze, poza ich podstawową funkcją „odzieżową” znajdują szerokie zastosowanie w różnych obszarach techniki. Zdobyte doświadczenie i pozyskany stan wiedzy z przeglądu literatury pozwoliły na sformułowanie tezy rozprawy „Możliwe jest opracowanie nowego tekstylnego kompozytu wielofunkcyjnego o własnościach hydroizolacyjnych zapewniającego: (1) bezobsługowy proces konstytuowania betonu nowobudowanym poziomym zewnętrznym elementom architektonicznym o konstrukcji betonowej oraz (2) trwałą i niezawodną jego ochronę przeciwwodną w czasie eksploatacji”. Od kompozytu oczekuje się, aby posiadał doskonale własności barierowe i był niezawodny w trakcie eksploatacji konstrukcji betonowych, jak również znacznego skrócenia prac budowlanych lub remontowych, co z kolei prowadzi do obniżenia kosztów inwestycji. Kompozyt włókninowy zapewnia bezobsługowy proces dojrzewania betonu, a jego własności drenażowe pozwoliły, jak wykazały badania, zapewnić realizację tego procesu wymaganą w trakcie hydratacji cementu. Z funkcji, jakie ma realizować kompozyt w tej konkretnej sytuacji wynika, że jego struktura ma zapewnić wysoko skuteczne właściwości drenażowe pozwalające odprowadzać nadmiar niezwiązanej z betonem wilgoci w czasie jego dojrzewania. Pełna barierowość jest utrzymywana z kolei przez właściwość powolnego plastycznego*

odkształcania (osiadania) zmniejszającego porowatość masy drenażowej, powodowanego naciskiem masy warstwy zewnętrznej (wylewki i ewentualnego podłoża). Kompozyt składa się z trzech warstw:

Warstwa górna: geowłóknina, która spełnia funkcję ochronną przed uszkodzeniem warstwy barierowej podczas układania kompozytu na betonie konstrukcyjnym, jak również podczas wylewania wylewki na kompozyt.

Warstwa środkowa: termoplastyczna folia polietylenowa, która po skonsolidowaniu jej z warstwami górną i dolną zapewnia całkowitą hydrobarierowość kompozytu.

Warstwa dolna: geowłóknina o dobrych własnościach drenażowych uzyskiwanych poprzez nadanie jej wysokiej sprężystości i odpowiedniej porowatości. Zadaniem tej warstwy jest odprowadzenie ewentualnego nadmiaru wody, która nie została związana z cementem oraz stworzenie warunków wodnych na powierzchni betonu konstrukcyjnego podobnych jak dla betonu pielęgnowanego w okresie jego dojrzewania. Proponowana technologia skraca czas prac budowlanych o 3 do 4 tygodni. Sposób hydroizolacji z użyciem opracowanego kompozytu barierowego oraz kompozyt barierowy zostały zgłoszone do ochrony w UP RP. Należy również zwrócić uwagę na fakt, że zaproponowana technologia jest całkowicie ekologiczna, gdyż eliminuje stosowanie pap, materiałów bitumicznych (smoly) oraz rozpuszczalników. Ostateczną weryfikację nowej metody hydroizolacji z wykorzystaniem warstwowego wielofunkcyjnego kompozytu tekstylnego zbadano na zbudowanym do tego celu balkonie na jednym z budynków Instytutu Technologii Eksploatacji, gdzie wykonywano badania. Otrzymane wyniki potwierdziły całkowicie barierowość kompozytu i jego niekwestionowaną przydatność w procesie dojrzewania i pielęgnacji betonu oraz niezawodne funkcjonowanie w warunkach rzeczywistego klimatu.

## 1. WPROWADZENIE

Dzisiejsze technologie włókiennicze pozwalają kształtować dowolne struktury włókniste dla różnych aplikacji w technice. Mogą to być struktury o szerokim zakresie właściwości, np. filtracyjnych, drenażowych, barierowych, hydrofilowych, hydrofobowych, sprężystych, wytrzymałościowych etc. Jednym z takich obszarów jest budownictwo ogólne, w którym szeroko stosowane są geotekstylii i hydrotechniczne materiały kompozytowe spełniające z reguły kilka funkcji naraz, z których najważniejsze to funkcje: ochronna, separacyjna, drenażowa, filtracyjna i wzmacniająca. W Instytucie Technologii Eksploatacji – Państwowym Instytucie Badawczym, badaniami nad różnorodną aplikacją oryginalnych struktur włóknistych zajmuje się Zakład Techniki Włókienniczych w Łodzi. Z opracowań dla obszaru budownictwa na uwagę zasługują dwie ostatnie prace. Jedną z nich jest opracowany i zbadany wspólnie z Instytutem Techniki Budowlanej w Warszawie – geokompozyt hydrotechniczny o wysokich własnościach drenażowych niezbędnych w odwadnianiu m.in. składowisk odpadów.

Kolejne badania ukierunkowane zostały na hydroizolację konstrukcji betonowych w budownictwie mieszkaniowym i użyteczności publicznej. Prace badawcze prowadzono wspólnie z Katedrą Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych Politechniki Łódzkiej nad włókninowym wielofunkcyjnym kompozytem pozwalającym bezobsługowo realizować proces dojrzewania i osuszania świeżo wykonanej poziomej konstrukcji betonowej zewnętrznej, jako elementu architektonicznego stosowanego powszechnie w budownictwie mieszkaniowym (balkony, tarasy lub loggie).

Z funkcji, jakie ma realizować kompozyt w tej konkretnej sytuacji, wynika, że jego struktura powinna zapewniać wysoko skuteczne właściwości drenażowe, by odprowadzać nadmiar niezwiązanej z betonem wilgoci w czasie jego dojrzewania przy zachowaniu pełnej barierowości z uwagi na hydroizolację konstrukcji betonowej, a także właściwość powolnego plastycznego odkształcania zmniejszającego porowatość masy drenażowej powodowanego ciężarem warstwy zewnętrznej – wylewki betonowej. Na podstawie naukowego i eksperymentalnego poznania opracowano wielofunkcyjny kompozyt włókninowy do przeciwwodnej izolacji poziomych konstrukcji betonowych.

Wynik z przeprowadzonych badań przedstawiono głównie od strony opracowanego kompozytu i jego własności fizycznych z uwagi na niezbędne trwałe funkcje eksploatacyjne.

## 2. WIELOWARSTWOWY BARIEROWY KOMPOZYT WŁÓKNINOWY

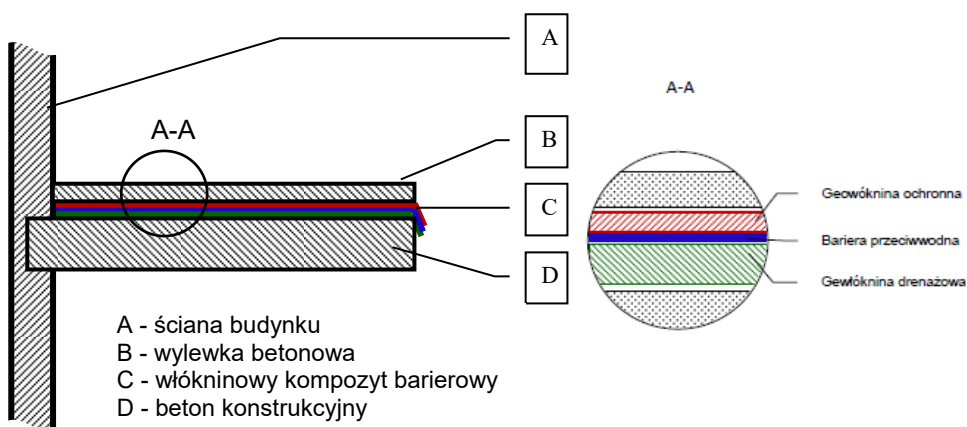
Kompozyt włókninowy zawiera termicznie skonsolidowane ze sobą następujące warstwy:

- *Warstwa górna* spełnia funkcję ochronną przed uszkodzeniem warstwy barierowej podczas układania kompozytu na betonie konstrukcyjnym.
- *Warstwę środkową* stanowi termoplastyczna folia polietylenowa, która po termicznym skonsolidowaniu jej z warstwami górną ochronną i dolną drenażową spełnia funkcję barierową przeciwwodną (hydroizolacyjną) w kompozycie.
- *Warstwę dolną* kompozytu stanowi geowłóknina o wysokich własnościach drenażowych, które zapewniają włókniny strukturalne. Zadaniem tej warstwy jest odprowadzenie z powierzchni mokrej betonu nadmiaru niezwiązanej wody z cementem oraz zapewnienie warunków do realizacji procesu dojrzewania na jego powierzchni (podobnych jak dla betonu pielęgnowanego w okresie jego dojrzewania).

Rysunek 1 przedstawia strukturę kompozytu oraz jego umiejscowienie w konstrukcji budowlanej.

Tab. 1 Włókniny drenażowe użyte w badaniach

Lp.	Włóknina	I	II	III	IV	V	VI	VII
	Parametry							
1.	Włóknina	Geolex	Opracowana na potrzeby pracy	I/Sm6501	Geolex	2061-950-600-865 PES	2061-950-600-811 PP	
2.	Nazwa	154-250-150 330-00 PP	Szara	Czarna	K-1/700	154-400- 150 330-00 PP	OL 03/1670/02	
3.	Gramatura [g/m <sup>2</sup> ]	250±10%	300±10%	250±10%	700±10%	400±10%	170±10%	400±10%
	Gramatura – zmiierzona [g/m <sup>2</sup> ]	253	328	266	656	420	174	409
4.	Grubość [mm]	2,60±20%	4,00±10%	4,00±10%	6,50±10%	3,30±10%	2,70±10%	3,40±10%
	Grubość – zmiierzona [mm]	2,93	4,02	4,00	6,37	3,41	2,70	3,37



Rys. 1. Struktura kompozytu (a) i jego umiejscowienie w konstrukcji betonowej (b)

W warunkach rzeczywistych kompozyt pracował będzie pod stałym obciążeniem spowodowanym wylewką betonową łącznie z innymi materiałami dekoracyjnymi (np. płytki ceramiczne), które można określić na poziomie 80 do 100 kg/m<sup>2</sup> powierzchni. Obciążenie to powoduje, że warstwa dolna kompozytu, którą jest strukturalna włóknina drenażowa, podlega procesowi ściskania. W wyniku tego następuje stopniowe obniżanie jej porowatości. To zjawisko, z jednej strony pogarsza własności drenażowe w czasie (zamykanie porów we włókninie drenażowej), natomiast z drugiej strony po całkowitym zamknięciu porów wpływa korzystnie na barierowość kompozytu, co jest cechą korzystną, z uwagi na racjonalną eksploatację.

Po opracowaniu technologii wytwarzania kompozytu zbudowana została prototypowa linia wytwórcza o szerokości roboczej 1000 mm do termicznej konsolidacji opisanych wyżej warstw składowych kompozytu. W linii zastosowano:

- kalander trójwałowy własnej konstrukcji do konsolidacji kompozytu,
- układ bez napięciowego podawania folii termoplastycznej do procesu konsolidacji kompozytu w równoległym układzie tensometrycznym,
- układ nadążnego poprzecznego pozycjonowania położenia wózków, pierwszy z nawojem odwijanej folii, drugi z włókniną ochronną, obydwa względem brzegów włókniny filtracyjnej.

Pozycjonowanie brzegów warstw składowych kompozytu jest istotne z uwagi na zachowanie ciągłości przy wykonywaniu hydroizolacji, gdzie odpowiednie taśmy kompozytu po rozwinięciu na powierzchni betonu muszą zachodzić na siebie. Na rysunku 2 pokazano modelową linię wytwórczą wielowarstwowego kompozytu barierowego.



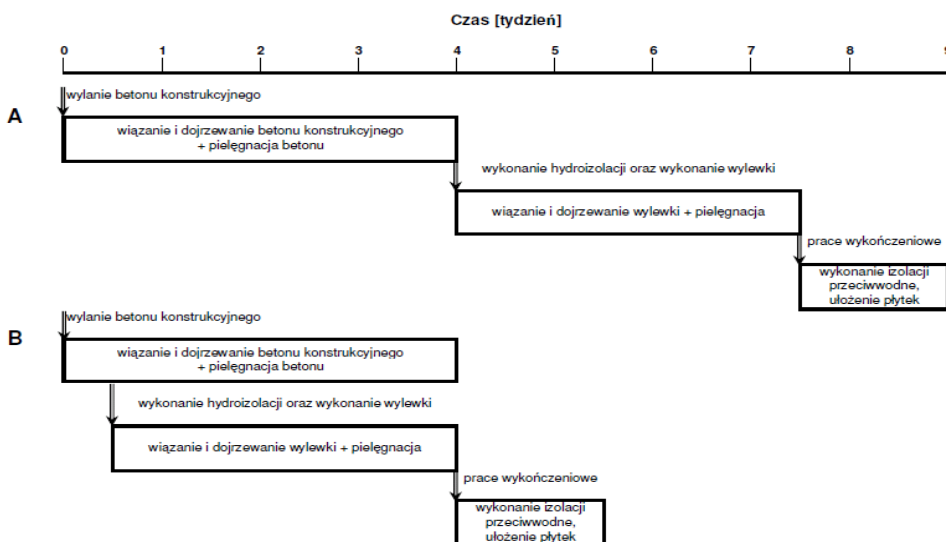
Rys. 2 Modelowa linia do otrzymywania wielowarstwowego kompozytu barierowego

Do wytworzenia kompozytu użyto następujących składników:

- 1) warstwa ochronna – włóknina PES, o masie powierzchniowej  $150 \text{ g/m}^2$ ,
- 2) warstwa barierowa – folia termoplast. prod. francuskiej o grubości  $0,075 \text{ mm}$ ,
- 3) warstwa drenażowa – włóknina strukturalna PES, o masie pow.  $350 \text{ g/m}^2$ .

Opracowany włókninowy kompozyt hydroizolacyjny może mieć zastosowanie zarówno w naprawczych hydroizolacji eksploatowanych elementów architektonicznych, jak i nowobudowanych. Najbardziej interesujący jest przypadek drugi, z uwagi na proces hydratacji cementu, w wyniku którego następuje konsolidacja betonu. Proces ten wymaga określonego czasu na dojrzewanie i suszenie betonu, który przyjmuje się 28 dni. Po tym okresie można prowadzić dalsze prace wykończeniowe na konstrukcji betonowej. W przypadku zastosowania nowej hydroizolacji opartej na włókninowym kompozycie zawierającym warstwę drenażową, możliwy jest transport wilgoci zgodnie z prawem Ficka, z ośrodka o wyższym stężeniu (z mokrej powierzchni betonu) do ośrodka o niższym stężeniu (wilgotność powietrza zewnętrznego). Procesy dojrzewania i suszenia betonu zachodzą aż do wyrównania stężeń, tj. wilgotności legalnej. Uwzględniając niezwykle ważną funkcję drenażową kompozytu, można radykalnie skrócić czas do 2-3 dni, po którym można wykonywać dalsze prace wykończeniowe i rozpocząć rozkładanie kompozytu na jego powierzchni.

Na rysunku 3 przedstawiono cykl czasowy do wykonania prac hydroizolacyjnych prowadzonych dotychczas i według nowej metody za pomocą kompozytu włókninowego.



Rys. 3. Porównanie cykli czasowych w hydroizolacji konstrukcji betonowych metodą: A – tradycyjną i metodą B – z użyciem kompozytu włókninowego

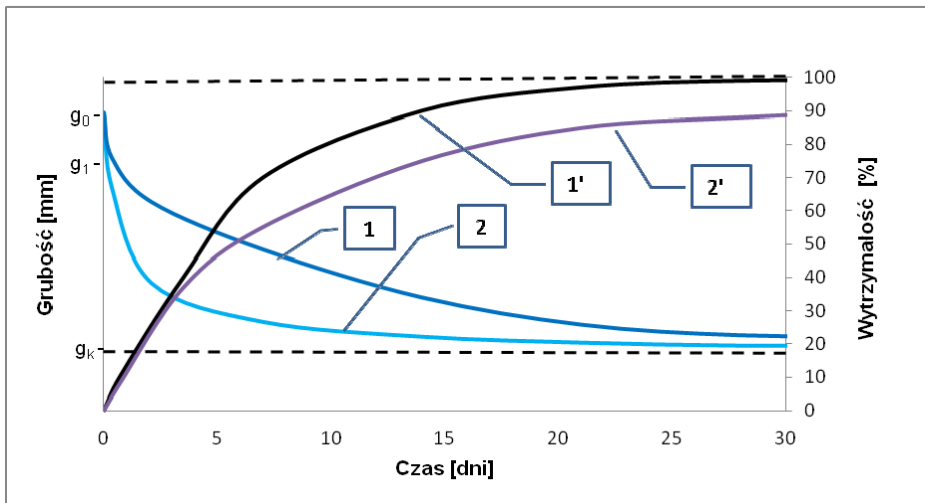
Po ułożeniu hydroizolacji można na tak zabezpieczonej konstrukcji betonowej zrobić wylewkę betonową, której grubość z reguły nie przekracza 5 cm. Warstwa barierowa kompozytu skutecznie zabezpiecza przenikanie wilgoci z wylewki betonowej do warstwy drenażowej.

### 3. BADANIA REOLOGICZNE KOMPOZYTU BARIEROWEGO

Proces badawczy nad nowym włókninowym kompozytem hydroizolacyjnym zrealizowano w skali laboratoryjnej, półtechnicznej i eksploatacyjnej.

#### 3.1. Badania reologiczne kompozytu

Wylewka betonowa skutkuje stałym obciążeniem kompozytu. A stąd badanie reakcji pomiędzy obciążeniem kompozytu a jego odkształceniem jako funkcji czasu, jest istotnym zagadnieniem, z uwagi na potrzebę transportu wilgoci z procesu dojrzewania i suszenia betonu konstrukcyjnego (którego grubość może być kilkakrotnie większa niż wylewki) do otoczenia zewnętrznego. Na rys. 4 przedstawiono teoretyczne oczekiwane relacje pomiędzy procesami dojrzewania i suszenia betonu mierzone ubytkiem wilgoci a spodziewanym osiadaniem (zamykaniem porów), szczególnie warstwy drenażowej kompozytu jako funkcje czasu.



Rys. 4. Zależność osiadania włókniny drenażowej kompozytu i przyrostu wytrzymałości betonu od czasu

*Źródło: opracowanie własne.*

Na wykresie zaznaczono minimalną wytrzymałość betonu od momentu jego wylania, przy której możliwe jest ręczne rozłożenie kompozytu na świeżej powierzchni betonu i wylanie na nim wylewki betonowej. Charakterystyki 1 i 2 dotyczą włókien drenażowych: 1 – idealnej o wydłużonym do czterech tygodni okresie osiadania, 2 – typowej włókniny drenażowej. Charakterystyki 1' i 2' odpowiednio przyrosty wytrzymałości betonu na ściskanie.

W budownictwie przyjęto niezbędny i wystarczający 28 dniowy czas na proces dojrzewania i suszenia konstrukcji betonowych, zapewniający jej odpowiednią wytrzymałość mechaniczną, niezależnie czy osiągnie on wilgotność otoczenia w całej swojej masie. Oznacza to, że kompozyt hydroizolacyjny w tym okresie powinien skutecznie odprowadzić wilgoć z betonu, tj. zapewnić możliwie jak największą porowatość warstwy drenażowej. Aby ten wymóg spełnić, należy w projektowaniu włókniny drenażowej kompozytu uwzględnić odpowiednią grubość i sprężystość włókien oraz nadać jej w konstrukcji charakter włókniny strukturalnej. Należy spodziewać się, iż zmiany parametrów – wilgotności betonu i porowatości warstwy drenażowej, w znacznie dłuższym czasie (nawet ponad rocznym) będą asymptotycznie dążyć do stanu ustalonego, w którym beton osiągnie wilgotność legalną, natomiast porowatość warstwy drenażowej będzie bliska wartości zerowej, co dla przeciwwodnej ochrony elementu konstrukcyjnego stanowić będzie bardzo korzystną właściwość eksploatacyjną kompozytu, z uwagi na docelowe „wzmocnienie” jego barierowości. Dla zweryfikowania zawartych wyżej postulatów merytorycznych przeprowadzono badania statyczne i dynamiczne kilku rodzajów włókien drenażowych, które



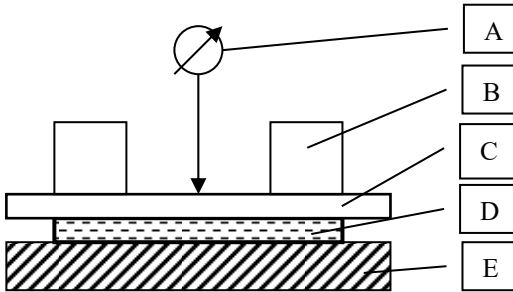
potencjalnie mogą być zastosowane do budowy kompozytu. W badaniach laboratoryjnych wykorzystano odpowiednie próbki z włókien drenażowych pozyskanych z przemysłu i użyto je w równoległych badaniach na zbudowanym stanowisku laboratoryjnym.

#### *Pomiar grubości włókien*

Pomiaru grubości włókniiny drenażowej dokonano na opracowanym i zbudowanym w ITE-PIB laserowym grubościomierzu do pomiaru grubości włókien, oznaczonym symbolem WT-G200. Pomiar ten niezależnie od zakwalifikowanego normą rodzaju włókniiny jest wykonywany jednym przyrządem wyposażonym w cztery rodzaje płytek dociskowych o określonych wymiarach, których masy są tak dobrane, aby wywoływały na próbkę ciśnienie zgodnie z wymaganiami obowiązującej normy PN-EN ISO 9073-2 luty 2002. „Tekstyliia. Metody badawcze włókien. Cz. 2 Wyznaczanie grubości”, zaś płytą odniesienia jest stół przyrządu. Czujnik laserowy umieszczony jest nad powierzchnią stołu na ramieniu umożliwiającym w pionie zmianę położenia lasera w zależności od grubości mierzonej próbki włókniiny. Grubość włókniiny jest mierzona czujnikiem laserowym jako różnica odległości pomiędzy stopką dociskową umieszczoną w centralnym miejscu płyty przyrządu a tą samą stopką położoną jak uprzednio na badanej włókniinie w zakresie  $0\pm 200$  [mm]. Wyniki pomiaru są wyświetlane na ciekłokrystalicznym wyświetlaczu. Przyrząd posiada Deklarację Zgodności CE, Świadectwo Wzorcowania U/08/W1-10820262 z dn. 27.05.2008 r. wydane przez OUM w Katowicach.

#### *Badania włókien pod obciążeniem statycznym*

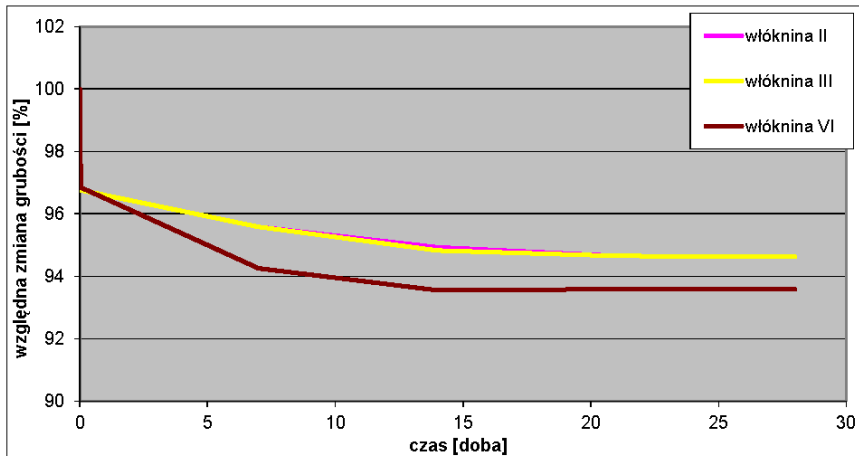
Dla poznania wpływu obciążenia statycznego na włókniiny drenażowe w funkcji czasu wykonano badania stanowiskowe, obciążając próbki masą odpowiadającą naciskowi jaki powstaje od wylewki betonowej. Czasokres badań odpowiada tzw. niezbędnemu czasowi na proces dojrzewania betonu, który wynosi 28 dni. Na rys. 5 pokazano stanowisko do badań zmiany grubości włókniiny drenażowej w funkcji czasu przy stałym obciążeniu.



- A – mikromierz
- B – obciążniki o masie 90 kg/m<sup>2</sup>
- C – płyta szklana
- D – kompozyt włókninowy
- E – płyta stalowa

Rys. 5. Stanowisko do badań osiadania włókniny pod obciążeniem w czasie

Zmiana grubości włókniny pod wpływem obciążenia statycznego była rejestrowana w odstępach jednodobowych, które przedstawia rysunek 6.



Rys. 6. Zmiana grubości włókniny pod wpływem siły działającej statycznie

Na rys. 6 przedstawiono charakterystyki wpływu czasu na proces osiadania włókniny pod stałym obciążeniem. Na podstawie przeprowadzonych badań dokonano wyboru najlepszych włókien. Kryterium był czas osiadania włókniny drenażowej, czyli czas w którym nastąpiła szybka redukcja grubości włókien. Włókniyny, które w krótkim czasie znacznie zmniejszają swoją grubość nie nadają się na włókninę drenażową do zastosowania w kompozycie barierowym. Zmiana grubości powoduje zamykanie porów, co utrudnia procesy dojrzewania i suszenia

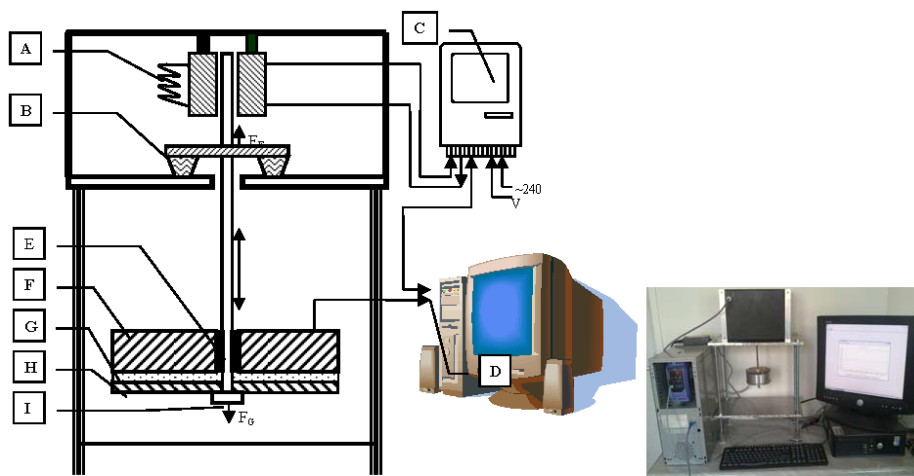
betonu. Najlepiej sprawdzają się włókniny II, III oraz VI. Badania dynamiczne pozwalają na szybkie sprawdzenie osiadania włókien, co przekłada się na prawidłowy dobór włókniny drenażowej. Wynik 95% grubości włókien został osiągnięty po 150÷200 sekundach, co w badaniach statycznych osiągnięto po 5 dniach dla włókniny VI i po 13 dniach dla włókien II i III. Zbudowane stanowisko do badań przyspieszonego osiadania pod wpływem obciążenia działającego dynamicznie w widoczny sposób skraca czas potrzebny na dobór włókien.

### Badania włókien pod obciążeniem dynamicznym

W budowie stanowiska badawczego zastosowano siłownik elektromagnetyczny, który jest zasilany falownikiem o regulowanym napięciu i częstotliwości. Próbkę badanej włókniny znajduje się pod obciążeniem statycznym, całość zawieszona jest elastycznie na siłowniku. Zmianę nacisku na włókninę uzyskuje się poprzez wprowadzenie siłownika elektromagnetycznego w ruch drgający.

Zbudowane stanowisko zapewnia:

- możliwość zmiany wartości siły działającej na próbkę,
- możliwość regulacji częstotliwości,
- możliwość regulacji amplitudy drgań,
- rejestrację wartości pomiarowych w długim czasie.



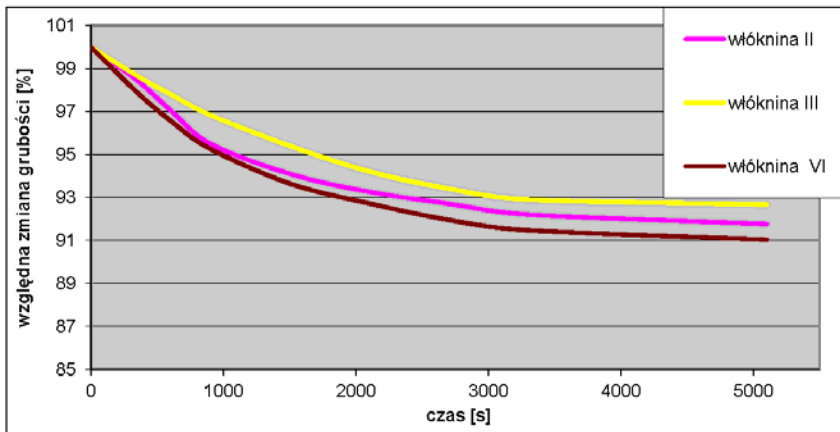
- |   |  |
|---|--|
| A - cewka elektromagnesu  | G - badana włóknina                    |
| B - elastyczne mocowanie trzpienia  | H - płytka na której spoczywa włóknina |
| C - generator częstotliwości (falownik)   | I - nakrętka mocująca                  |
| D - sterownik z rejestratorem   |  |
| E - łożysko ślizgowe umożliwiające ruch obciążenia statycznego  |  |
| F - obciążnik o masie 1kg z układem pomiarowym grubości włókniny, amplitudy, siły działającej na włókninę |  |

Rys. 7. Schemat stanowiska do badań reologicznych włókien

### Badania drenażowe włókien

Dla zapewnienia odpowiedniej gospodarki wodnej podczas dojrzewania betonu z kompozytem włókninowym niezbędne są wysokie właściwości drenażowe włókniny wchodzącej w skład kompozytu. Włóknina w pierwszym etapie dojrzewania betonu musi odprowadzić nadmiar wody, która zawarta jest w masie betonu. Następnie utrzymuje odpowiednią wilgotność niezbędną w procesie wiązania cementu, by na końcu osuszyć beton z wilgoci. W celu zbadania tych własności zbudowano stanowisko badawcze, które przedstawia rysunek 7.

Otrzymane wyniki osiadania włókien przedstawia rysunek 8.

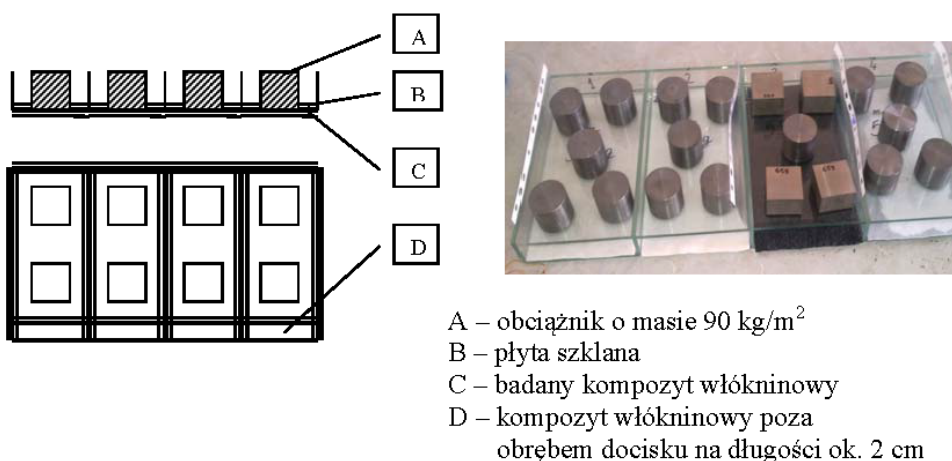


Rys. 8. Zmiana grubości włókien pod wpływem obciążenia dynamicznego

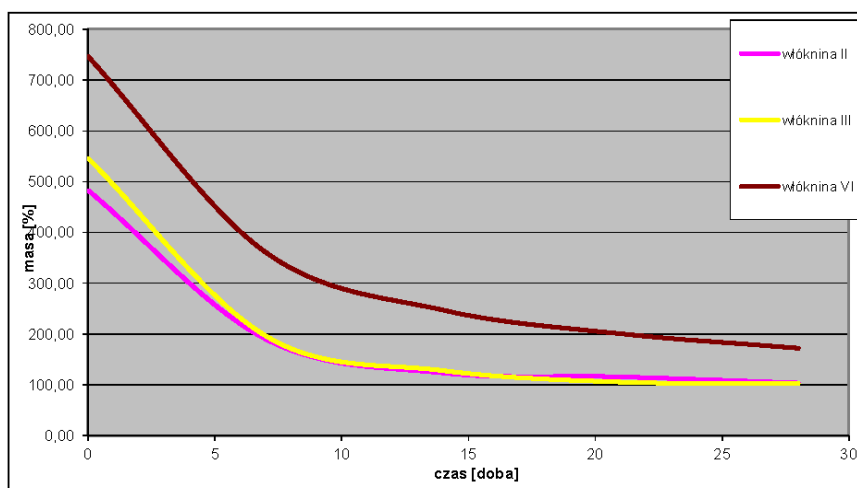
Próbki włókien o jednakowych wymiarach po namoczeniu (30 min) i odsączeniu grawitacyjnym nadmiaru wody zważono i umieszczono pod płytą szklaną i obciążono równomiernie wieloma ciężarkami o jednakowej masie odpowiadającej ciężarowi wylewki cementowej. Włókniny były umieszczone tak, że około 2 cm włókniny wystawało poza obręb płyty szklanej. Ułożenie jest widoczne na rysunku 9.

W wyniku różnicy stężeń między wilgotnymi próbkami a powietrzem zewnętrznym następuje powolny ciągły transport wilgoci do otoczenia przez odsłoniętą część włókniny, co wyraża się ubytkiem masy próbki. Podczas badania rejestrowano zmiany masy włókniny w czasie 28 dni. Ubytek masy był spowodowany odparowaniem wody z włókniny przez odsłoniętą część włókniny.

Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 9. Stanowisko do badania właściwości drenażowych



Rys. 10. Zmiana masy włókien drenażowych podczas suszenia

Dane pomiarowe przedstawiono na wykresie jako zmianę procentową masy włókien w procesie ich suszenia. 100% stanowi masa włókieniny w stanie suchym. Każda z badanych włókien cechuje się inną zdolnością do adsorpcji wody. W wyniku suszenia włókieniny przez ograniczoną powierzchnię najlepiej sprawdziły się włókieniny II i III, które mają najlepsze właściwości drenażowe. Włókieniny te transportują zawartą w nich wilgoć na zewnątrz układu, co w warunkach rzeczywistych zapewni prawidłowe wysychanie betonu.

## 5. BADANIE BARIEROWOŚCI KOMPOZYTU

Badanie barierowości polegało na działaniu na powierzchnię włókninowego kompozytu barierowego słupa cieczy o wysokości 30 cm przez okres 24 godzin. Badania prowadzono na podstawie normy dotyczącej badania wodoszczelności PN-EN 13859-1:2010 Elastyczne wyroby wodochronne – Definicje i właściwości wyrobów podkładowych oraz PN-EN 13967:2012 Elastyczne wyroby wodochronne – Wyroby z tworzyw sztucznych i kauczuku do izolacji przeciwwodnej łącznie z wyrobami z tworzyw sztucznych do izolacji przeciwwodnej części podziemnych.

W trakcie badania uzyskano 100% barierowość kompozytu.

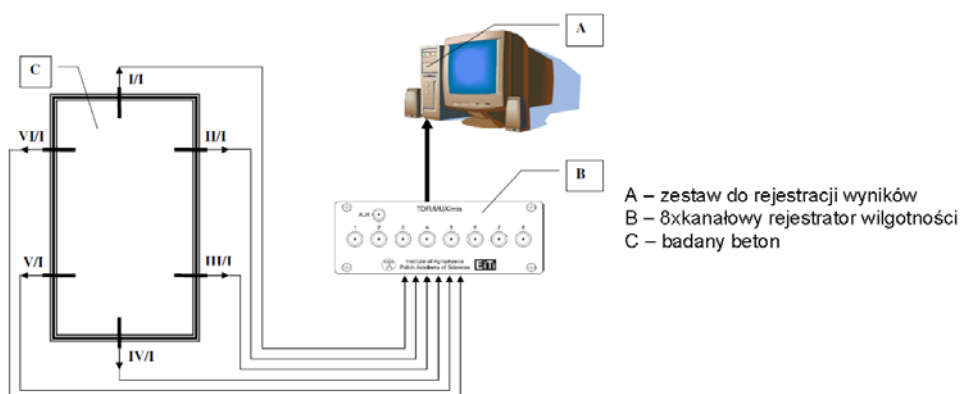
## 6. BADANIA PROCESU DOJRZEWANIA I OSUSZANIA BETONU

Badanie prowadzono na opracowanym i zbudowanym stanowisku powielonym trzykrotnie z przeznaczeniem na wykonanie równolegle trzech płyt betonowych o wymiarach (1200 x 600 mm). Proces dojrzewania i osuszania jest realizowany:

- a) przy użyciu opracowanego kompozytu barierowego (stanowisko I),
- b) tradycyjnej pielęgnacji betonu (stanowisko II),
- c) bez pielęgnacji betonu (stanowisko III).

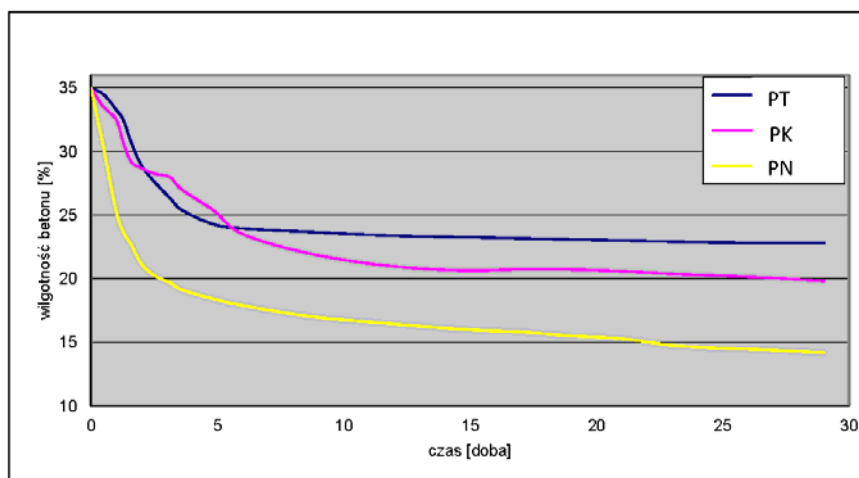
Badano zmianę wilgoci w przygotowanych betonach za pomocą odpowiednio rozmieszczonych w betonie sond pomiarowych. Pomiar wilgotności realizowano urządzeniem pomiarowym TDR/MUX/mpts EASY TEST produkcji Instytutu Agrofizyki, PAN w Lublinie. TDR/MUX/mpts jest ośmiokanałowym urządzeniem do pomiaru zawartości wody w próbkach porowatych, potencjału matrycowego wody, elektrycznej konduktywności i temperatury przy użyciu elektroprzewodzących sond. Badania prowadzono w uzgodnieniu z Katedrą Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych Politechniki Łódzkiej.

Na rysunku 11 przedstawiono schemat jednego ze stanowisk do badań eksperymentalnych procesu dojrzewania i pielęgnacji betonu w skali pół techniki z podłączoną aparaturą pomiarową.



Rys. 11. Stanowisko do badania zmian wilgotności betonu

Zmiany wilgotności rejestrowano przez 28 dni. Wyniki porównawcze z badań przedstawiono w postaci wykresów na rysunku 12.



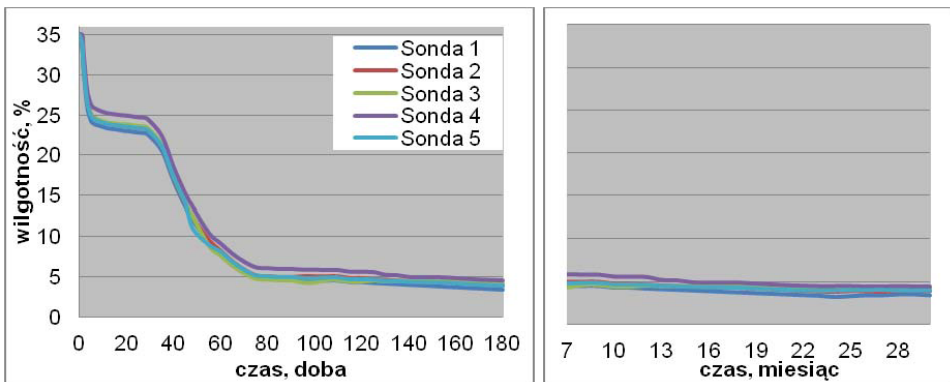
Rys. 12. Zmiany wilgotności w betonach doświadczalnych dla trzech przypadków: beton pielęgnowany kompozytem (PK), beton z pielęgnacją tradycyjną (PT) oraz beton niepielęgnowany (PN)

W pracy przeprowadzono badania dla wszystkich włókien, dla zobrazowania zmian wilgotności zachodzących w betonie podczas suszenia przedstawiono wyniki dla najlepszej włókny (III).

Przebieg zmiany wilgotności betonu pielęgnowanego kompozytem (PK) można uznać za prawidłowy. W pierwszym okresie (5 dni) ilość wody jaka jest potrzebna w procesie wiązania betonu jest wystarczająca. Zmiana wilgotności w tym przypadku jest zbieżna ze zmianą wilgotności betonu pielęgno-

wanego, który był codziennie nawilżany wodą. Przebieg zmiany wilgotności dla betonu niepielęgnowanego (PN) jest gwałtowny, a ilość wody potrzebna w procesie dojrzewania betonu jest niewystarczająca. Potwierdziły to również badania dodatkowe, beton był porowaty, łuszczył się i nie posiadał zakładanej wytrzymałości.

W celu ostatecznej weryfikacji nowej metody hydroizolacji z wykorzystaniem warstwowego wielofunkcyjnego kompozytu tekstylnego zbudowano model typowego balkonu w skali 1:1. Beton konstrukcyjny został opomiarowany sondami, które podłączone do rejestratora umożliwiały pomiar wilgotności betonu zarówno podczas dojrzewania i pielęgnacji, jak również w warunkach normalnej eksploatacji. Otrzymane wyniki potwierdziły całkowicie przydatność kompozytu w procesie dojrzewania i pielęgnacji betonu. W trakcie eksploatacji balkonu zaobserwowano całkowitą barierowość hydroizolacji, podczas opadów atmosferycznych. Zmiany wilgotności w betonie konstrukcyjnym balkonu przedstawiono na rysunku 13.



Rys. 13. Wartość średnia wilgotności z 5. sond w funkcji czasu dla betonu zabezpieczonego tekstylnym kompozytem hydroizolacyjnym

## 7. WNIOSKI

1. Nowa metoda hydroizolacji konstrukcji betonowych pozwala w odróżnieniu od tradycyjnej na wykonanie hydroizolacji już po kilkunastu godzinach od momentu wylania betonu, przejmując funkcję dojrzewania i osuszania betonu, co nie jest możliwe w dotychczasowym wykonaniu przed upływem okresu co najmniej 28 dniowego, powodującym wydłużenie o ten okres cyklu budowlanego.
2. Bezobsługowy proces pielęgnacji betonu, prostota aplikacji kompozytu hydroizolacyjnego, niewymagająca stosowania specjalistycznych narzędzi, brak



- środków chemicznych, materiałów barierowych i ekologia stanowią kolejne zalety metody.
3. Badania potwierdziły, że opracowany nowy włóknisty materiał kompozytowy w postaci wielofunkcyjnego kompozytu włókninowego wypełnia poprawnie funkcje w wyniku nadania mu określonych właściwości hydroizolacyjnych.
  4. Stwierdzono, że geowłókninowa warstwa drenażowa kompozytu powinna zachować wysoką odprężność, szczególnie w pierwszym tygodniu, gdyż w tym okresie zachodzi intensywny proces hydratacji betonu i w tym czasie ważną rolę odgrywają własności hydrauliczne warstwy drenażowej kompozytu.
  5. Opracowana aparatura pomiarowo-testowa do badań dynamicznych włókniny drenażowej jest dobrym narzędziem badawczym w ocenie jej przydatności do budowy kompozytu hydroizolacyjnego.
  6. Opracowany hydroizolacyjny kompozyt włókninowy otwiera nowe możliwości aplikacyjne materiałów tekstylnych dla budownictwa.

## Literatura

- [1] **Praca zbiorowa:** *Technologia włókien*, WNT Warszawa, 1971 r.
- [2] **Boettcher P.:** *Wytwarzanie i stosowanie geostatyków*. Technische Tex./Technikal Text. 1989.
- [3] **Wysokiński L.:** *Skuteczność stosowania geosyntetyków*. Mat. Bud. 2001.
- [4] **Wierzbowska T.:** *Kierunki rozwoju w produkcji igłowanych włókien technicznych*. Techniki Włókiennicze 1990.
- [5] **Rajabipour F., Weiss J.:** *Śledzenie stanu betonu za pomocą pomiarów przewodnictwa elektrycznego in situ*. CWB 2/2007.
- [6] **Jędrzejewski W.:** *Geowłókniny kompozytowe*. Przegląd Włók. 1997.
- [7] PN-EN 13859-1:2010 Elastyczne wyroby wodochronne – Definicje i właściwości wyrobów podkładowych.
- [8] PN-EN 13967:2012 Elastyczne wyroby wodochronne – Wyroby z tworzyw sztucznych i kauczuku do izolacji przeciwwodnej łącznie z wyrobami z tworzyw sztucznych do izolacji przeciwwodnej części podziemnych.
- [9] **Szafran K., Szer J., Wojtysiak J.:** *Sposób wykonania przeciwwodnej izolacji i osuszania poziomych konstrukcji betonowych*. Zgłoszenie patentowe RP nr P 387346.
- [10] **Wojtysiak J., Szafran K., Szer J.:** *Wielofunkcyjny kompozyt włókninowy do hydroizolacji poziomych konstrukcji betonowych*. Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Materiały konferencyjne XII Polskiej Konferencji Nauk-Techn. Łódź 2009.
- [11] **Zarzycki R.:** *Wymiana ciepła i ruch masy w inżynierii środowiska*. WNT 2010.
- [12] **Praca zbiorowa pod kierunkiem Stefańczyk B.:** *Budownictwo ogólne*. Arkady 2010.

- [13] **Więźlak W., Bolanowski B., Zajączkowski J.:** Sprawozdanie z projektu badawczego nt. *Opracowanie metody i aparatury do badań właściwości reologicznych włóknin*. POLMATEX-CENARO, Łódź 1999.
- [14] PN ISO 3416: 1998 *Ubytek grubości włóknin po obciążeniu statycznym*.
- [15] **Das D., Pradhan A.K., Chattopadhyay R., Singh S.N.:** *Hybrid yarns and textile performing for thermoplastic composites*. Textile Progres Vol. 44, Issue 1, p. 1-84, 2012.
- [16] **Pak A., Zahmatkesh Z.:** *Experimental study of geotextile's drainage and filtration properties under different hydraulic gradients and confining pressures*. International Journal of Civil Engineering, Vol. 9, No. 2, p. 98-102. June 2011.
- [17] **Lederle R.E., Hoegh K., Burnham T., Khazanovich L.:** *Drainage capabilities of a nonwoven fabric interlayer in an unbounded concrete overlay*. TRB Annual Meeting; p. 1-11, 2013.
- [18] **Garber S., Rasmussen R.:** *Nonwoven geotextile interlayers in concrete pavements*. TRB of National Academies, Washington D.C., N. 2152, p. 11-15, 2010.
- [19] **Ruszkowski K.:** *Włókniny w budownictwie*. Przegląd – WOS, No. 11, p. 52-56, 2006.

## MULTILAYER, MULTIFUNCTIONAL TEXTILE COMPOSITE FOR THE HYDRO-INSULATION OF CONCRETE STRUCTURES

### Summary

Subject of the doctorate thesis is a “**Multilayer, multifunctional textile composite for the hydro-insulation of concrete structures**” which constitutes a scientific approach to novel hydro-protection textiles-employing systems primarily suitable to outer horizontal concrete structures. The new method is founded on textile materials with varied functional structures that nowadays are omnipresent in technical applications. Textile materials, aside of they grand role in apparels, have found wide avenues of application in various technical segments. My professional experience and knowledge derived from technical literature have given rise to the following formulation of my thesis:

“A chance exists of preparing a novel multifunctional damp-proof composite that would provide: (1) a reliable unmanned curing of the concrete in new built horizontal, outer architecture elements, (2) a permanent, faultless anti-water protection in exploitation”. Demanded of the composite is an excellent barrier function and reliability in the exploitation of the structure as well as a substantial shortening of the construction or renovation works which in turn leads to lower costs involved. The nonwoven composite provides an unmanned curing of the concrete, while its drainage properties ensure, as shown in experiments, a proper run of the curing required in the process of concrete hydration. In the specific case the composite is expected that its structure would provide an efficient

drainage which permits the evacuation of excessive unbounded moisture during the concrete maturation. Full barrier properties are maintained as well as the property of a slow plastic deformation (settlement) which causes a decrease of the composite drainage mass porosity by the pressure of outer layers (oversite, subsoil). The composite comprises three layers:

Upper layer It is a geotextile nonwoven to play the role of protecting the barrier layer against mechanical damage during the spreading of the composite and casting of the oversite layer.

Central layer It is a thermoplastic polyethylene film which, after its consolidation with the upper and bottom layer, constitutes a full water barrier for the composite.

Bottom layer It is a geotextile nonwoven with excellent drainage properties imparted by high elasticity and adequate porosity. Role of that layer is to evacuate excessive water that remained unbounded with cement, and to provide water conditions on the surface of the concrete construction like for a cured concrete in its maturation period.

The elaborated nonwoven composite provides a high hydro-insulation barrier demanded in the construction of balconies, terraces and loggias, and, at the same time, ensures the retention of water in amount indispensable for concrete maturing. In current practice, the damp-proof layers of the horizontal concrete constructions are put in place after the completion of the concrete maturing. It requires, in the construction works, a quite long time; the process is troublesome and often underestimated by the building people. The proposed composite can be laid onto the concrete construction short after casting. It is, however, recommended to do it after 24 to 48 hours after the concrete has been cast. The concrete construction shall acquire certain strength in that time to protect it against damage when the composite is spread upon it. An oversite layer may be spread promptly on the prepared composite layer. The proposed technology shortens the construction works by 3 to 4 weeks. The method for the damp-proof insulation with the use of the prepared barrier composite and the material itself have been applied for a Polish patent. Noteworthy is that the technology is genuinely environment friendly since, with the new process, the use of the hazardous tar board and solvents is abandoned.

The new method of damp-proofing with the use of a multilayer, multifunctional textile composite was eventually verified on a balcony built for that purpose on one of the buildings of the Institute for Sustainable Technologies where the examination was completed. The obtained results fully confirmed the barrier properties of the composite and its unchallenged suitability to the maturing and curing of the concrete, and to a reliable functioning in real climatic conditions.