

Dr inż. Danuta Barnat-Hunek



Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Budownictwa Ogólnego
ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin

ZAŁĄCZNIK 2a

Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych w języku polskim

(autoreferat do wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie Budownictwo)

Lublin, listopad 2016

Spis treści

1. Imię i nazwisko.....	3
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe.....	3
3. Przebieg pracy zawodowej oraz w jednostkach naukowych.....	3
4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)	4
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego.....	4
4.2. Opis osiągnięcia naukowego.....	4
5. Pozostałe osiągnięcia naukowo – badawcze.....	25
5.1. Przed uzyskaniem stopnia doktora.....	25
5.2. Praca doktorska.....	26
5.3. Po uzyskaniu stopnia doktora.....	26
5.3.1. Publikacje naukowe.....	27
5.3.2. Zgłoszenia patentowe.....	27
5.3.3. Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach.....	30
5.3.4. Międzynarodowe i krajowe nagrody	30
5.3.5. Udział w pracy naukowej organów kolegialnych uczelni.....	31
6. Podsumowanie działalności naukowo-badawczej.....	31

1. Imię i nazwisko

Danuta Barnat-Hunek

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

- 5.07.2000 **magister inżynier**, Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej, kierunek: budownictwo, specjalność: konstrukcje budowlane i inżynierskie
Tytuł pracy magisterskiej:
„Projekt stolówki przy Zespole Szkół Budowlanych w Stalowej Woli”
Promotor: dr inż. Andrzej Kowal
- 8.05.2008 **doktor nauk technicznych** w dyscyplinie budownictwo, Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej
Tytuł rozprawy doktorskiej: *„Ocena skuteczności hydrofobizacji murów z opoki wapniastej na podstawie analizy parametrów wilgotnościowych”*
Promotor: dr hab. inż. Bogusław Szmygin, prof. PL
Recenzenci: prof. dr hab. inż. Jerzy Jasieńko, dr hab. inż. Stanisław Fic, prof. PL.

3. Przebieg pracy zawodowej i w jednostkach naukowych

Przebieg zatrudnienia w jednostkach naukowych

- 1.10.2002 - 30.09.2008 asystent w Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej w Instytucie Budownictwa w Zakładzie Budownictwa Ogólnego, a następnie po reorganizacji w Katedrze Budownictwa Ogólnego.
- 01.10.2008 do chwili obecnej adiunkt w Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej w Katedrze Budownictwa Ogólnego.
- 26.09.2011 do chwili obecnej starszy wykładowca w pełnym wymiarze czasu pracy w Państwowej Szkole Wyższej im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej w Wydziale Nauk Ekonomicznych i Technicznych, w Katedrze Nauk Technicznych w Zakładzie Budownictwa.

Przebieg pracy zawodowej

- 2001 - 2002 PPUP Elektrotechnika w Warszawie, na stanowisku inżyniera ds. realizacji
- 05.2001 - 12.2001 Lurgi Energie und Entsorgung - Budowa bloku gazowo-parowego EC Lublin - Wrotków, na stanowisku: asystent koordynatora robót budowlanych
- 2004 - 2005 Biuro Usług Projektowych STRIX S.C. w Lublinie w latach, projektant (praca na umowę o dzieło)
- 2007 - 2014 Centrum Techniki Budownictwa Komunalnego „Ekotechnika” w Warszawie w latach, projektant (praca na umowę o dzieło).

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie Budownictwo jest monografia zatytułowana:

Danuta Barnat-Hunek, „**Swobodna energia powierzchniowa jako czynnik kształtujący skuteczność hydrofobizacji w ochronie konstrukcji budowlanych**” Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2016, IBSN 978-83-7947-216-1, 230 stron.

4.2. Omówienie celu naukowego wymienionej pracy i osiągniętych wyników, wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Po obronie pracy doktorskiej zatytułowanej „*Ocena skuteczności hydrofobizacji murów z opoki wapnistej na podstawie analizy parametrów wilgotnościowych*” motywacją do dalszych badań były wnioski uzyskane z pracy o niedostatecznej skuteczności hydrofobizacji nieodpornego na korozję kamienia oraz przesłanki literaturowe o braku skuteczności, a wręcz szkodliwym wpływie impregnacji skutkującym spotęgowaną korozją. Temat ten znany od dawna, ale nie zbadany szczegółowo zwłaszcza w aspekcie odporności na korozję i własności adhezyjnych powłok hydrofobowych (SEP) wydał się na tyle interesujący, aby główny nurt naukowo-badawczy moich prac objął te zagadnienia.

Niewątpliwie informacje dotyczące właściwości adhezyjnych są jedną z podstaw do prognozowania odporności materiałów budowlanych na wilgoć, mróz, sole rozpuszczalne w wodzie.

Autorka świadoma jest, że hydrofobizacja to wprowadzanie w powierzchnię materiału preparatu hydrofobizującego, który wnikając w pory i kapilary nie tworzy ciągłej powłoki. Jednak na potrzeby niniejszej monografii wprowadzono modyfikację definicji hydrofobizacji. Zgodnie z normą PN-EN 1504-2:2006 nie jest to powłoka ochronna, ale z punktu widzenia pracy, w celu ułatwienia analiz i dyskusji uzyskanych wyników zakłada się obecność powłoki hydrofobowej w strukturze przypowierzchniowej materiału. Stosowanie w pracy terminologii - powłoka hydrofobowa, oznaczać będzie skupiska cząsteczek silanów lub żywic polisiloksanowych wypełniające w mniejszym lub większym stopniu pory materiału.

W ocenie fizykochemicznych cech powierzchni ciał stałych kluczowym parametrem jest swobodna energia powierzchniowa (SEP). Według danych literaturowych interakcja pomiędzy powierzchnią materiału, a środkiem hydrofobizującym wpływa na stopień adhezji. W zależności od charakterystyki preparatów impregnujących można wpływać na zmniejszenie lub zwiększenie SEP, a tym samym napięcia powierzchniowego materiałów, powodując ich niezwilżalność, co związane jest m.in. z odpornością na korozję chemiczną i mrozoodpornością.

W literaturze zaobserwowano brak opracowań lub są one niewystarczające, w odniesieniu do prognozowania lub określania skuteczności hydrofobizacji, uwzględniających właściwości adhezyjne powierzchni budowlanych.

Zjawiska oddziaływań międzyfazowych pomiędzy różnymi cieczami i materiałami hydrofobowymi, a szczególnie zależności matematyczne opisujące zależności tych oddziaływań, nie są jeszcze w pełni poznane. Poszczególne metody obliczania wartości SEP materiałów na podstawie wartości mierzonych kątów zwilżania opracowano przy różnych założeniach. Z tych względów wartości SEP danego materiału wyznaczone innymi metodami i przy zastosowaniu różnych cieczy pomiarowych nie są sobie równe.

Weryfikacja metod obliczania SEP jest konieczna, ze względu na potwierdzone istotne różnice w uzyskanych wynikach prezentowanych w artykułach naukowych. Nie każda metoda jest odpowiednia dla danego rodzaju materiału, a zastosowanie jej powoduje dużą niepewność wyników. W zależności od rodzaju warstwy powierzchniowej, w tym przypadku hydrofobowej, zmienia się skład chemiczny i struktura materiału, co powoduje zmiany oddziaływań międzyfazowych, a tym samym zmiany wartości SEP obliczanej poszczególnymi metodami. Wyznaczone wartości empiryczne SEP są podstawą do sformułowania zależności pomiędzy SEP, a wynikami badań doświadczalnych cech fizycznych i mechanicznych.

Na podstawie analizy stanu zagadnienia sformułowano problematykę badawczą związaną z hydrofobizacją powierzchni budowlanych w odniesieniu do ich właściwości adhezyjnych. W monografii uzupełniono wiedzę z zakresu: skuteczności hydrofobizacji materiałów budowlanych m.in. w ochronie przed korozją mrozową i korozją siarczanową poprzez charakterystykę swobodnej energii powierzchniowej, jako czynnika kształtującego efektywność hydrofobizacji powierzchni budowlanych.

Celem pracy jest określenie możliwości zastosowania związków krzemorganicznych w remontach budynków oraz w nowo projektowanych materiałach, mających doprowadzić do znaczącej odporności tych materiałów na działanie wody i środowisk korozyjnych. Badania przedstawiły wpływ oddziaływania związków krzemorganicznych na właściwości adhezyjne oraz odporność korozyjną powierzchni budowlanych. Istotnym celem pracy badawczej było określenie skuteczności hydrofobizacji materiałów, które zostały poddane działaniu środowisk korozyjnych.

Dodatkowym celem pracy związanym z osiągnięciem celu naukowego jest analiza metod obliczania i określania SEP powierzchni materiałów budowlanych na podstawie wyników pomiarów kąta zwilżania, w tym także SEP występujących na granicach faz, ze szczególnym uwzględnieniem związków krzemorganicznych. Ma to służyć lepszemu zrozumieniu procesów fizycznych zachodzących na granicach faz ciała stałe - ciecz i prawidłowemu doborowi metod hydrofobizacji stosowanych w ochronie przeciw korozji materiałów budowlanych.

W ramach przedstawionych problemów związanych z tematem monografii sformułowano **szczegółowe cele pracy:**

1. Określenie wpływu wilgotności na właściwości hydrofobizowanych materiałów budowlanych.
2. Ocena efektywności hydrofobizacji powierzchniowej i wglębnej porowatych materiałów budowlanych tj. cegła ceramiczna, beton zwykły, fibrobeton wysokiej wytrzymałości, beton wysokiej wytrzymałości z odpadami przemysłowymi jak żużel i piasek formierski, keramzytobeton bez i z osadami ściekowymi, zaprawy ciepłochronne z keramzytem, zeolitem i perlitem, w tym ocena efektywności hydrofobizacji powierzchniowej skorodowanych materiałów pochodzących z obiektów budowlanych, w tym przemysłowych m.in. cegła i dachówka ceramiczna.
3. Ocena odporności na mróz i krystalizację siarczanów hydrofobizowanych materiałów budowlanych.
4. Określenie własności adhezyjnych powłok hydrofobowych poprzez określenie swobodnej energii powierzchniowej oraz pracy adhezji, będących czynnikami kształtującymi skuteczność hydrofobizacji.
5. Ocena przydatności modeli empirycznych wyznaczania swobodnej energii powierzchniowej hydrofobizowanych materiałów budowlanych.
6. Ustalenie korelacji pomiędzy wynikami badań eksperymentalnych, a swobodną energią powierzchniową wyznaczoną metodami empirycznymi.
7. Zbudowanie modelu regresji logistycznej, w celu analizy czynników korozyjnych mających wpływ na wzrost ilorazu szans uszkodzenia lub ochrony powierzchni budowlanych rozpatrywanych w pracy. Obliczenie ilorazu szans skutecznego zabezpieczenia powierzchni budowlanych poprzez ich hydrofobizację, czyli uzyskanie niezwilżalności w początkowym okresie kontaktu z wodą, w odniesieniu do ich własności adhezyjnych (SEP).

Program badań skuteczności hydrofobizacji

Szczegółowy zakres badań laboratoryjnych wraz z zastosowaną metodyką badań opisano w Rozdziale 5 monografii. W podrozdziałach 5.2-5.4 scharakteryzowano właściwości fizyczne materiałów budowlanych przyjętych do badań i dalszych analiz.

Zaproponowano rozszerzony program badawczy skuteczności hydrofobizacji przedstawiony w podrozdziałach 5.6.1-5.6.9. Wybór metodologii badawczej podyktowany był określeniem wpływu oddziaływania związków krzemoorganicznych nie tylko na właściwości adhezyjne, ale również na odporność korozyjną powierzchni budowlanych. Taki wybór badań pozwala na lepsze uchwycenie specyfiki hydrofobizacji materiałów, które zostały poddane działaniu środowisk korozyjnych. Dodatkowo należy zwrócić uwagę, że badania efektywności preparatów hydrofobowych w ochronie przeciw korozji, według spostrzeżeń autorki, ściśle związane są z własnościami adhezyjnymi scharakteryzowanymi przez swobodną energię powierzchniową oraz pracę adhezji, jako czynnikami kształtującymi skuteczność hydrofobizacji.

W ramach przedstawionych problemów związanych z tematem monografii zaproponowano następujący program badań laboratoryjnych:

- 1) badania cech fizycznych materiałów budowlanych przed hydrofobizacją
- 2) badania preparatów hydrofobowych: lepkość, napięcie powierzchniowe
- 3) badania efektywności hydrofobizacji: wskaźnik absorpcji kropli wody, nasiąkliwość powierzchniowa/masowa oraz dolność dyfuzji pary wodnej, paroprzepuszczalność powłok hydrofobowych, wodoszczelność, współczynnik przewodności cieplnej, mrozoodporność: ubytek masy po badaniu mrozoodporności, moduł dynamiczny przed i po badaniu mrozoodporności, odporność na krystalizację soli, wytrzymałość na ściskanie, statyczny kąt zwilżania.

Powierzchnia hydrofobowa w momencie kontaktu z cieczą powinna być nieprzepuszczalna dla wody i roztworów wodnych przy jednoczesnym zapewnieniu porowatości oraz zdolności respiracji, tzn. swobodnego wyparowywania wody znajdującej się w materiale. W związku z tym w pierwszej kolejności wykonano badania wskaźnika absorpcji kropli wody, nasiąkliwości materiałów budowlanych oraz dodatkowo wodoszczelności betonu przed i po hydrofobizacji. W celu sprawdzenia, czy hydrofobizacja materiałów nie powoduje uszczelnienia porów oraz nie zakłóca dyfuzji cieczy i gazów wykonano badania zdolności dyfuzyjnego odpływu pary wodnej oraz paroprzepuszczalności powłok hydrofobowych.

Rozszerzono ocenę skuteczności hydrofobizacji, badając jej wpływ na właściwości cieplne i fizyczne cegieł oraz zapraw w warunkach podwyższonej wilgotności.

Hydrofobizacja, powodując obniżenie nasiąkliwości wodą oraz roztworami soli powinna być jednym z elementów prawidłowej ochrony materiałów przed mrozem i krystalizacją soli. Z tego powodu wykonano badania odporności na cykle mrożenia i odmrażania oraz cykle krystalizacji soli, aby wykazać, czy hydrofobizacja podnosi mrozoodporność i odporność na korozję siarczanową.

Zastosowanie domieszek hydrofobizujących w mieszankach betonowych może powodować zmianę nie tylko parametrów fizycznych materiałów jak np. porowatości, nasiąkliwości, ale również zmianę parametrów mechanicznych. Z tej przyczyny zaproponowano badanie wytrzymałości na ściskanie zapraw i betonów, w których zastosowano domieszki hydrofobizujące, w celu wykazania, czy hydrofobizacja w masie obniża istotny dla tych materiałów parametr.

Uzupełnieniem oceny skuteczności hydrofobizacji były analizy mikrostrukturalne powłoki polisiloksanowej na powierzchni materiałów.

Następnie na podstawie pomiarów statycznych kątów zwilżania wyliczono swobodną energię powierzchniową oraz pracę adhezji, porównano metody obliczania swobodnej energii powierzchniowej, sformułowano model matematyczno-eksperymentalny hydrofobizowanych powierzchni budowlanych przy użyciu programu Statistica (model regresji liniowej, regresji logistycznej – iloraz szans OR ratio) oraz wyliczono pracę adhezji.

Przedmiot badań

Przeprowadzono ocenę efektywności hydrofobizacji powierzchniowej i strukturalnej porowatych materiałów budowlanych tj. cegła ceramiczna, beton zwykły i beton wysokiej wytrzymałości,

fibrobeton wysokiej wytrzymałości, beton z odpadami przemysłowymi jak żużel i piasek formierski, keramzytobeton bez i z osadami ściekowymi, zaprawy ciepłochronne z keramzytem, perlitem, zeolitem w tym ocenę efektywności hydrofobizacji skorodowanych materiałów pochodzących z obiektów budowlanych m.in. cegły i dachówki ceramicznej.

Przedmiotem badań są preparaty hydrofobizujące na bazie związków krzemooorganicznych. Klasyfikacji preparatów dokonano na podstawie badań literaturowych oraz badań własnych.

Skuteczność hydrofobizacji powierzchni budowlanych zależy od budowy związków krzemooorganicznych, ich lepkości i stężenia substancji czynnej.

Do badań hydrofobizacji powierzchniowej zakwalifikowano preparaty hydrofobizujące o następujących skrótach używanych w pracy:

– preparaty o rozpuszczalniku wodnym:

ŻMW – 20% roztwór żywicy metylosilikonowej w wodorotlenku potasu (1:6)

KK – hydrofobowy związek kwasu krzemowego (silikonian)

– preparaty o rozpuszczalniku organicznym:

AAS – alkilo-alkoksy-siloksan, którego nośnikiem są węglowodory alifatyczne, $R_n-Si-(OR')_{4-n}$, gdzie: R_n – pochodna alkilo-alkoksy-siloksanu,

ŻMO – żywica metylosilikonowa w rozpuszczalniku organicznym (benzyna lakowa),

$R-O-Si-[O-Si]_n-O-Si-R$, gdzie: R – pochodna metylu.

Zastosowano dwa rodzaje hydrofobizacji:

– powierzchniową (dwukrotne nanoszenie pędzlem lub poprzez zanurzenie materiału w preparacie przez 10 s)

– w masie (stosowanie preparatu jako domieszki do zapraw i betonów).

Do badań hydrofobizacji strukturalnej wybrano dwie domieszki hydrofobizujące - w postaci proszku i emulsji, stosowane w masie materiałów, oznaczone w pracy jako DC i DE. Posłużyły one do hydrofobizacji strukturalnej betonów i zapraw.

Wyniki badań i analiz

Badania efektywności hydrofobizacji porowatych materiałów budowlanych zostały bardzo szczegółowo przedstawione w podrozdz. 5.6.1-5.6.10 monografii. W autoreferacie w punkcie 4 w Podsumowaniu zamieszczono jedynie ogólne wnioski z tych badań, ze względu na to, że głównym celem monografii było określenie swobodnej energii powierzchniowej.

W autoreferacie przedstawiono własności adhezyjne powłok hydrofobowych poprzez określenie swobodnej energii powierzchniowej i pracy adhezji, będących czynnikami kształtującymi skuteczność hydrofobizacji.

Swobodna energia powierzchniowa

Na podstawie zmierzonych kątów zwilżania, wyliczono SEP wykorzystując w tym celu różne metody obliczeń m.in.: Owensa-Wendta, Neumanna, Wu oraz Fowkesa. Na tej podstawie autorka wykazała, że przy zastosowaniu wybranych metod uzyskano rozbieżne wyniki.

W związku z tym, autorka dokonała oceny przydatności wybranych modeli empirycznych wyznaczania SEP hydrofobizowanych porowatych materiałów budowlanych. Przyjęto założenie, poparte analizami statystycznymi, że SEP materiałów budowlanych można wiarygodnie szacować korzystając z metody, która daje wyniki najbardziej zbliżone do średniej arytmetycznej z wyników uzyskanych metodami Owensa-Wendta, Neumanna, Wu oraz Fowkesa.

Tabela 4.1 przedstawia równania stanu oraz zastosowane ciecze pomiarowe dla czterech wybranych metod wykorzystanych w pracy do obliczenia SEP.

Tabela 4.1. Równania stanu wykorzystane do wyliczenia SEP

Metoda	Równanie stanu	Właściwości cieczy	Użyta ciecz
Neumanna	$\cos \theta_w = \left[e^{-0,000125(\gamma_s - \gamma_w)^2} 2 \sqrt{\frac{\gamma_s}{\gamma_w}} - 1 \right]$	Jedna ciecz z wysoką polarną składową	Woda destylowana
Fowkesa	$\gamma_s^p = \left[\frac{\gamma_w (\cos \theta_w + 1) / 2 - (\gamma_w^d)^{1/2} (\gamma_s^d)^{1/2}}{(\gamma_w^p)^{1/2}} \right]^2$	Jedna ciecz z wysoką polarną składową oraz jedna ciecz z wysoką składową dyspersyjną	Woda destylowana dijodometan
Owensa Wendta	<p>Dyspersyjna składowa SEP</p> $\gamma_s^d = \frac{\gamma_g (\cos \theta_g + 1) - \gamma_w (\cos \theta_w + 1) \sqrt{\frac{\gamma_g^p}{\gamma_w^p}}}{2 \left(\sqrt{\gamma_g^d} - \sqrt{\frac{\gamma_g^p \gamma_w^d}{\gamma_w^p}} \right)}$ <p>Polarna składowa SEP</p> $(\gamma_s^p)^{1/2} = \frac{\gamma_w (\cos \theta_w + 1) - 2 \sqrt{\gamma_s^d \gamma_w^d}}{2 \sqrt{\gamma_w^p}}$	Dwie ciecze z wysoką składową polarną	Woda destylowana gliceryna
Wu	$\gamma_l (\cos \theta_l + 1) = 4 \left(\frac{\gamma_s^d \gamma_l^d}{\gamma_l^d + \gamma_s^d} + \frac{\gamma_s^p \gamma_l^p}{\gamma_l^p + \gamma_s^p} \right)$	Dwie ciecze z wysoką składową polarną	Woda destylowana gliceryna

Otrzymano następujące wyniki badań:

- *cegła ceramiczna*

Dla standardowych próbek, wartość SEP (metoda Wu) była najwyższa i wynosiła na początku badania 94,43 mJ/m². Świadczy to o dużej zwilżalności cegły. Najniższą wartość SEP uzyskano dla preparatu AAS - 19,58 mJ/m². Po 40 minutach hydrofobowość spadła o 7-15%, podczas gdy cegła wzorcowa była całkowicie hydrofilowa. SEP obliczona metodą Fowkesa była dla wszystkich pomiarów niższa, niż SEP określona metodą Wu. Rozbieżność wyników uzasadniona jest zastosowaniem różnych cieczy pomiarowych jak gliceryna i diiodometan, w wyniku czego uzyskano inne kąty zwilżania tymi cieczami.

- *keramzytobeton*

Najmniejszą wartość SEP (najśłabsze właściwości adhezyjne) otrzymano dla keramzytobetonu zhydrofobizowanego alkilo-alkoksy-siloksanem w rozpuszczalniku organicznym (16,23 mJ/m²). Ponadto można spostrzec, że we wszystkich przypadkach składowa dyspersyjna SEP (15,45-127,49

mJ/m^2) stanowi zdecydowanie większy udział w ogólnej wartości γ_s niż składowa polarna γ_s^p ($0,05 - 4,17 \text{ mJ/m}^2$).

Rozważając zmiany w czasie zauważono, iż z upływem czasu (po 40 minutach) wartość składowej dyspersyjnej γ_s^d oraz wartość sumaryczna SEP rośnie o 11,5% w przypadku preparatu ŻMO, o 44% - ŻMW, o 120% - AAS. Keramzytobetonu bez hydrofobizacji charakteryzują się bardzo dużą wartością SEP, co oznacza wysokie właściwości adhezyjne, nieodporność na wnikanie związków korozyjnych z wodą w strukturę porowatego materiału. Wprowadzenie związków krzemoorganicznych w strefę przypowierzchniową betonu powoduje, w zależności od budowy chemicznej preparatów, redukcję SEP i napięcia powierzchniowego betonu. Ma to wpływ na ograniczenie wnikania substancji korozyjnych w strukturę betonu, a tym samym wpływa na jego trwałość.

- betony z odpadami przemysłowymi

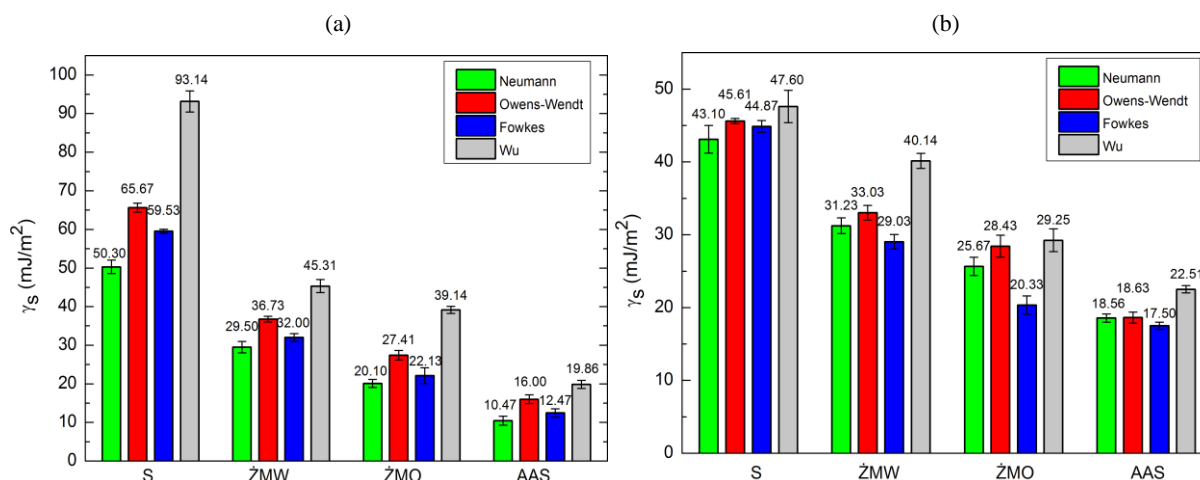
Wartości SEP są porównywalne na każdym etapie pomiaru. Najniższe wartości SEP $\gamma_s = 62,35 \text{ mJ/m}^2$ otrzymano dla betonu bez odpadów, co oznacza najslabsze właściwości adhezyjne spośród badanych betonów. Wszystkie powierzchnie betonowe charakteryzowały się wysoką zwilżalnością i dobrymi właściwościami adhezyjnymi. Na początku badania, SEP betonu wzorcowego była niższa o 9,3% od najwyższej wartości SEP betonu z dodatkiem 30% żużla. Wartości SEP wynikają z różnej porowatości betonów zależnej od zawartości żużla i piasku z procesów odlewniczych.

- betony ultra wysokiej wytrzymałości z lub bez włókien stalowych i polipropylenowych

Obszerne opracowanie stanowią obliczenia SEP przeprowadzone dla siedmiu rodzajów betonu UHPC z włóknami. Wartość SEP jest najwyższa i wynosi $76,23 \text{ mJ/m}^2$ dla SPC1 (z kruszywem granodiorytowym) i $75,16 \text{ mJ/m}^2$ dla SPC2 (z kruszywem granitowym) w przypadku betonu niehydrofobizowanego. W odniesieniu do betonu niehydrofobizowanego wartość SEP była 5,5 razy wyższa w przypadku betonu z kruszywem granodiorytowym (C1) oraz 3,7-krotnie wyższa dla betonu z kruszywem granitowym (C2), niż w przypadku tego samego podłoża po impregnacji. Najniższe wartości SEP $\gamma_s = 11,02 \text{ mJ/m}^2$ (metodą Owensa-Wendta) otrzymano dla betonu C1 hydrofobizowanego alkilo-alkoksy-siloksanem AAS. Beton referencyjny (C2) uzyskał najwyższą hydrofobowość za pomocą organicznego roztworu żywicy metylosilikonowej ($\gamma_s = 12,5 \text{ mJ/m}^2$). Beton o najwyższej zawartości włókien polipropylenowych (PC) charakteryzował się wartościami SEP wyższymi około 20% w stosunku do betonu bez włókien (C2). Wskazuje to na jego większą zwilżalność, którą potwierdziły badania nasiąkliwości. Podobną zależność można zaobserwować w badaniach betonu z włóknami stalowymi. W zależności od zastosowanej metody, SEP betonu (C1) jest do 24% wyższa niż SEP betonu (SC) o 1% zawartości włókien stalowych.

Biorąc pod uwagę zmiany w czasie, zaobserwowano, że w miarę upływu czasu (po 5 i 35 minutach) wartość SEP ulega zwiększeniu. W dalszej części przeanalizowano wpływ 180 cykli mrożenia i odmrażania na wartości SEP betonów standardowych. Po teście mrozoodporności, wszystkie wartości SEP były większe niż przed testem, maksymalnie o 15% (SC). Wyniki zinterpretowano na podstawie stosunku SEP przed i po cyklach mrożenia-odmrażania.

W dalszej kolejności w pracy dokonano porównania czterech metod obliczania SEP. W celu dokładniejszego zilustrowania występujących rozbieżności w wynikach uzyskanych poszczególnymi metodami na Rys. 4.1 przedstawiono wyniki SEP dla różnych materiałów rozpatrywanych w pracy.



Rys. 4.1. Porównanie SEP cegły ceramicznej oraz betonu wysokiej wytrzymałości z włóknami stalowymi przed i po hydrofobizacji (a) cegła ceramiczna, (b) beton SC

Stwierdzono, że uzyskano odmienne wyniki przy użyciu różnych metod obliczeniowych. Wyniki otrzymane przy pomocy metod wykorzystujących pary cieczy zależą od rodzaju tych cieczy. Dzięki zastosowaniu dwóch cieczy, wartości SEP są wyższe o około 7-20% niż w metodzie Neumanna wykorzystującej jedną ciecz. Wiąże się to z właściwym doбором drugiej cieczy pomiarowej, ponieważ kąty pomiędzy materiałem, a drugą cieczą w istotny sposób wpływają na wartości SEP. We wszystkich obliczanych w pracy przypadkach, najwyższe wartości SEP otrzymano przy użyciu metody Wu (do 35%, a w przypadku cegły wzorcowej 45%). Obliczone wartości SEP są różne i zależą od sposobu obliczeń i rodzaju cieczy pomiarowych.

W celu sformułowania wniosków odnośnie wyboru najbardziej wiarygodnej metody obliczania SEP porowatych materiałów budowlanych przed i po hydrofobizacji, autorka porównała (Tab. 4.2-4.3) ze sobą odchylenia od wartości średniej SEP, średnie odchylenia i odchylenie standardowe wyliczone dla czterech przyjętych w pracy metod. Analizie poddano SEP wybranych materiałów, tj. betony UHPC bez/lub z włóknami stalowymi i/lub polipropylenowymi, cegła ceramiczna, keramzytobeton.

Analizy wartości średniego odchylenia od średniej SEP oraz odchylenia standardowego potwierdzają, że wyniki SEP uzyskane przy użyciu metody Wu odbiegają istotnie statystycznie od średniej uzyskanej innymi metodami. W przypadku metody Wu średnie odchylenie jest ponad 4 razy większe niż w metodzie Owensa-Wendta w przypadku betonów UHPC oraz 13 razy większe w przypadku keramzytobetonów i 10 razy większe odnośnie cegły ceramicznej. Najbardziej wiarygodne wyniki (najniższa średnia i odchylenie standardowe) w przypadku wszystkich analizowanych materiałów uzyskano stosując metodę Owensa-Wendta. Dokładność jest podobna do niektórych badań opisanych w literaturze. Metoda Owensa-Wendta jest najczęściej zalecaną metodą obliczeń SEP

powierzchni polimerowych, tworzyw sztucznych. Przeprowadzone w pracy analizy potwierdziły możliwość wykorzystania tej metody w przypadku porowatych materiałów budowlanych przed i po hydrofobizacji.

Tabela 4.2. Odchylenie od średniej wartości SEP betonów UHPC

Rodzaj betonu	Rodzaj preparatu	Średnia SEP [mJ/m ²]	Odchylenie od średniej [%]			
			Metoda obliczania SEP			
			Neumanna	Owensa-Wendta	Fowkesa	Wu
C1	S	50,09	8,96	6,98	7,76	23,70
	ŻMW	33,67	1,11	4,73	14,17	20,01
	AAS	17,43	13,32	2,37	6,50	22,19
	ŻMO	12,64	3,21	2,57	4,23	4,87
SC	S	45,21	4,68	0,71	0,46	4,43
	ŻMW	31,87	0,54	3,85	8,70	5,39
	AAS	19,30	3,76	3,71	9,30	16,77
	ŻMO	25,76	0,94	9,81	20,43	11,56
SPC1	S	69,12	13,63	2,65	0,69	10,29
	ŻMW	33,37	0,58	1,24	14,30	16,11
	AAS	17,86	1,96	2,63	8,17	12,77
	ŻMO	35,34	3,09	0,67	9,46	11,88
SPC2	S	66,02	11,97	0,44	2,31	13,84
	ŻMW	31,71	1,85	1,66	10,75	14,26
	AAS	22,81	7,87	3,66	0,90	5,11
	ŻMO	38,57	4,71	1,21	6,13	12,04
SPC3	S	56,10	9,91	0,23	3,03	12,71
	ŻMW	28,39	3,14	3,43	4,20	10,77
	AAS	16,24	6,60	2,69	2,72	6,63
	ŻMO	39,16	7,57	4,28	2,18	5,48
PC	S	61,94	10,49	0,36	5,07	15,21
	ŻMW	23,86	5,09	1,78	3,58	10,46
	AAS	20,24	2,71	1,82	6,11	10,64
	ŻMO	22,33	1,59	1,23	9,97	10,32
C2	S	54,77	5,45	4,68	3,96	4,73
	ŻMW	22,57	4,50	3,08	3,83	11,41
	AAS	15,39	11,80	2,83	1,20	10,17
	ŻMO	13,92	1,72	1,58	10,20	10,34
Średnia [%]			5,46	2,75	6,44	11,57
Odchylenie standardowe s [%]			4,08	2,10	4,75	5,10

Równie dokładną metodą obliczania SEP betonów wysokiej wytrzymałości jest metoda Neumanna (średnie odchylenie wynosiło 5,46%, odchylenie standardowe 4,08%). Odnośnie materiałów o większej porowatości niż fibrobetony wysokiej wytrzymałości, jak cegła ceramiczna i keramzytobeton, według analiz drugą poprawną i dokładną metodą obliczeń SEP jest metoda Fowkesa. Jednakże w przypadku keramzytobetonów odchylenie standardowe było większe w tej metodzie, niż w metodzie Neumanna. Główną zaletą metody Neumanna jest możliwość stosowania tylko jednej cieczy np. wody destylowanej w celu określenia kąta zwilżania. Znacznie ogranicza to możliwość powstania błędów związanych z badaniami eksperymentalnymi, dostarczającymi danych wejściowych do dalszych obliczeń.

Tabela 4.3. Odchylenie od średniej wartości SEP cegły ceramicznej i keramzytobetonów

Rodzaj betonu	Rodzaj preparatu	Średnia SEP [mJ/m ²]	Odchylenie od średniej [%]			
			Metoda obliczania SEP			
			Neumanna	Owensa-Wendta	Fowkesa	Wu
Cegła ceram.	S	67,16	25,10	2,21	11,36	38,71
	ŻMW	35,89	17,80	2,43	10,83	26,32
	AAS	14,70	28,80	8,85	15,17	35,11
	ŻMO	27,20	26,10	0,80	18,62	43,90
Średnia [%]			24,45	3,57	14,00	36,01
Odchylenie standardowe s [%]			4,70	3,59	3,69	7,40
BK1	S	107,97	6,08	0,18	5,03	11,41
	ŻMW	69,68	3,85	1,49	0,98	3,33
	AAS	16,23	5,74	0,02	5,13	13,15
	ŻMO	81,29	2,82	0,16	1,59	4,56
BK2	S	128,01	2,35	0,02	0,79	3,12
	ŻMW	32,04	6,34	0,37	3,25	9,24
	AAS	33,27	7,11	3,02	7,14	19,47
	ŻMO	57,26	5,69	0,40	3,94	10,03
Średnia [%]			5,01	0,71	3,48	9,29
Odchylenie standardowe s [%]			1,75	1,05	2,26	5,60

Autorka zauważyła, że błędy możliwe są nie tylko podczas pomiarów laboratoryjnych kąta zwilżania drugą cieczą pomiarową, ale również na etapie przyjmowania danych do obliczeń. Mianowicie w literaturze można znaleźć różne wartości γ_l cieczy pomiarowej i jej składowych. Różne wartości składowych SEP można znaleźć nie tylko dla wody, ale też innych cieczy np. dla przyjętych w pracy diiodometanu, czy gliceryny. Autorka szerzej poruszyła ten problem w podrozdziale 2.3.2 monografii. Należy zauważyć, że ma to wpływ na uzyskanie różnych wartości liczbowych przy obliczaniu SEP powierzchni materiałów. Jest to kolejną przyczyną rozbieżności wyników obliczeń w przypadku korzystania z kilku metod i różnych cieczy pomiarowych.

W przypadku metody Fowkesa wyniki są zbliżone do wyników otrzymanych metodą Owensa-Wendta na powierzchniach cegły ceramicznej i keramzytobetonów, ponieważ w sensie matematycznym metody te są zbliżone, jednakże odmienny jest przebieg obliczeń SEP. Należy zauważyć, że z względów bezpieczeństwa, że w metodzie Fowkesa do pomiarów kąta zwilżania wykorzystywany jest diiodometan, jako ciecz dyspersyjna. Jest to substancja toksyczna, trująca i w kontakcie z nią należy zastosować szczególne środki ochrony. Fakt ten w pewnym stopniu przemawia za stosowaniem metod równie dokładnych, ale wykorzystujących bezpieczne, ogólnodostępne ciecze jak woda, czy gliceryna.

Odnośnie największych rozbieżności uzyskanych metodą Wu, należy przypomnieć, że wykorzystuje ona skomplikowaną metodę średniej harmonicznej przy użyciu dwóch cieczy o dużej składowej polarnej np. wody i gliceryny. Równanie wyprowadzone przez Wu, przyjmuje postać równania z czterema niewiadomymi, które najczęściej rozwiązywane jest numerycznie. Ze względu na zbyt złożoną i skomplikowaną postać koncepcja Wu nie odegrała szczególnej roli w rozwoju badań nad zwilżalnością i SEP materiałów polimerowych. Autorka pracy potwierdziła brak przydatności tej metody również w pomiarach SEP porowatych materiałów budowlanych ze względu na zbyt duże odchylenie od średnich wartości SEP.

Jeszcze trudniejszą sytuację spotykać można, jeśli powierzchnia materiału będzie modyfikowana substancją chemiczną, w tym przypadku preparatem hydrofobizującym. W zależności od rodzaju modyfikacji zmienia się skład chemiczny, struktura, czy też chropowatość warstwy powierzchniowej, co powoduje zmiany oddziaływań międzyfazowych. Ma to kluczowe znaczenie przy obliczaniu wartości SEP przy użyciu poszczególnych metod. Z tych też względów przedmiotem analiz porównawczych wartości SEP mogą być jedynie wyniki uzyskane tą samą metodą i przy użyciu tych samych cieczy pomiarowych.

Na podstawie przeprowadzonych w pracy obliczeń i analiz oraz analizy literatury, do dalszych rozważań przyjęto metodę Owensa-Wendta dostarczającą najbardziej wiarogodne wyniki SEP hydrofobizowanych materiałów budowlanych.

Wyznaczone wartości empiryczne SEP są podstawą do sformułowania zależności pomiędzy SEP, a wynikami badań doświadczalnych, co też szczegółowo przedstawiono w Rozdziale 5.8 monografii.

Sformułowanie modelu matematyczno-eksperymentalnego hydrofobizowanych konstrukcji budowlanych

Modele regresji liniowej z jedną lub dwoma zmiennymi wyjściowymi

Z uwagi na większą możliwość wykorzystania wyników obliczeń SEP uzyskanych przy wykorzystaniu metody Owensa-Wendta wyznaczono modele matematyczno-eksperymentalne z jedną zmienną wejściową. Modele te w niniejszej pracy wyznaczono w postaci funkcji kwadratowych. Przy formułowaniu modeli matematyczno-eksperymentalnych nie rozpatrywano czynnika czasu, w związku z tym modele te mają charakter statyczny. Jakość dopasowania modeli do wyników eksperymentalnych oszacowano przez wyznaczenie współczynników determinacji R^2 . Wysokie wartości tego współczynnika potwierdzają bardzo dobre dopasowanie funkcji wielomianowych do danych doświadczalnych. Wartość SEP jest jednym z najważniejszych czynników, który określa właściwości adhezyjne materiału przed i po hydrofobizacji, jak również jest czynnikiem, który decyduje o skuteczności hydrofobizacji w ochronie przed korozją powierzchni budowlanych.

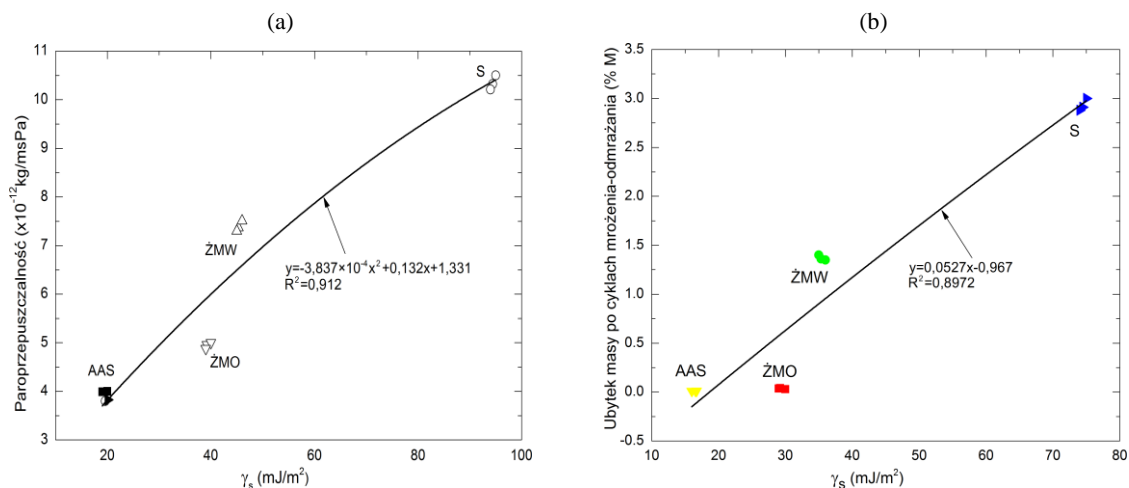
W pierwszej kolejności wyznaczono najprostsze modele matematyczno-eksperymentalne z jedną zmienną wejściową – swobodną energią powierzchniową. Przedstawiono zależności cech fizycznych materiałów budowlanych od ich właściwości adhezyjnych (SEP).

Zaobserwowano wpływ SEP na przepuszczalność pary wodnej w cegle ceramicznej. Rys. 4.2a przedstawia zastosowanie metody Owensa-Wendta do wyznaczenia krzywej drugiego stopnia, opisującej zależność przepuszczalności pary wodnej od swobodnej energii powierzchniowej. Wysoki współczynnik determinacji $R^2 = 0,912$ potwierdza istnienie silnej zależności pomiędzy tymi cechami.

Wyniki są wyraźnie pogrupowane w zależności od rodzaju hydrofobizacji. Najwyższe wartości SEP i przepuszczalności pary wodnej otrzymano dla cegły S, które oznaczają dobrą zwilżalność i dyfuzję pary wodnej w tym materiale. Odmienne właściwości uzyskano dla cegły zhydrofobizowanej alkilo-alkoksy-silanami. W tym przypadku, stosunek SEP do przepuszczalności pary wodnej jest

prawie 3 razy mniejszy niż dla cegły wzorcowej.

W pracy wykazano, że SEP pozostaje w ścisłych zależnościach z innymi cechami fizycznymi cegły ceramicznej przed i po hydrofobizacji. Jednym z przykładów takiej korelacji jest funkcja liniowa SEP obliczona metodą Owens-Wendta i ubytku masy po cyklach mrożenia-odmrażania (Rys. 4.2b). W tym przypadku wyniki również są pogrupowane w zależności od rodzaju hydrofobizacji. Najlepszą ochronę przed wpływem cykli mrożenia i odmrażania zapewnił powierzchni ceramicznej alkilo-alkoksy-siloksan.



Rys. 4.2. Zależność pomiędzy SEP a przepuszczalnością pary wodnej (a) oraz ubytkiem masy po cyklach mrożenia – odmrażania (b) cegły ceramicznej

W Tabeli 4.4 zestawiono modele matematyczno-eksperymentalne z jedną zmienną wejściową – SEP cegły przed i po hydrofobizacji.

Tabela 4.4. Model matematyczno-eksperymentalny referencyjnych i hydrofobizowanych cegieł

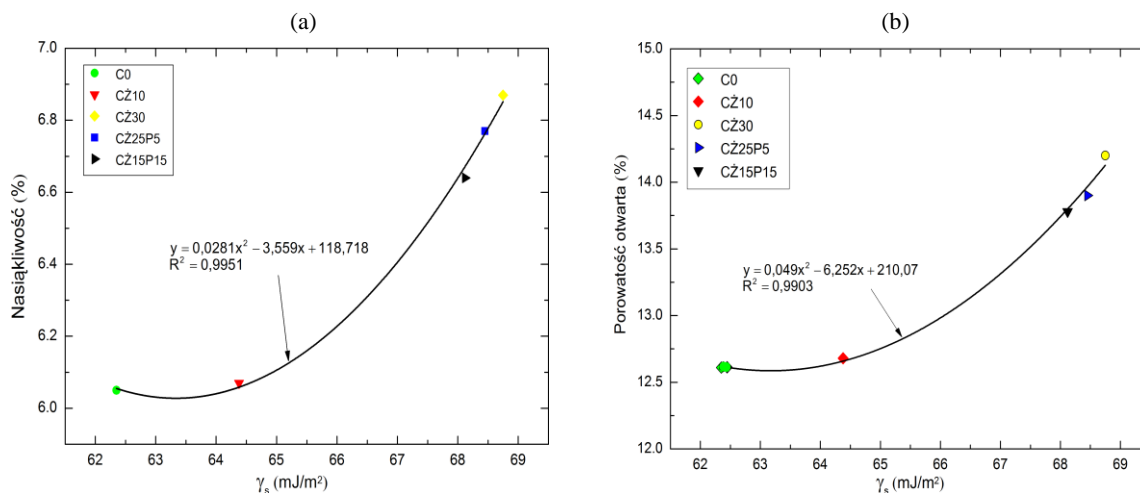
Właściwość	Zależność od jednej zmiennej empirycznej $x - \gamma_s$	Współczynnik determinacji R^2
Nasiąkliwość [%]	$y = -0,0175x^2 + 3,299x - 48,1954$	0,8896
Paroprzepuszczalność [$\times 10^{-12}$ kg/msPa]	$y = 3,837 \times 10^{-4}x^2 + 0,132x + 1,331$	0,9120
Ubytek masy po badaniu mrozoodporności [%]	$y = 0,0527x - 0,967$	0,8972
Ubytek masy po badaniu krystalizacji soli [%]	$y = 0,0524x - 1,2112$	0,9260

We wszystkich analizowanych wariantach zaobserwowano istotny wpływ samej hydrofobizacji oraz rodzaju preparatów na cechy fizyczne cegieł. W każdym przypadku najniższe wartości SEP oraz najniższą nasiąkliwość, paroprzepuszczalność, ubytek masy po badaniu mrozoodporności i krystalizacji soli uzyskano dla cegły zhydrofobizowanej alkilo-alkoksy-silanami (AAS). Najwyższe wartości wszystkich rozpatrywanych w pracy parametrów uzyskano dla cegieł wzorcowych. Właściwości adhezyjne cegły pozostają w ścisłej korelacji z wyżej wymienionymi cechami fizycznymi, o czym świadczą wysokie współczynniki determinacji R^2 .

Inne analizowane w pracy materiały budowlane również charakteryzują się ścisłymi zależnościami pomiędzy SEP i ich parametrami fizycznymi.

Dla pięciu analizowanych betonów wysokiej wytrzymałości z odpadami przedstawiono korelację

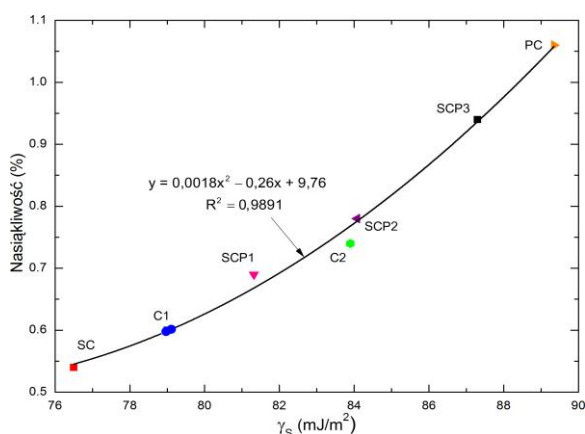
między całkowitą wartością SEP i nasiąkliwością oraz porowatością otwartą. Rys. 4.3 przedstawia zastosowanie metody Owensa-Wendta do obliczania krzywych opisujących zależność nasiąkliwości i porowatości otwartej od wartości SEP.



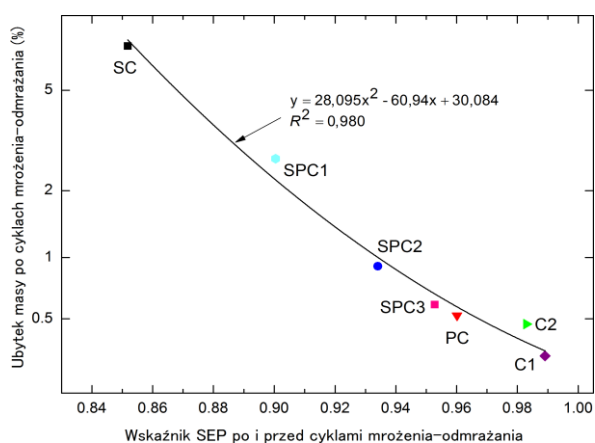
Rys. 4.3. Zależność pomiędzy SEP a nasiąkliwością (a) oraz porowatością otwartą (b) betonów

Najwyższe wartości SEP, nasiąkliwości i porowatości otwartej uzyskano dla betonu CZ30 o najwyższej zawartości żużla paleniskowego, natomiast najniższe wartości wymienionych parametrów posiada beton C0 bez odpadów. Stwierdzono, że wartość SEP dokładnie odpowiada nasiąkliwości i porowatości w każdym okresie badania. Funkcje drugiego stopnia charakteryzują się dobrym dopasowaniem ponieważ współczynnik korelacji w pierwszym przypadku wynosi 0,9951 (Rys. 4.3a), a w drugim 0,9903 (Rys. 4.3b) przy stosunkowo niskich odchyleniach od krzywej.

Rys. 4.4 przedstawia związek pomiędzy nasiąkliwością i wartościami SEP obliczonymi metodą Owensa-Wendta dla wszystkich badanych standardowych fibrobetonów UHPC.



Rys. 4.4. Zależność pomiędzy SEP a nasiąkliwością fibrobetonów UHPC



Rys. 4.5. Zależność pomiędzy ubytkiem masy, a wskaźnikiem SEP po i przed cyklami mrożenia-odmrażania

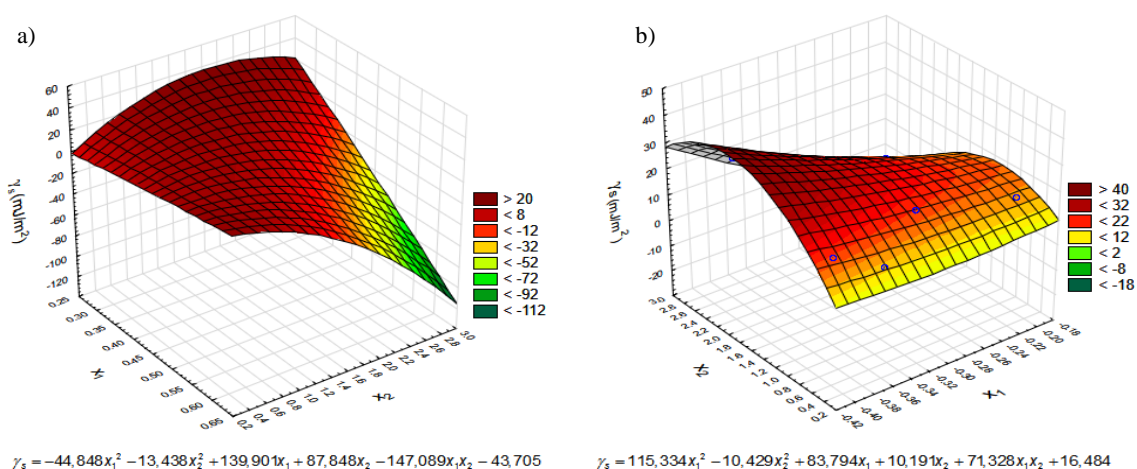
Najwyższe wartości SEP i nasiąkliwości uzyskano dla betonu PC o najwyższej zawartości włókien polipropylenowych, natomiast najniższe wartości SEP i nasiąkliwości zostały osiągnięte przez beton

SC o najwyższej zawartości włókien stalowych. Stwierdzono, że wartość SEP dokładnie odpowiada nasiąkliwości w każdym okresie badania. Wielomian drugiego stopnia uzyskany metodą Owensa-Wendta charakteryzuje bardzo dobry współczynnik determinacji $R^2 = 0,9891$. Dla wszystkich fibrobetonów UHPC została ustalona korelacja między utratą masy i wskaźnikiem SEP przed i po badaniu mrozoodporności (Rys. 4.5). Zależność ta może być opisana równaniem: $y = 28,095x^2 - 60,94x + 30,084$, które charakteryzuje się doskonałym współczynnikiem determinacji $R^2 = 0,98$. Wyniki dla betonu z 1% włókien stalowych (SC) były znacząco różne od pozostałych wyników. Beton ten charakteryzuje się najwyższym ubytkiem masy w teście mrozoodporności i najwyższą różnicą pomiędzy SEP przed i po badaniu. Stwierdzono, że włókna stalowe mają niekorzystny wpływ na odporność na korozję, przy czym beton bez włókien posiada największą odporność na mróz.

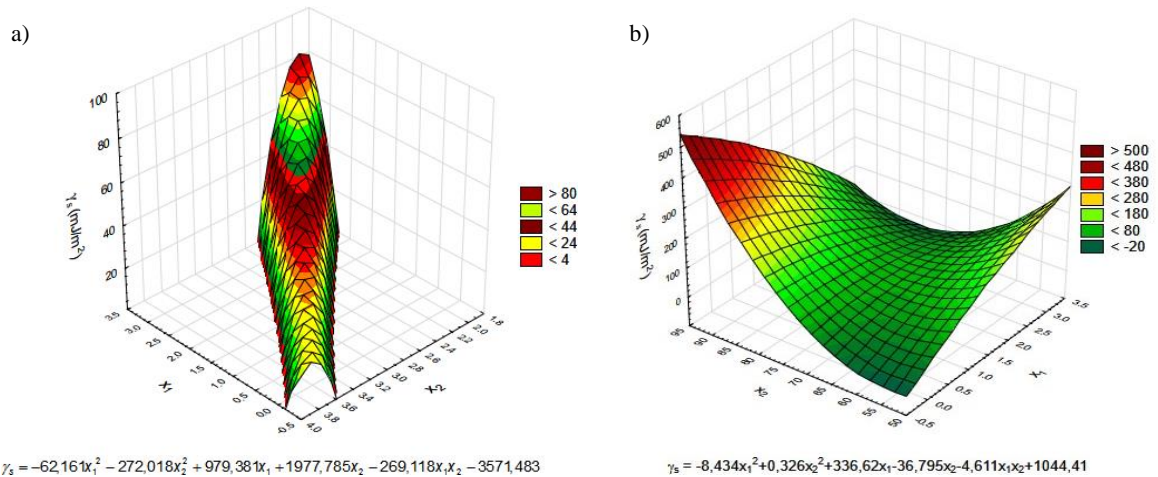
Proste modele matematyczno-eksperymentalne z jedną zmienną wejściową potwierdziły, że SEP może być miarą różnych cech fizycznych materiałów budowlanych, np. miarą porowatości, zwilżalności oraz mrozoodporności betonu wysokiej wytrzymałości z materiałów odpadowych, takich jak żużel i piasek odlewniczy lub fibrobetonów wysokiej wytrzymałości z różną zawartością włókien. Istnienie tak silnych zależności pomiędzy tymi cechami pozwoli wyeliminować dodatkowe, długoterminowe badania laboratoryjne nasiąkliwości, porowatości, a zwłaszcza mrozoodporności.

W dalszej części pracy zaproponowano bardziej złożony model matematyczno-eksperymentalny z dwoma zmiennymi wejściowymi. Funkcje modelowe drugiego stopnia wyznaczono za pomocą metodą najmniejszych kwadratów. Złożone modele mają na celu lepsze zrozumienie właściwości adhezyjnych materiału po hydrofobizacji i jej wpływu na cechy fizyczne tego materiału.

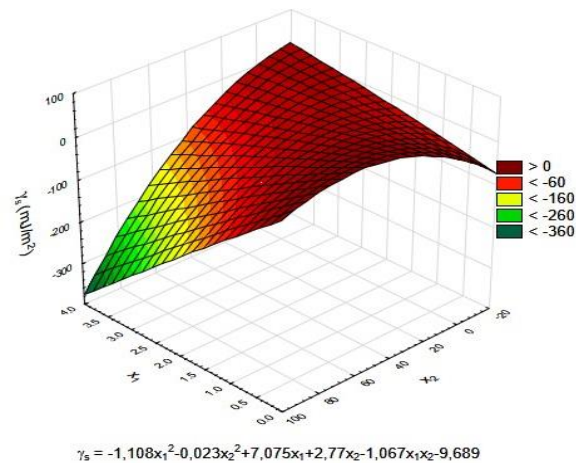
Przedstawione poniżej modele (Tabela 4.5 i Rys. 4.6-7.9) prezentują, w jakim stopniu cechy danego materiału wpływają na właściwości adhezyjne, a więc zwilżalność jego powierzchni, co pośrednio definiuje odporność korozyjną tego materiału.



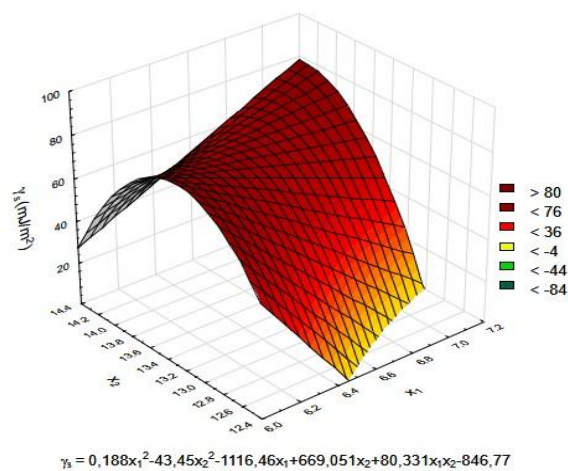
Rys. 4.6. Zależność SEP od: (a) nasiąkliwości i mrozoodporności, (b) odporności na krystalizację soli i mrozoodporności betonów hydrofobizowanych AAS



Rys. 4.7. Zależność SEP od: (a) ubytku masy i modułu dynamicznego po badaniu mrozoodporności, (b) ubytku masy po badaniu krystalizacji soli i wskaźnika dyfuzji pary wodnej po 7 dniach cegieł przed i po hydrofobizacji



Rys. 4.8. Zależność SEP od ubytku masy po badaniu mrozoodporności i nasiąkliwości hydrofobizowanych keramzytobetonów BK1 (ŻMW, ŻMO, AAS)



Rys. 4.9. Zależność SEP od nasiąkliwości i porowatości wzorcowych betonów z odpadami (C0-CŻ15P15)

Tabela 4.5. Model matematyczno-eksperymentalny z dwoma zmiennymi wejściowymi referencyjnych i hydrofobizowanych powierzchni budowlanych

Material	Zależność SEP (γ_s) od dwóch zmiennych wejściowych
	x_1 – nasiąkliwość, x_2 – ubytek masy po mrozoodporności
UHPC - S UHPC - AAS	$\gamma_s = 84,977x_1^2 - 11,606x_2^2 - 114,725x_1 + 74,009x_2 - 47,304x_1x_2 + 71,749$ $\gamma_s = -44,848x_1^2 - 13,438x_2^2 + 139,901x_1 + 87,848x_2 - 147,089x_1x_2 - 43,705$
	x_1 – ubytek masy po krystalizacji soli, x_2 – ubytek masy po mrozoodporności
UHPC - S UHPC - AAS	$\gamma_s = -1139,508x_1^2 - 0,3405x_2^2 + 139,281x_1 + 14,09x_2 + 71,69x_1x_2 + 38,609$ $\gamma_s = 115,334x_1^2 - 10,429x_2^2 + 83,794x_1 + 10,191x_2 + 71,328x_1x_2 + 16,484$
	x_1 – ubytek masy po mrozoodporności, x_2 – moduł dynamiczny po badaniu mrozoodporności
Cegła	$\gamma_s = -62,16x_1^2 - 272,02x_2^2 + 979,38x_1 + 1977,78x_2 - 269,12x_1x_2 - 3571,48$
	x_1 – ubytek masy po krystalizacji soli, x_2 – wskaźnik dyfuzji pary wodnej
Cegła	$\gamma_s = -8,434x_1^2 + 0,326x_2^2 + 336,62x_1 - 36,795x_2 - 4,611x_1x_2 + 1044,41$
	x_1 – ubytek masy po mrozoodporności, x_2 – nasiąkliwość
BK1	$\gamma_s = -1,108x_1^2 - 0,023x_2^2 + 7,075x_1 + 2,77x_2 - 1,067x_1x_2 - 9,689$
	x_1 – nasiąkliwość, x_2 – porowatość
Beton z odpadami	$\gamma_s = 0,188x_1^2 - 43,45x_2^2 - 1116,46x_1 + 669,051x_2 + 80,331x_1x_2 - 846,77$

Właściwości adhezyjne (SEP) pozostają w ścisłych zależnościach z innymi cechami materiału. Znajomość SEP może być więc przydatna nie tylko w praktyce przy wyborze odpowiedniego środka hydrofobizującego, ale także może stanowić podstawę do projektowania składu takich materiałów jak zaprawy, betony lekkie, zwykłe i wysokiej wytrzymałości.

Regresja logistyczna - iloraz szans

Celem obliczeń OR ratio jest analiza czynników korozyjnych mających wpływ na wzrost ilorazu szans uszkodzenia lub ochrony powierzchni i struktury rozpatrywanych w pracy materiałów budowlanych.

Poniżej obliczono szansę uszkodzenia próbek wybranych materiałów budowlanych poddanych cyklom mrożenia-odmrażania. Pierwszą grupę (A) stanowiły materiały wzorcowe bez zabezpieczenia hydrofobowego, grupę odniesienia (B) materiały po hydrofobizacji.

Iloraz szans odnosi się do sytuacji, gdy uszkodzenie materiałów (występowanie danego zjawiska) badane jest w dwóch niezależnych grupach. Wyrażony jest on stosunkiem szansy uszkodzenia próbek w grupie A, czyli $S(A)$, do szansy uszkodzenia próbek w grupie B, czyli $S(B)$. W Tabeli 4.6 zestawiono informacje o przebadanych próbkach, szansę uszkodzenia próbek przez mróz i iloraz szans.

W przypadku cegły ceramicznej i fibrobetonów UHPC szansa na uszkodzenie próbek przez mróz jest odpowiednio prawie 5 i 4 razy większa w grupie materiałów nieimpregnowanych, niż w grupie cegieł i fibrobetonów hydrofobizowanych powierzchniowo związkami krzemoorganicznymi. W przypadku hydrofobizacji strukturalnej (w masie) betonów zwykłych sytuacja jest odwrotna. Szansa na

uszkodzenie próbek betonu jest 7,2 razy większa wśród betonów hydrofobizowanych strukturalnie, niż betonów bez domieszki hydrofobowej.

Tabela 4.6. Szansa i iloraz szans uszkodzenia materiałów w czasie cykli mrożenia-odmrażania

Rodzaj materiału	Rodzaj grupy	Ilość próbek			Szansa S(A) lub S(B)	Iloraz szans $OR_{A \times B}$
		uszkodzonych	nieuszkodzonych	suma		
Zaprawy lekkie	A	21	33	54	0,636	2,802
	B	10	44	54	0,227	
Cegła	A	7	13	20	0,538	4,847
	B	3	27	30	0,111	
Beton zwykły	A	1	9	10	0,111	7,200
	B	8	10	18	0,800	
Fibrobeton UHPC	A	8	34	42	0,253	4,016
	B	5	79	84	0,063	

W następnej kolejności obliczono szansę skutecznego zabezpieczenia powierzchni budowlanych poprzez hydrofobizację (uzyskanie niezwilżalności w początkowym okresie kontaktu z wodą) w odniesieniu do ich własności adhezyjnych (SEP). Pierwszą grupę (A) stanowiły materiały bez zabezpieczenia hydrofobowego, drugą grupę (B) materiały po hydrofobizacji. Rozpatrywanym parametrem są wartości SEP. Przyjmuje się, że materiał jest niezwilżalny, jeśli kąt zwilżania materiału wodą jest większy niż 90° . Wówczas wartość SEP dla takiego kąta wyliczona metodą Neumanna wynosi $29,24 \text{ mJ/m}^2$. W pracy na potrzeby analizy przyjęto, że materiał jest niezwilżalny, czyli jego własności adhezyjne są bardzo niskie, jeśli wartość SEP będzie mniejsza niż 29 mJ/m^2 .

W Tabeli 4.7 zestawiono wyniki obliczeń modelu regresji logistycznej – szansę na uzyskanie niezwilżalności.

Tabela 4.7. Model regresji logistycznej – szansa niezwilżalności powierzchni materiałów budowlanych po hydrofobizacji

Rodzaj materiału	Ilość próbek			Szansa S(A)
	$\gamma_s < 29 \text{ [mJ/m}^2]$	$\gamma_s > 29 \text{ [mJ/m}^2]$	suma	
Cegła	8	12	20	0,667
Keramzytobeton	6	14	20	0,428
Beton zwykły	10	10	20	1,0
Fibrobeton UHPC	84	42	126	2,003
Beton z odpadami	32	13	45	2,461

Na podstawie wyników materiały uszeregowano w kolejności rosnącej szansy na uzyskanie niezwilżalności powierzchni materiałów poprzez ich hydrofobizację:

$$S_{(BK)} < S_{(Cegla)} < S_{(BZ)} < S_{(UHPC)} < S_{(CZP)}$$

Najniższą szansę na skuteczną hydrofobizację (niezwilżalność) mają keramzytobeton. Zaobserwowano, że w miarę spadku porowatości i nasiąkliwości materiału, szansę te rosną.

W celu porównania ze sobą skuteczności hydrofobizacji poszczególnych materiałów budowlanych, w Tabeli 4.8 przedstawiono iloraz szans w formie macierzy.

Tabela 4.8. *Macierz ilorazu szans skuteczności hydrofobizacji materiałów budowlanych*

Iloraz szans OR _{AXB}	Cegła	Keramzyto- beton	Beton zwykły	Fibrobeton UHPC	Beton z odpadami
Cegła	-	1,56	1,50	3,00	3,69
Keramzytobeton	1,56	-	2,34	4,68	5,75
Beton zwykły	1,50	2,34	-	2,00	2,46
Fibrobeton UHPC	3,00	4,68	2,00	-	1,23
Beton z odpadami	3,69	5,75	2,46	1,23	-

Największa szansa na skuteczne zabezpieczenie hydrofobowe powierzchni występuje w betonach wysokiej wytrzymałości z żuzłem paleniskowym i piaskiem odlewniczym oraz fibrobetonach wysokiej wytrzymałości z włóknami stalowymi i polipropylenowymi. Szansa ta jest ponad dwukrotnie wyższa niż w betonach zwykłych o $w/c=0,45$ oraz ponad pięciokrotnie wyższa niż w keramzytobetonach.

Cegła ceramiczna została ponad trzykrotnie mniej efektywnie zabezpieczona przed wodą, niż betony wysokiej wytrzymałości. Im materiał jest bardziej porowaty i nasiąkliwy, tym mniejsza szansa na uzyskanie wartości $SEP < 29 \text{ mJ/m}^2$, a więc niezwilżalnej powierzchni poprzez jej hydrofobizację powierzchniową. Analiza wyników SEP uzyskanych po hydrofobizacji materiałów wskazuje, że zastosowanie oligomerów alkilo-alkoksy-siloksanów znacznie podnosi szansę na uzyskanie wartości $SEP < 29 \text{ mJ/m}^2$ z wyjątkiem keramzytobetonów, gdzie najlepsze parametry SEP uzyskano przy użyciu żywicy metylosilikonowej w rozpuszczalniku wodnym. Zastosowanie wielkocząsteczkowych żywic, w przypadku pozostałych materiałów, zmniejsza tę szansę w znacznym stopniu.

Ryzyko nieskutecznej hydrofobizacji można również zmniejszyć poprzez wydłużenie czasu hydrofobizacji, zastosowanie większej liczby powłok niż dwie, zastosowanie związków w rozpuszczalnikach organicznych lub w postaci kremów i past.

Cenną korzyścią z analizy uzyskanej na podstawie ilorazu szans jest możliwość dokładnej interpretacji skuteczności hydrofobizacji w porównaniu do innych materiałów. Zastosowaną metodą statystyczną można ocenić istotność wykonywania tego typu impregnacji i oszacować szanse jego powodzenie.

Praca adhezji

Dla wybranych powierzchni budowlanych wyznaczono pracę adhezji W_{sl} ze wzoru Dupré:

$$W_{sl} = \gamma_s + \gamma_l - \gamma_{sl} \quad (4.1),$$

gdzie:

γ_s – SEP ciała stałego [mJ/m^2], γ_l – SEP cieczy [mJ/m^2], γ_{sl} – SEP międzyfazowa (faz ciało stałe-ciecz) [mJ/m^2].

Wyniki obliczeń pracy adhezji zestawiono w Tabeli 4.9.

Tabela 4.9. *Praca adhezji powierzchni budowlanych*

Rodzaj materiału	Praca adhezji W_{st} [mJ/m ²]	Rodzaj materiału	Praca adhezji W_{st} [mJ/m ²]
BK1	122,28	Cegła	155,16
BK1-ŻMW	68,42	C-ŻMW	89,48
BK1-ŻMO	36,12	C-ŻMO	87,98
BK1-AAS	41,46	C-AAS	45,10
C1	119,64	C0	137,31
C1-ŻMW	16,65	CŻ10	144,45
C1-AAS	6,71	CŻ30	151,80
C1-ŻMO	89,24	SC	91,22

Na podstawie badań zaobserwowano, że im większa jest zwilżalność materiału (mniejszy kąt zwilżania), tym należy wykonać większą pracę, w celu rozłączenia analizowanych ciał. Im materiał był bardziej hydrofobowy, tym kąt zwilżania większy, a praca adhezji mniejsza. Najmniejszą pracą adhezji (6,71 mJ/m²) wśród badanych materiałów otrzymano dla betonu UHPC C1 zhydrofobizowanego alkilo-alkoksy-siloksanem AAS.

Podsumowanie

W monografii „Swobodna energia powierzchniowa jako czynnik kształtujący skuteczność hydrofobizacji w ochronie konstrukcji budowlanych” zebrano rezultaty wynikające z wieloletnich badań autorki.

Podstawowym zadaniem wykonanych badań oraz analiz było pozyskanie i pogłębienie wiedzy mającej istotne znaczenie podczas wyboru i wykonywania zabiegu hydrofobizacji powierzchni budowlanych o różnych właściwościach i strukturach, coraz częściej stosowanego w różnorodnych konstrukcjach pracujących w środowiskach korozyjnych. W tym celu zrealizowano szereg badań eksperymentalnych związanych zarówno z określeniem charakterystyki badanych materiałów konstrukcyjnych, jak i z określeniem ich właściwości adhezyjnych przed i po hydrofobizacji. Podczas realizacji celów naukowych oceniono skuteczność hydrofobizacji powierzchni materiałów budowlanych tj. cegła ceramiczna, beton wysokiej wytrzymałości z/lub bez włókien, beton zwykły, keramzytobeton, zaprawy lekkie. Efektywność hydrofobizacji w dużym stopniu zależy od właściwości fizycznych zabezpieczanej powierzchni – porowatości, szczelności, nasiąkliwości oraz rodzaju preparatu hydrofobizującego.

W badaniach przyjęto możliwości wpływania na zmiany właściwości adhezyjnych materiałów budowlanych, mianowicie poprzez zastosowanie różnych związków krzemorganicznych na powierzchni materiałów.

Wnioski wynikające z badań zaprezentowanych w pracy przedstawiają się następująco:

Różnica w skuteczności pomiędzy preparatami jest zauważalna, jednak hydrofobizacja roztworami wodnymi powoduje z reguły małe obniżenie nasiąkliwości zwłaszcza betonu, co związane jest z jego wysoką szczelnością. Żywica uzyskana z wielkocząsteczkowych silikonianów nie gwarantuje dobrego efektu hydrofobowego w dłuższym okresie, z wyjątkiem betonów lekkich, co potwierdzono w badaniach.

Dodatkowo preparaty wodorocieńczone spowodowały osadzenie się żelu polisiloksanowego w warstwie przypowierzchniowej, znacznie zwiężając przy tym światło kapilar. Preparat ten nie wnika w strukturę, zwłaszcza betonu, lecz uszczelnia pory przypowierzchniowe podłoża. Należy przypuszczać, że ograniczyło to możliwość swobodnego przemieszczania się krystalizującego lodu w strukturze betonu, powodując spadek wytrzymałości oraz znaczne ubytki masy betonów hydrofobizowanych silikonianami w stosunku do betonu wzorcowego. W wyniku penetracji wody przez nieuszczelną powłokę i korozji mrozowej możliwe jest rozwarstwienie na styku podłoża i powłoki. Jeśli powłoka hydrofobowa niedostatecznie zabezpiecza podłoże przed wnikaniem wody np. z powodu niewytworzenia się molekularnej powłoki hydrofobowej lub z powodu uszkodzeń mechanicznych, rys, pęknięć hydrofobizacja może spowodować wzmożony proces destrukcji w stosunku do materiału nieimpregnowanego. Hydrofobizacja materiałów budowlanych powoduje przesunięcie strefy krystalizacji lodu w głąb materiału. Dlatego istotnym parametrem gwarantującym skuteczność hydrofobizacji jest przyczepność powłok do podłoża.

Cienki film silikonowy uzyskany z preparatów na bazie LZO zapewnia skuteczność hydrofobizacji. Ze względu na małą cząsteczkową strukturę w stanie wyjściowym preparat niskocząsteczkowy alkiloalkoksy-siloksan wykazuje bardzo dobrą zdolność penetracji i reaguje chemicznie w betonie w obecności wilgoci atmosferycznej przechodząc w hydrofobową, odporną na działanie czynników atmosferycznych substancję czynną - polisiloksan. Autorka przychyliła się do opinii, że istotne znaczenie podczas tworzenia powłoki polimerowej ma geometria, budowa cząsteczki polimeru, a nie natura chemiczna związku polimeru, co też wykazano w monografii.

Powłoki hydrofobowe wykazały dobrą paroprzepuszczalność. Zarówno próbki impregnowane jak i wzorcowe uzyskały wilgotność porównywalną do tej, sprzed badania nasiąkliwości, chociaż procentowy spadek wilgotności jest najmniejszy w przypadku niskocząsteczkowego preparatu węglowodorowego. Na tej podstawie wnioskować można, że środki hydrofobizujące nie utrudniają dyfuzji pary wodnej z zaimpregnowanego materiału lub czynią to w małym stopniu.

Na podstawie wyników uzyskanych w toku realizacji osiągnięcia naukowego, należy wskazać jednoznacznie największą efektywność hydrofobizacji betonu i cegły ceramicznej z zastosowaniem niskocząsteczkowego alkiloalkoksy-siloksanu. W przypadku materiałów szerokoporowatych jak keramzytobeton najlepszą efektywność uzyskano przy użyciu wielkocząsteczkowych żywic metylo-silikonowych.

Do najważniejszych osiągnięć naukowych należą wyniki prac nad skutecznością i odpornością na mróz i sole siarczanowe materiałów, które nie były dotychczas lub nie są często przedmiotem badań naukowych w tym zakresie. Do takich materiałów zaliczyć można keramzytobeton z osadami ściekowymi, zaprawy ciepłochronne z kruszywem lekkim, betony ultra wysokiej wytrzymałości bez/z włóknami stalowymi i polipropylenowymi, betony wysokiej wytrzymałości z materiałami odpadowymi, jak żużel ze spalania węgla i piasek odlewniczy. Dokonano również w szerokim zakresie szczegółowej analizy powszechnie stosowanego materiału jak cegła ceramiczna.

Metody hydrofobizacji, w wyniku prowadzonych badań własnych i analizy literatury, zweryfikowane zostały na elementach pochodzących z obiektów budowlanych i tym samym potwierdzona została ich przydatność w zastosowaniach praktycznych.

Właściwości adhezyjne określono za pomocą swobodnej energii powierzchniowej, wyznaczonej czterema metodami, najczęściej stosowanymi w odniesieniu do ciał stałych. Najbardziej reprezentatywną cechą pozwalającą określić wpływ właściwości adhezyjnych na skuteczność hydrofobizacji jest swobodna energia powierzchniowa.

Jednym z rezultatów osiągnięć naukowych jest ocena przydatności modeli empirycznych wyznaczania swobodnej energii powierzchniowej hydrofobizowanych materiałów budowlanych oraz ustalenie korelacji pomiędzy wynikami badań doświadczalnych, a swobodną energią powierzchniową.

Wykazano, że wartości SEP obliczone przy użyciu metody Wu odbiegają od średniej wartości uzyskanej innymi metodami. Wskazuje to na uzyskanie jak najmniej wiarygodnych wyników. Najbardziej wiarygodne wyniki uzyskuje się stosując metody Owensa-Wendta i Neumanna. Równie dokładną metodą obliczania SEP, jak metoda Owensa-Wendta jest metoda Neumanna. Główną zaletą tej metody jest możliwość stosowania tylko jednej cieczy pomiarowej w celu określenia kąta zwilżania. Ogranicza to błędy związane z badaniami eksperymentalnymi i obliczeniami.

Oryginalnym rezultatem o charakterze naukowym jest ustalenie korelacji pomiędzy SEP, a takimi cechami jak: nasiąkliwość, porowatość, paroprzepuszczalność, ubytek masy po badaniu mrozo-odporności i teście zasolenia siarczanami. W nielicznych przypadkach uzyskano równania liniowe, a w przeważającej części równania drugiego stopnia. Uzyskano bardzo dobre dopasowanie wartości danych R^2 , większe niż 0,90. Z przekonaniem można stwierdzić, że zbudowane modele matematyczno-eksperymentalne wykazały zbieżność funkcji uzyskanych w trakcie modelowania z wynikami uzyskanymi w trakcie badań doświadczalnych.

W wielu przypadkach zastosowanie wyznaczonych równań, wyeliminuje wykonywanie długotrwałych badań doświadczalnych, w celu określenia cech adhezyjnych lub odporności na korozję hydrofobizowanych i niehydrofobizowanych materiałów budowlanych.

Zaprojektowano model regresji logistycznej – OR ratio, przy użyciu którego dokonano analizy czynników korozyjnych mających wpływ na wzrost ilorazu szans uszkodzenia lub ochrony powierzchni i struktury rozpatrywanych w pracy materiałów budowlanych. Obliczono także szansę skutecznego zabezpieczenia powierzchni budowlanych poprzez ich hydrofobizację, czyli uzyskanie niezwilżalności w początkowym okresie kontaktu z wodą, w odniesieniu do ich własności adhezyjnych (SEP).

Przeprowadzone prace studialne, badania oraz analizy stanowią istotny wkład w rozwój dyscypliny budownictwo, w poznanie, pogłębienie i uzupełnienie zagadnień dotyczących swobodnej energii powierzchniowej jako czynnika kształtującego skuteczność hydrofobizacji w ochronie konstrukcji budowlanych.

Można sądzić, że realizacja osiągnięć naukowo-badawczych opisanych w monografii umożliwi prawidłową, skuteczną hydrofobizację materiałów budowlanych eksploatowanych przez dłuższy czas pod względem stanu technicznego i odporności na korozję. Skuteczna i trwała hydrofobizacja zabezpieczy materiał przed różnymi rodzajami korozji, na które jest narażony w środowisku zewnętrznym, co pozwoli na jego długoletnią eksploatację bez konieczności dokonywania poważnych konserwacji bądź napraw.

Porównanie wyników badań doświadczalnych oraz przeprowadzonych analiz obliczeniowych wraz z celami naukowymi stanowi podstawę do stwierdzenia, że cele badawcze zostały osiągnięte i zweryfikowane metodami naukowymi.

Wnioski i spostrzeżenia wynikające z przedstawionych w pracy badań sugerują potrzebę intensyfikacji prac badawczych, zwłaszcza w obszarze badań chropowatości powierzchni, przyczepności warstwy hydrofobowej, właściwości chemicznych powierzchni po hydrofobizacji zwłaszcza w środowisku korozyjnym.

5. Pozostałe osiągnięcia naukowo – badawcze

5.1. Przed uzyskaniem stopnia doktora

Od 1.10.2002 do 30.09.2008 r. pracowałam na stanowisku asystenta najpierw w Wydziale Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej, a następnie w Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej w Instytucie Budownictwa w Zakładzie Budownictwa Ogólnego, a następnie po reorganizacji w Katedrze Budownictwa Ogólnego.

Tematyka moich prac naukowo-badawczych przed doktoratem dotyczyła następujących zagadnień [Załącznik nr 3]:

- problematyka oraz metodyka likwidacji zawilgocenia i zasolenia obiektów zabytkowych [A1, A9, A11, A13-A15, A17-A19]
- ocena skuteczności hydrofobizacji porowatej struktury materiałów budowlanych tj. ceramika, kamień [A7, A8, A10, A12]
- budownictwo ekologiczne w tym m.in. usuwanie azbestu [A16, A21, A22, A26, A27]
- modernizacja i termomodernizacja budynków mieszkalnych [A20, A23-A25]
- materiały budowlane [A28-A33]
- prawo budowlane dotyczące budowy [A2-A6].

Do najbardziej istotnych osiągnięć naukowych z tego okresu zaliczam:

- Współdziałanie w opracowaniu metody monitorującej parametry wilgotnościowe murów z opoki wapnistej przy wykorzystaniu technik reflektometrycznych TDR [A1, A9, A17].
- Przeprowadzenie analizy skuteczności preparatów hydrofobizujących w konserwacji zabytkowych ruin z opoki wapnistej [A8, A11-A14].
- Propozycja zwiększenia efektywności dociepleń budynków wielkoblokowych, sposoby modernizacji balkonów w budynkach mieszkalnych z końca lat 70-tych [A20, A24, A25].

Przed doktoratem opublikowałam 21 artykułów w czasopismach krajowych, 4 rozdziały w monografiach naukowych oraz 8 referatów w materiałach konferencji naukowo-technicznych.

Uczestniczyłam w 6 krajowych i 1 międzynarodowej konferencji naukowo-technicznej.

5.2. Praca doktorska

Celem pracy doktorskiej pt. „Ocena skuteczności hydrofobizacji murów z opoki wapnistej na podstawie analizy parametrów wilgotnościowych” było określenie możliwości technologicznych i konserwatorskich zastosowania związków krzemooorganicznych w remontach budynków z kazimierskiej opoki wapnistej, mających doprowadzić do znaczącej odporności tej skały na działanie wody. W pracy przeprowadzono analizę skuteczności zabezpieczania niejednorodnej, porowatej struktury opoki wapnistej przed szkodliwym działaniem wód opadowych poprzez jej hydrofobizację. Częścią pracy jest ustalenie zasad postępowania przed podjęciem decyzji odnośnie wykonania zabiegu hydrofobizacji.

Badania przedstawiają wpływ oraz wyjaśniają mechanizm oddziaływania silikonowych środków hydrofobowych na parametry wilgotnościowe kazimierskiego wapienia. Przeprowadzono analizę właściwości wytworzonych powłok hydrofobowych w strukturze pięciu różnych opok.

Przedmiotem hydrofobizacji jest pięć rodzajów opoki wapnistej o różniących się parametrach, mających wpływ na efekt zabiegu np.: różniących się orientacją względem stron świata (różna insolacja, częstotliwość cykli zamrażania - odmrażania), stopniem zasolenia, źródłem pochodzenia.

Materiałem użytym do hydrofobizacji są związki krzemooorganiczne produkcji polskiej i niemieckiej. Wybrano cztery preparaty różniące się zarówno rozpuszczalnikiem, lepkością, stężeniem substancji czynnej, budową i wielkością cząsteczki.

Uzyskane wyniki badań własnych pozwoliły na sformułowanie wniosków na temat celowości i skuteczności zabezpieczeń hydrofobowych rekonstruowanych, jak i nowych murów z opoki wapnistej, szeroko stosowanej w budownictwie na obszarze Lubelszczyzny.

Na podstawie analizy literatury oraz badań własnych przeprowadzonych w pracy wykazano prawdziwość postawionych tez. To znaczy, że:

- ocena skuteczności hydrofobizacji murów z opoki może być dokonana w zależności od parametrów wilgotnościowych kamienia,
- można prognozować skuteczność hydrofobizacji murów z opoki w oparciu o zestaw badań opoki wapnistej.

5.3. Po uzyskaniu stopnia doktora

Po uzyskaniu stopnia doktora od października 2008 r. podjęłam pracę na stanowisku adiunkta w Wydziale Budownictwa i Architektury w Katedrze Budownictwa Ogólnego Politechniki Lubelskiej, gdzie pracuję do chwili obecnej. Od 26.09.2011 r. do chwili obecnej pracuję również jako starszy

wykładowca w pełnym wymiarze czasu pracy w Państwowej Szkole Wyższej im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej w Wydziale Nauk Ekonomicznych i Technicznych, w Katedrze Nauk Technicznych w Zakładzie Budownictwa.

5.3.1. Publikacje naukowe

Wiodącym kierunkiem moich zainteresowań jest kontynuacja tematu podjętego w rozprawie doktorskiej:

1. Ocena skuteczności hydrofobizacji porowatej struktury materiałów budowlanych, odporność porowatych materiałów budowlanych na korozję oraz swobodna energia powierzchniowa.

Publikacje dotyczące tego tematu: B1-B5, B7-B9, B11, B12, B16, B18, B19 B20, B23, B24, B30, B33, B35, B36, B40, B48, B49, B52, B55, B56, B57, B59-B61, B63, B64, B66, C1, C2, C6, C7.

Dużą uwagę w mojej pracy naukowej po doktoracie poświęciłam innym zagadnieniom związanym z budownictwem:

2. Kształtowanie obiektów budowlanych z uwzględnieniem technologii energooszczędnych, ekologicznych, wykorzystanie materiałów odpadowych w budownictwie, betony wysokiej wytrzymałości.

Uzyskane w tych tematach badawczych oryginalne osiągnięcia udokumentowane zostały następującymi publikacjami naukowymi: B6, B10, B13, B15, B17, B21, B25, B26, B27, B29, B32, B34, B41, B44, B47, C3-C5, C8-C10, C12.

3. Problematyka zawilgocenia i zasolenia obiektów zabytkowych.

Publikacje z tego tematu: B22, B31, B38, B39, B43, B45, B46, B58, B62, B65.

4. Modernizacja i termomodernizacja budynków mieszkalnych.

Publikacje: B28, B37, B42, B50, B51, B53, B54, C11.

Ad. 1.

Do najważniejszych osiągnięć naukowo – badawczych z obszaru „Ocena skuteczności hydrofobizacji porowatej struktury materiałów budowlanych, odporność porowatych materiałów budowlanych na korozję oraz swobodna energia powierzchniowa”, oprócz monografii [B1], omówionej w punkcie 4, zaliczam:

- Opublikowanie jednoautorskiej monografii [B63] stanowiącej podsumowanie kilkuletnich badań realizowanych w ramach pracy doktorskiej nad hydrofobizacją opoki wapnistej. Wyniki badań skuteczności hydrofobizacji opoki wapnistej przedstawiono również w artykule [B57].

- Analizę możliwości zastosowania oraz ocenę skuteczności hydrofobizacji przy użyciu związków krzemooorganicznych na innych materiałach budowlanych tj. zaprawy ciepłochronne z perlitem, keramzytem i zeolitem [B16, B18, B20, B33], keramzytobeton [B5, B9, B30], cegła ceramiczna [B3, B7, B35, B40, B48, B55], skorodowana cegła i dachówka ceramiczna [B24, B59, B64], beton zwykły

[B52]. Przetestowano również środki przeciw graffiti na cegle ceramicznej [B60]. Część prac poświęcono związkom o niskiej zawartości lotnych związków organicznych LZO [B11, B48].

Wyniki niektórych prac prezentowano na międzynarodowych konferencjach w Dubaju [C7], Słowenii [C6], Kuala Lumpur [C1].

- Szczegółową analizę wyników badań laboratoryjnych oraz ustalenie korelacji pomiędzy cechami fizycznymi, a SEP materiałów budowlanych tj.: cegła ceramiczna, keramzytobeton, zaprawy, betony wysokiej wytrzymałości z dodatkiem materiałów odpadowych, które powodują większą zwilżalność i mniejszą odporność na korozję tj. żużla paleniskowego z elektrociepłowni, masy formierskiej, odpadowym piaskiem z procesów odlewniczych i innych oraz betony wysokiej wytrzymałości z dodatkiem włókien stalowych i polipropylenowych.

Uzyskane w tym temacie badawczym oryginalne osiągnięcia udokumentowane zostały publikacjami naukowymi znajdującymi się między innymi w [B2-B4, B8, B9, B16, B23, B30], w tym także w bazie Journal Citation Reports.

- Współautorskie opracowanie technologii produkcji betonu lekkiego z wykorzystaniem związków krzemooorganicznych – polisiloksanów, którą zgłoszono w 2014 r., jako rozwiązanie patentowe [B21] oraz opracowanie technologii produkcji betonu o ultra wysokiej wytrzymałości z/bez włókien stalowych i polipropylenowych odpornego na korozję mrozową i siarczanową, zgłoszoną do Urzędu Patentowego w 2016 r. (opis w pkt. 5.3.2).

Ad. 2.

Najważniejsze osiągnięcia naukowo – badawcze oraz główne tematy z obszaru „Kształtowanie obiektów budowlanych z uwzględnieniem technologii energooszczędnych, ekologicznych, wykorzystanie materiałów odpadowych w budownictwie, betony wysokiej wytrzymałości” przedstawiają się następująco:

- Jednym z tematów w tym obszarze były badania możliwości wykorzystania kompozytów wapienno-konopnych do wznoszenia ścian lub do wykonania z nich wypełnienia szkieletu drewnianego domu. W okresie od 03.01.2014 do 31.12.2014 r. uczestniczyłam na stanowisku eksperta nr I w projekcie „*Opracowanie technologii budowy domów ekologicznych i energooszczędnych z kompozytów wypełniających szkielet drewniany*” realizowanym w Państwowej Szkole Wyższej im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej w ramach Programu Współpracy Transgranicznej Polska-Białoruś-Ukraina 2007-2013. Uzyskane w tych tematach badawczych oryginalne osiągnięcia udokumentowane zostały jedną publikacją naukową umieszczoną w bazie Web of Science [B26] oraz współautorską monografią opublikowaną w trzech językach (polskim, angielskim, rosyjskim) [B29]. Po zakończeniu uczestnictwa w projekcie temat rozszerzono i kontynuowano w Politechnice Lubelskiej w WBiA. Badania rozszerzono m.in. o kompozyty wapienne, cementowe, wapienno-gipsowe z włóknami lnianymi konopnymi, jak również z włóknami polipropylenowymi. Zaowocowało to w 2016 roku zagraniczną publikacją [B17] oraz dwoma przyjętymi do druku w czasopiśmie z listy filadelfijskiej [B13, B14].

- Kolejny temat dotyczył opracowania technologii produkcji kruszywa i betonu lekkiego z wykorzystaniem osadów ściekowych. Oryginalne osiągnięcia w tym zakresie udokumentowano publikacjami na liście A [B5, B6], wyniki także prezentowano na międzynarodowej konferencji [C9, C10].

- Opracowano składy zapraw ciepłochronnych z dodatkiem zeolitu naturalnego, perlitu, keramzytu. Przebadano ich przydatność do stosowania w budownictwie energooszczędnym [B34], szeroki zakres badań stanowiły badania wpływu ich hydrofobizacji na korozję mrozową i siarczanową zamieszczone w artykułach wymienionych w Ad.1.

- Dodatkowym tematem kontynuowanym jest współdziałanie w opracowaniu wyników badań m.in. betonów o wysokiej wytrzymałości z włóknami polipropylenowymi i stalowymi, BWW z dodatkiem żużla paleniskowego i masy formierskiej, z odpadowym piaskiem z procesów odlewniczych.

Oryginalne osiągnięcia w tym temacie udokumentowano współautorskimi publikacjami na liście A [B4] oraz [B10] prezentowaną na konferencji międzynarodowej w Słowenii [C5], jak również [B23, B32].

Ad. 3.

Równolegle, kontynuowałam tematykę naukowo badawczą obejmującą problemy zawilgocenia i zasolenia murowanych obiektów zabytkowych. W ramach najważniejszych prac m.in. wykazano możliwości aplikacyjne sond powierzchniowych TDR w bezinwazyjnych pomiarach wilgoci obiektów zabytkowych [B46, B58, B62]. Przeprowadzono badania efektywności preparatów na bazie kwasu ortokrzemowego do wzmacniania zabytkowych zapraw sztukatorskich typu lubelskiego [B45].

Od lipca 2013 r. do czerwca 2014 r. uczestniczyłam jako specjalista ds. badań w projekcie *"Opracowanie innowacyjnego modelu transgranicznego wykorzystania tufów zeolitycznych"* realizowanym w Politechnice Lubelskiej w ramach Programu Współpracy Transgranicznej Polska-Białoruś-Ukraina 2007-2013, Priorytet 1. Wzrost konkurencyjności obszaru przygranicznego. W ramach tego działania byłam współtwórcą składów i badań laboratoryjnych kilkunastu tynków renowacyjnych z wykorzystaniem m.in. zeolitu. Warto dodać, że zrealizowane w ramach grantu prace mają duże znaczenie aplikacyjne, ponieważ w ich wyniku opracowano nowe tynki, które mogą mieć zastosowanie na murach o wysokim stopniu zasolenia. W ramach tych zagadnień opracowano zgłoszenie patentowe [B22] opisane szczegółowo w pkt. 5.3.2.

Oryginalne osiągnięcia w tym zakresie udokumentowano publikacjami [B18, B25, B31, B38, B39]. Wyniki prac zaprezentowano w formie referatu na konferencji naukowo-technicznej: *Modern Technologies of zeolite tuff usage in industry*. Lviv Polytechnic National University, Institute of Civil and Environmental Engineering, Lviv, Ukraine 2014 [C8].

Ad. 4.

W ramach tematyki związanej z modernizacją i termomodernizacją budynków mieszkalnych przeprowadzono ocenę efektywności dociepleń od strony wewnętrznej na przykładzie zabytkowego obiektu [B37], jak i tradycyjnego budownictwa mieszkaniowego [B54]. W krajowych i zagranicznych

pracach [B28, B50, B51, B53] omówiono przeprowadzoną diagnostykę płyt, analizę wyników badań laboratoryjnych oraz określono ich przydatność do dalszej eksploatacji.

5.3.2. Zgłoszenia patentowe

- 1) Smarzewski P., Barnat-Hunek D., *Beton lekki*. Biuletyn Urzędu Patentowego 44 (3) (2016) 13-13.

Przedmiotem zgłoszenia wynalazku jest beton lekki z osadami pochodzącymi z uzdatniania wody pitnej z wodociągów miejskich. W składzie betonu zaproponowano wodorozpuszczalne związki krzemoorganiczne – polisiloksany.

- 2) Barnat-Hunek D., Klimek B., Franus M., *Tynk renowacyjny*. Zgłoszenie nr (21) 410436 Biuletyn Urzędu Patentowego 44 (13) (2016) 20-20.

Przedmiotem zgłoszenia wynalazku jest tynk renowacyjny i podkładowy z dodatkiem zeolitu naturalnego, żużla wielkopieczowego bądź keramzytu.

- 3) Smarzewski P., Barnat-Hunek D., *Beton o ultra wysokiej wytrzymałości odporny na korozję*. Zgłoszenie wynalazku P.416800 z dnia 2016-04-11 (jeszcze nie opublikowane)

Przedmiotem wynalazku jest beton o ultra wysokiej wytrzymałości z włóknami stalowymi i polipropylenowymi odporny na mróz i siarczany.

5.3.3. Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach

- 1) Projekt „*Opracowanie technologii budowy domów ekologicznych i energooszczędnych z kompozytów wypełniających szkielet drewniany*” Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej, Program Współpracy Transgranicznej Polska-Białoruś-Ukraina 2007-2013. Nr: IPBU.02.01.00-06-704/11-00 na stanowisku **ekspert nr I**. 03.01.2014 - 31.12.2014.
- 2) Projekt "*Opracowanie innowacyjnego modelu transgranicznego wykorzystania tufów zeolitowych*" Politechnika Lubelska, Program Współpracy Transgranicznej Polska-Białoruś-Ukraina 2007-2013, Priorytet 1. Wzrost konkurencyjności obszaru przygranicznego. **Specjalista ds. badań**. 07.2013 - 06.2014.
- 3) Projekt PO IG, Działanie 1.3: Wsparcie projektów B+R na rzecz przedsiębiorców realizowanych przez jednostki naukowe WND-POIG.01.03.01-06-146/09 „*Innowacyjna technologia produkcji zeolitów z popiołów lotnych*” Politechnika Lubelska, **wykonawca** 2009.

5.3.4. Międzynarodowe i krajowe nagrody

- 1) Nagroda indywidualna II stopnia rektora Politechniki Lubelskiej za osiągnięcia w działalności naukowej w roku akademickim 2007/2008.
- 2) Medal Komisji Edukacji Narodowej w 2016 roku.

5.3.5. Udział w pracy naukowej organów kolejalnych Uczelni

- 1) Sekretarz Naukowy Komisji ds. Przewodów Doktorskich w Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej.
- 2) Członek Wydziałowej Komisji ds. Komercjalizacji na kadencję 2016-2020.

6. Podsumowanie działalności naukowo-badawczej

W Tabeli 1 zestawiono opublikowane prace w ujęciu sumarycznym oraz inne ważniejsze osiągnięcia przed i po uzyskaniu stopnia doktora. W nawiasie podano liczbę prac jednoautorskich.

W Tabeli 2 przedstawiono zestawienie *impact factor* oraz publikacje w bazie Web of Science.

W Tabeli 3 zestawiono sumaryczną liczbę cytowań i indeks Hirscha.

Tabela 1. Zestawienie ilościowe i punktowe najważniejszych osiągnięć naukowo-badawczych

Rodzaj publikacji	Liczba publikacji przed doktoratem	Liczba publikacji po doktoracie	Sumaryczna liczba prac
Oryginalne opublikowane naukowe prace twórcze, monografie, rozdziały w monografiach, materiały konferencyjne			
Artykuły w czasopismach w bazie JCR	-	11 +2	11 +2
Monografie w j. polskim	-	3 (2)	3 (2)
Rozdziały w monografiach w j. polskim	3 (1)	9	12 (1)
Rozdziały w monografiach w j. angielskim	-	2	2
Artykuły w czasopismach o zasięgu międzynarodowym	-	10	10
- w j. angielskim, nie umieszczone z bazie JCR	-	1	1
- w innym języku	-	-	-
Artykuły w czasopismach o zasięgu krajowym	22 (3)	23 (1)	45 (4)
Referaty na konferencjach międzynarodowych w j. angielskim	-	3(1)	3 (1)
Referaty na krajowych konferencjach	8 (1)	1	9 (1)
Postery na konferencjach międzynarodowych w j. angielskim	-	7 (1)	7 (1)
Razem	33 (4)	70 +2 (5)	103 +2 (9)
Udział w projektach			
NCBiR	-	3	3
UE	-	2	2
Razem	-	5	5
Zgłoszenia patentowe			
Krajowe zgłoszenia	-	3	3
Nagrody i wyróżnienia za działalność naukową, dydaktyczną i organizacyjną			
Nagroda Rektora PL	-	2	2
Medal KEN	-	1	1
Razem	-	3	3
Opieka naukowa nad studentami			
Wypromowane prace inżynierskie	-	93	93
Wypromowane prace magisterskie	-	36	36
Razem	-	129	129

Po doktoracie opublikowałam łącznie:

- 3 monografie w tym 2 jedno autorskie
- 11 rozdziałów w monografiach (2 w języku angielskim)
- 11 artykułów w czasopismach z bazy JCR (+ 2 przyjęte do druku)
- 34 artykułów w pozostałych czasopismach (w tym 10 w czasopismach o zasięgu międzynarodowym w języku angielskim, 1 w j. ukraińskim, 23 w j. polskim)
- 3 referaty zagraniczne w materiałach konferencji naukowych.

Sumaryczna liczba punktów wszystkich publikacji wynosi **644**, natomiast po uzyskaniu stopnia doktora **596** zgodnie z rokiem ich opublikowania.

(+ 40 punktów za artykuły przyjęte do druku w 2016 i 2017 r. = **684**)

Łączny *impact factor* moich publikacji w bazie Web of Science (Tabela 2) wynosi 17,398 (18,382), indeks Hirscha według bazy Web of Science równa się 3 (Tabela 3).

Tabela 2. Publikacje w bazie Web of Science oraz zestawienie *impact factor*

Lp.	Czasopismo	Rok wydania artykułu	Pozycja w Załączniku nr 3	Impact Factor	Punktacja MNiSW w roku wydania
1.	Construction and Building Materials	2016	B2	2,421	40
2.	Construction and Building Materials	2016	B3	2,421	40
3.	Construction and Building Materials	2016	B4	2,421	40
4.	Materials	2016	B5	2,728	35
5.	Environmental Monitoring and Assessment	2016	B6	1,679	25
6.	Energy and Buildings	2015	B7	2,973	40
7.	Materiali in Tehnologije	2015	B8	0,548	15
8.	Materiali in Tehnologije	2015	B10	0,548	15
9.	Ecological Chemistry and Engineering S	2015	B9	0,553	15
10.	Ecological Chemistry and Engineering S	2014	B11	0,553	15
11.	Ecological Chemistry and Engineering S	2011	B12	0,553	15
12.	Composites Theory and Practice	2016	B16	-	11
13.	Composites Theory and Practice	2015	B23	-	11
14.	Composites Theory and Practice	2015	B26	-	11
15.	Journal of Natural Fibers	2016	B13	0,492	20
16.	Journal of Natural Fibers	2017	B14	0,492	20
Razem				17,398 18,382*	328 368*

*Punktacja łącznie z artykułami przyjętymi do druku (15,16)

Tabela 3. Zestawienie sumarycznej liczby cytowań i indeksu Hirscha

Nazwa bazy	Liczba publikacji w bazie	Sumaryczna liczba cytowań	Indeks Hirscha
Web of Science	14	21	3
Scopus	11	21	3
Google Scholar	48	55	4

