

AUTOREFERAT

dr inż. Anna Chomicz-Kowalska

dr inż. Anna Chomicz-Kowalska
Politechnika Świętokrzyska
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Inżynierii Komunikacyjnej
Zakład Budowy Dróg, Lotnisk i Inżynierii Ruchu

AUTOREFERAT

1. Imię i Nazwisko

Anna Chomicz-Kowalska

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- magister inżynier, Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, 2005 r.,
- stopień naukowy doktora nauk technicznych, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, 2011 r., tytuł rozprawy doktorskiej: „Odporność na oddziaływanie wody i mrozu podbudowy w technologii recyklingu z asfaltem spienionym”.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- asystent w Katedrze Inżynierii Komunikacyjnej na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska, w okresie od 20.02.2007 do 31.03.2012,
- adiunkt w Katedrze Inżynierii Komunikacyjnej na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska (od 01.09.2012 Wydział Budownictwa i Architektury), od 01.04.2012 do chwili obecnej.

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.)

A. TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Cykl publikacji powiązanych tematycznie:

Zastosowanie technologii spieniania wodą lepiszczy asfaltowych w wytwarzaniu innowacyjnych, proekologicznych mieszanek mineralno-asfaltowych, charakteryzujących się obniżonymi temperaturami technologicznymi.

B. AUTOR/AUTORZY, TYTUŁ/TYTUŁY PUBLIKACJI, ROK WYDANIA, NAZWA WYDAWNICTWA, RECENZENCI WYDAWNICZY

Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:

- [1] Chomicz-Kowalska Anna, 2017, „Laboratory testing of low temperature asphalt concrete produced in foamed bitumen technology with fiber reinforced”. Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, De Gruyter, ISSN 0239-7528, Vol. 65 (in press). DOI: 10.1515/bpasts-2016-00ZZ
Praca samodzielna. Wkład w powstanie pracy: 100%.
- [2] Chomicz-Kowalska Anna, Gardziejczyk Władysław, Iwański Mateusz M., 2017, „Właściwości betonu asfaltowego AC 8S wytwarzanego w obniżonej temperaturze w technologii asfaltu spienionego, w świetle wymagań WT-2 2010 i WT-2 2014”. Drogownictwo, SITK RP, ISSN 0012-6357, nr 6, s. 183-193.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współpracowaniu koncepcji prac badawczych, współwykonaniu projektu składu mieszanek mineralno-asfaltowych (referencyjnej wytwarzanej w tradycyjnej metodzie „na gorąco” i w obniżonej temperaturze w technologii asfaltu spienionego), oznaczeniu właściwości fizycznych na zagęszczonych próbkach, wykonaniu analizy statystycznej wyników badań, redakcji rozdziałów 2. Cel i zakres badań i 3. Projekt mieszanki AC 8S oraz współredakcji rozdziałów 4. Wyniki badań i ich analiza i 5. Wnioski.

Mój udział procentowy szacuję na 50%.

- [3] Chomicz-Kowalska Anna, Mrugała Justyna, Maciejewski Krzysztof, 2017, „Evaluation of foaming performance of bitumen modified with the addition of surface active agent”. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 245, pp. 1-10.
DOI: 10.1088/1757-899X/245/3/032086

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował podjęcie inicjatywy realizacji badań, opracowanie koncepcji prac badawczych, współwykonanie badań charakterystyk spieniania lepiszczy asfaltowych, tj. oznaczenie ich ekspansji i okresu półtrwania, analizę statystyczną wyników oraz sformułowanie wniosków, redakcję rozdziałów 3. Results and discussion i 4. Conclusions oraz korektę tekstu.

Mój udział procentowy szacuję na 60%.

- [4] Chomicz-Kowalska Anna, Ramiączek Piotr, 2017, „Comparative evaluation and modification of laboratory compaction methods of road base mixtures manufactured in low-emission CIR technology with foamed bitumen and bitumen emulsion”. Procedia Engineering, Elsevier, ISSN 1877-7058, Vol. 172, pp. 560-569.
DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.066

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował podjęcie inicjatywy realizacji badań, opracowanie koncepcji prac badawczych, współwykonanie projektu składu recyklowanych mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych i mineralno-cementowych z asfaltem spienionym wytwarzanych metodą „na zimno”, kondycjonowanie próbek laboratoryjnych, oznaczenie zawartości wolnych przestrzeni w próbkach, analizę statystyczną wyników badań i sformułowanie wniosków, redakcję rozdziałów 1. Introduction i 2. Materials and specimen preparation, współredakcję rozdziałów 3. Results and discussion i 4. Conclusions oraz korektę tekstu.

Mój udział procentowy szacuję na 80%.

- [5] Chomicz-Kowalska Anna, Gardziejczyk Władysław, Iwański Mateusz M., 2017, „Analysis of IT-CY stiffness modulus of foamed bitumen asphalt concrete compacted at 95°C”. Procedia Engineering, Elsevier, ISSN 1877-7058, Vol. 172, pp. 550-559.
DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.065

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współpracowaniu koncepcji prac badawczych, wykonaniu badań spieniania lepiszczy asfaltowych, tj. oznaczeniu wskaźnika ekspansji oraz okresu półtrwania, współwykonaniu projektu składu mieszanek mineralno-asfaltowych, oznaczeniu ich wrażliwości na działanie wody i mrozu, wykonaniu analizy statystycznej wyników badań, redakcji rozdziału 2. Tested materials and methodology oraz współredakcji rozdziałów 3. Results and Discussion i 4. Conclusions.

Mój udział procentowy szacuję na 45%.

- [6] Chomicz-Kowalska Anna, Gardziejczyk Władysław, Iwański Mateusz M., 2016, „Moisture resistance and compactibility of asphalt concrete produced in half-warm mix asphalt technology with foamed bitumen”. Construction and Building Materials, Elsevier, ISSN 0950-0618, Vol. 126, pp. 108-118.
DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.004

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współpracowaniu koncepcji prac badawczych, wykonaniu badań spieniania lepiszczy asfaltowych, tj. oznaczeniu wskaźnika ekspansji oraz okresu półtrwania, wykonaniu badań asfaltów w zakresie penetracji, temperatury mięknięcia, temperatury łamliwości i lepkości dynamicznej, współwykonaniu mieszanek mineralno-asfaltowych, wykonaniu analizy statystycznej wyników badań, redakcji rozdziałów 2. Tested materials and methodology i 4. Conclusions oraz współredakcji rozdziału 3. Test results and analysis.

Mój udział procentowy szacuję na 50%.

- [7] Chomicz-Kowalska Anna, Maciejewski Krzysztof, Ramiączek Piotr, 2016, „Wpływ rodzaju asfaltu na właściwości lepkosprężyste mieszanek mineralno-cementowych z asfaltem spienionym”. Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture (JCEEA), Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, ISSN 2300-5130, t: XXXIII, z: 63 (nr 1/II/2016), s. 193-200.
DOI: 10.7862/rb.2016.75

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował podjęcie inicjatywy realizacji badań, opracowanie koncepcji prac badawczych, współwykonanie zarobów z mieszanek recyklowanych wytwarzanych metodą „na zimno” z asfaltem spienionym, pomiar cech fizycznych próbek, analizę wyników badań, redakcję rozdziałów 1. Wstęp, 2. Materiały i metoda badawcza oraz 4. Wnioski, współredakcję rozdziału 3. Zespolony moduł sztywności i krzywe wiodące oraz korektę tekstu.

Mój udział procentowy szacuję na 80%.

- [8] Chomicz-Kowalska Anna, Stępień Justyna, 2016, „Cost and eco-effective cold in-place recycled mixtures with foamed bitumen during the reconstruction of a road section under variable load bearing capacity of the subgrade”. Procedia Engineering, Elsevier, ISSN 1877-7058, Vol. 161, pp. 980-989.
DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.837

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował podjęcie inicjatywy realizacji prac, sformułowanie koncepcji opracowania, wykonanie obliczeń trwałości konstrukcji nawierzchni metodą mechanistyczno-empiryczną, interpretację wyników i sformułowanie wniosków, redakcję rozdziałów 1. Introduction i 3. Design of the reconstruction of the road section using cold in-place recycling technology with foamed bitumen oraz współredakcję rozdziału 4. Conclusions.

Mój udział procentowy szacuję na 50%.

- [9] Chomicz-Kowalska Anna, 2016, „Zastosowanie recyklingu na zimno z asfaltem spienionym w regionie świętokrzyskim – Część 2”. Drogownictwo, SITK RP, ISSN 0012-6357, nr 2, s. 46-54.

Praca samodzielna. Wkład w powstanie pracy: 100%.

- [10] Chomicz-Kowalska Anna, Maciejewski Krzysztof, 2015, „Multivariate optimization of recycled road base cold mixtures with foamed bitumen”. Procedia Engineering, Elsevier, ISSN 1877-7058, Vol. 108, pp. 436-444.
DOI: 10.1016/j.proeng.2015.06.168

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował podjęcie inicjatywy realizacji badań, opracowanie koncepcji prac badawczych, współwykonanie recyklowanych mieszanek mineralno-cementowych z asfaltem spienionym, oznaczenie zawartości wolnych przestrzeni w próbkach oraz wykonanie badań wytrzymałości na pośrednie rozciąganie, redakcję rozdziałów 1. Introduction, 2. Materials and methodology i 5. Conclusions, współredakcję rozdziału 4. Results and discussion oraz korektę tekstu.

Mój udział procentowy szacuję na 50%.

- [11] Chomicz-Kowalska Anna, 2015, „Statistical methods for evaluating associations between selected foamed bitumen parameters”. Bituminous Mixtures and Pavements VI, Chapter I: Bituminous binders, Unbound materials, Edited by A.F. Nikolaidis, Taylor & Francis Group, London, ISBN: 978-1-138-02866-1, pp. 3-12.
DOI: 10.1201/b18538-3

Praca samodzielna. Udział w powstanie pracy: 100%.

- [12] Chomicz-Kowalska Anna, 2015, „Zastosowanie recyklingu na zimno z asfaltem spienionym w regionie świętokrzyskim – Część 1”. Drogownictwo, SITK RP, ISSN 0012-6357, nr 6, s. 172-176.

Praca samodzielna. Udział w powstanie pracy: 100%.

- [13] Iwański Marek, Chomicz-Kowalska Anna, Maciejewski Krzysztof, 2015, „Application of synthetic wax for improvement of foamed bitumen parameters”. Construction and Building Materials, Elsevier, ISSN 0950-0618, Vol. 83, pp. 62-69.
DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.02.060

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współpracowaniu koncepcji prac badawczych, wykonaniu badań podstawowych lepiszczy asfaltowych, tj. oznaczeniu penetracji, temperatury mięknięcia oraz temperatury łamliwości, wykonaniu badań charakterystyk spieniania lepiszczy asfaltowych, tj. oznaczeniu ich ekspansji oraz okresu półtrwania, analizie wyników badań, współredakcji rozdziałów 2. Materials and research methodology oraz 3. Results and discussion.

Mój udział procentowy szacuję na 40%.

- [14] Iwański Marek, Chomicz-Kowalska Anna, 2015, „Evaluation of the pavement performance”. Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, De Gruyter, ISSN 0239-7528, Vol. 63, No. 1, pp. 97-105.
DOI: 10.1515/bpasts-2015-0011

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współpracowaniu koncepcji prac badawczych, wykonaniu badań lepiszcza asfaltowego (właściwości asfaltu przed spienieniem oraz pomiar cech wytworzonej piany asfaltowej), wytworzeniu recyklowanych mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych i mineralno-cementowych z asfaltem spienionym metodą „na zimno”, formowaniu próbek laboratoryjnych i ich kondycjonowaniu, oznaczeniu parametrów fizycznych i mechanicznych recyklowanych mieszanek, tj. zawartości wolnych przestrzeni, odporności na działanie wody, modułów sztywności sprężystej w schemacie IT-CY, analizie statystycznej wyników badań, wykonaniu obliczeń trwałości konstrukcji nawierzchni metodą mechanistyczno-empiryczną, współredakcji rozdziałów 1. Introduction i 3. Results and discussion oraz redakcji rozdziału 2. Materials and methodology.

Mój udział procentowy szacuję na 50%.

- [15] Iwański Marek, Chomicz-Kowalska Anna, Mrugała Justyna, 2014, „Application of the synthetic wax to improve the foamed bitumen parameters used in half-warm bituminous mixtures”. Environmental Engineering, Vilnius Gediminas Technical University Press Technika, ISSN 2029-7092, ISBN: 978-609-457-640-9, Vol. 154, pp. 1-9.
DOI: 10.3846/enviro.2014.154

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współpracowaniu koncepcji prac badawczych, wykonaniu badań spieniania lepiszczy asfaltowych modyfikowanych woskiem Fischera-Tropscha, tj. oznaczeniu ekspansji oraz okresu półtrwania, wykonaniu analizy statystycznej wyników badań, redakcji rozdziału 2. Materials and research methodology oraz współredakcji rozdziałów 1. Introduction i 3. Results and discussion.

Mój udział procentowy szacuję na 33%.

C. OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO PRAC I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW WRAZ Z OMÓWIENIEM ICH WYKORZYSTANIA

Prezentowany cykl publikacji powiązanych tematycznie obejmuje piętnaście prac [1-15], z których dziewięć [1, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 13, 14] opublikowano w czasopismach indeksowanych w bazach Web of Science (WoS) i Scopus a cztery z nich [1, 6, 13, 14] indeksowane są w bazie czasopism JCR (Journal Citation Reports). Praca [11] indeksowana jest w bazie Scopus a pozycja [15] w bazie WoS. Cztery z prezentowanych prac [2, 7, 9, 12] zostały opublikowane w czasopismach znajdujących się na liście B czasopism punktowanych MNiSW. Spośród prac stanowiących osiągnięcie naukowe o którym mowa w art. 16 ust. 2 ustawy, siedem [3, 4, 5, 8, 10, 11, 15] zostało zaprezentowanych na tematycznych międzynarodowych konferencjach naukowych, jedna [7] na krajowej konferencji naukowej, a wszystkie referaty zostały opublikowane w recenzowanych materiałach konferencyjnych.

Wymienione powyżej publikacje wchodzące w skład cyklu publikacji powiązanych tematycznie stanowią jedynie wybrane pozycje, o największym zasięgu i znaczeniu. Pełny wykaz publikacji zaliczających się do mojego dorobku naukowego przedstawiono w Załączniku 4 do wniosku.

Wstęp

W ostatnich latach, zarówno w Unii Europejskiej jak i na całym świecie zachodzą istotne przemiany, których celem jest przekierowanie rozwoju nowoczesnych społeczeństw na tory zrównoważonego rozwoju. Cel ten jest realizowany w znacznej mierze poprzez zmniejszanie oddziaływania gospodarki na środowisko. W zgodzie z regulacjami prawnymi wprowadzanymi przez kolejne konwencje klimatyczne i traktaty międzynarodowe, również w przemyśle drogowym rośnie świadomość w tym zakresie. Skutkiem tego, w sektorach publicznym i prywatnym, coraz większą uwagę zwraca się na ochronę środowiska naturalnego. Wysiłki te przybierają formę wdrażania nowych technologii, mniej zanieczyszczających środowisko, stawiających sobie za cel maksymalne wykorzystanie surowców wtórnych i odpadowych oraz ogólne zmniejszenie energochłonności procesu budowlanego. Szczególną uwagę zwraca się na problemy przetwarzania i wytwarzania materiałów do górnych warstw konstrukcji nawierzchni drogowych z zastosowaniem popularnych obecnie technologii, z którymi wiążą się duże wydatki energetyczne. W przypadku nawierzchni asfaltowych spowodowane jest to wysokimi temperaturami technologicznymi stosowanymi podczas wytwarzania i wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych (mma). Obniżenie tych temperatur upatrywane jest obecnie jako jeden z bardziej obiecujących sposobów (obok recyklingu) zmniejszenia wpływu inwestycji drogowych na środowisko, co stało się możliwe dzięki rozwojowi nowych technologii oraz osiągnięciom w dziedzinie chemii organicznej.

Jednym z istotniejszych podejmowanych obecnie środków zmniejszenia wpływu przemysłu na środowisko jest ograniczenie energochłonności procesów technologicznych oraz redukcja związanych z nimi emisji m.in. szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych. W drogownictwie, do najbardziej energochłonnych procesów można zaliczyć produkcję mieszanek mineralno-asfaltowych w technologii „na gorąco” (HMA – ang. *Hot Mix Asphalt*). Produkcja taka realizowana jest w zakresie temperatur od 160°C do 180°C w zależności od rodzaju zastosowanego asfaltu i typu mieszanki, a w przypadku asfaltu lanego temperatury technologiczne przekraczają nawet 200°C. Stosowanie tak wysokich temperatur wynika z konieczności wysuszenia kruszywa oraz doprowadzenia lepiszcza asfaltowego do małej lepkości, która zapewni prawidłowe otoczenie ziaren mieszanki mineralnej (mm) i tym samym trwałość warstw asfaltowych nawierzchni. Należy podkreślić, że w Polsce prowadzone są prace wdrożeniowe, których przedmiotem jest produkcja mma w technologii „na ciepło” (WMA – ang. *Warm Mix Asphalt*) z wykorzystaniem substancji obniżających czasowo lepkość lepiszcza lub powierzchniowo-czynnych, co pozwala na obniżenie temperatury wytwarzania i wbudowywania względem technologii „na gorąco” jedynie o około 20-30°C. Obniżenie temperatury w typowych technologiach „na ciepło” przynosi z tego powodu względnie niewielkie korzyści w ich bilansie energetycznym. Dodatkowo, jeśli wziąć pod uwagę konieczność stosowania specjalnych dodatków WMA, to wpływ zastosowania tych technologii na wielkość „śladu węglowego” (ang. *carbon footprint*, rozumianego jako całkowita suma emisji gazów cieplarnianych niezbędnych do wytworzenia produktu) i kosztów wytwarzanej nawierzchni jest jeszcze mniejszy.

Znaczące zmniejszenie energochłonności procesu produkcyjnego wymaga dalej idącego obniżenia temperatury, co umożliwia technologia wytwarzania mma metodą „na półciepło” (HWMA – ang. *Half Warm Mix Asphalt*), w której stosuje się asfalt spieniany wodą. To dzięki zastosowaniu tego rodzaju lepiszcza możliwe jest obniżenie temperatur technologicznych nawet o około 60°C. Otrzymywane lepiszcze asfaltowe w postaci piany charakteryzuje się małą lepkością, co zapewnia prawidłowy przebieg procesu wytwarzania mma.

Realizowane przeze mnie w ostatnim okresie prace badawcze ujawniły ogromne możliwości zastosowania technologii spieniania asfaltu wodą podczas wytwarzania różnego rodzaju materiałów konstrukcyjnych do budowy nowych, jak również do remontów i przebudów istniejących dróg w dużo szerszym zakresie, niż było to wskazywane we wcześniejszych badaniach. W zależności od zastosowanych parametrów procesu produkcyjnego mieszanki mineralno-asfaltowej z lepiszczem dozowanym w formie piany, w szczególności od temperatur technologicznych i od rodzaju stosowanych materiałów (kruszyw, asfaltów, modyfikatorów czy dodatków), uzyskuje się odmienne końcowe parametry mieszanki. W związku z powyższym, opracowane i opisywane przeze mnie rozwiązania materiałowo-technologiczne ukierunkowane na produkcję wysokiej jakości proekologicznych mma produkowanych w obniżonej temperaturze znaleźć mogą wszechstronne zastosowania, zarówno do wykonywania górnych jak i dolnych warstw konstrukcji nawierzchni drogowej, w tym również i do warstwy ulepszanego podłoża.

Poza możliwością częściowego otaczania wilgotnych ziaren kruszywa, co ma miejsce w przypadku mieszanek mineralno-cementowych z asfaltem spienionym (MCAS) wytwarzanych w technologii recyklingu głębokiego „na zimno” (CMA ang. *Cold Mix Asphalt*), znana jest zdolność asfaltu spienionego do uzyskiwania pełnego otoczenia mieszanki mineralnej w znacząco niższych temperaturach względem popularnych obecnie technologii HMA i WMA, co jest osiąganе dzięki zwiększonej objętości lepiszcza (od kilku do kilkudziesięciu razy) i odpowiedniej stabilności piany asfaltowej w czasie.

Przedstawiony cykl publikacji powiązanych tematycznie prezentuje mój wkład w badania nad właściwościami lepiszczy spienianych wodą oraz proekologicznych mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych w obniżonej temperaturze, a opracowany zakres możliwości jej stosowania zaprezentowano na rysunku 1. Szerokie spektrum zastosowania tej technologii sprawia, że może ona w przyszłości znacząco przyczynić się do zmniejszenia energochłonności realizowanych inwestycji drogowych w Polsce i na świecie.

Konstrukcja nawierzchni	Warstwy górne konstrukcji nawierzchni	Warstwa ścieralna	
		Warstwa wiążąca	
		Podbudowa zasadnicza	Górna warstwa podbudowy
	Dolna warstwa podbudowy		
	Warstwy dolne konstrukcji nawierzchni	Podbudowa pomocnicza	
Warstwa mrozochronna			
Podłoże gruntowe nawierzchni	Warstwa ulepszanego podłoża		
	Grunt rodzimy w wykopie lub grunt nasypowy w nasypie, zakwalifikowany do jednej z grup nośności podłoża od G1 do G4		

Legenda:

Obecne zastosowanie asfaltu spienionego (jedynie do mieszanek MCAS w technologii CMA)

Rozszerzenie możliwości zastosowanie asfaltu spienionego do technologii WMA i HWMA

Rozszerzenie możliwości zastosowanie asfaltu spienionego do technologii CMA

Zakres możliwości stosowania asfaltu spienionego

Rys. 1. Zakres możliwości stosowania technologii asfaltu spienionego w warstwach konstrukcji nawierzchni drogowej (układ warstw konstrukcji wg Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych z 2014 r.)

W omawianym jednotematycznym cyklu publikacji wyróżniłam trzy najważniejsze obszary osiągnięć naukowych, które odzwierciedlając charakter prowadzonych prac badawczych pozwoliły na przejrzystą prezentację znaczenia opisanych w nich wyników.

Pierwszym analizowanym obszarem prac naukowych są wyniki badań zamieszczone w publikacjach [3, 11, 13, 15] związane z własnościami asfaltów drogowych poddanych spienieniu wodą, również tych zawierających substancje chemiczne i organiczne, w kontekście późniejszego zastosowania ich do poszczególnych warstw konstrukcji nawierzchni drogowej oraz technologii wytwarzania i wbudowywania mma (CMA, HWMA, WMA). Drugi omawiany obszar zagadnień opisany w pracach [1, 2, 5, 6] obejmuje wyniki badań mieszanek mineralno-asfaltowych typu beton asfaltowy z lepiszczem dodanym w formie piany asfaltowej, produkowanych i zagęszczanych w obniżonej temperaturze w technologii WMA i HWMA. Ostatnia prezentowana część cyklu publikacji [4, 7, 8, 9, 10, 12, 14] dotyczy mieszanek MCAS wytwarzanych w technologii CMA.

Innowacyjne lepiszcza asfaltowe spieniane wodą

Koncepcja wykorzystania zjawiska spieniania asfaltu wodą nie jest nowa. Pierwsze próby wykorzystania technologii asfaltu spienionego do wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych sięgają 1956 r., a obecnie znajduje ona coraz szersze zastosowanie do wytwarzania recyklowanych mieszanek na warstwy podbudowy nawierzchni drogowej. W obliczu aktualnych dążeń do minimalizacji wpływu działalności człowieka na środowisko i poszukiwań nowych, efektywniejszych technologii wytwarzania górnych warstw konstrukcji nawierzchni, pojawiają się możliwości rozszerzenia zakresu dotychczasowego stosowania asfaltu spienionego oraz związane z tym nowe wyzwania badawcze. Zastosowanie lepiszcza asfaltowego w postaci spienionej wodą jest skuteczną i jedną z bardziej obiecujących metod pozwalających wytwarzać oraz wbudowywać mma w temperaturach technologicznych rzędu 100°C.

Po doprowadzeniu do kontaktu gorącego asfaltu z wodą w ściśle określonych i kontrolowanych warunkach, zmienia on swoją postać z jednorodnej substancji w stanie ciekłym, w mieszaninę dyspersyjną z powietrzem atmosferycznym i parą wodną jako fazą rozproszoną (pianę) oraz z niewielką ilością nieodparowanej lub skroplonej wody. Dzięki chwilowej, dynamicznej równowadze między siłami spójności w obrębie fazy gorącego lepiszcza a ciśnieniem wywieranym przez parę wodną na ścianki pęcherzyków asfaltu można mówić o objętościowych miarach jakości piany asfaltowej, takich jak jej ekspansja (ER, ERm – ang. *Expansion Ratio*) czy okres półtrwania (HL – ang. *Half-Life*). Ekspansja określa wzrost objętości piany asfaltowej względem objętości wyjściowego lepiszcza i jest miarą jej lepkości, korelującą ze zdolnością asfaltu spienionego do dyspersji w mieszaninie mineralnej w celu uzyskania jednorodnej struktury. Natomiast okres półtrwania piany asfaltowej jest miarą jej stabilności i dostarcza informacji dotyczących prędkości jej rozpadu (opadania). Badania tych wielkości charakteryzujących lepiszcza asfaltowe stanowią znaczący obszar poruszanych przeze mnie w ostatnich latach zagadnień badawczych, zajmując wiodące miejsce w prezentowanym jednotematycznym cyklu publikacji.

W światowym, jak również w krajowym budownictwie drogowym stosowane są różne rodzaje asfaltów, których właściwości fizyczne i reologiczne zależą m.in. od rodzaju ropy naftowej z której je wyprodukowano, zastosowanej technologii przeróbki, składu oraz struktury chemicznej czy budowy koloidalnej. Warto wspomnieć, że zjawisko pienienia asfaltu jest dla producentów z przyczyn technologicznych niekorzystne. W związku z tym należy uważać, że lepiszcza asfaltowe inne niż te dedykowane do technologii spieniania (specjalne) mogą zawierać w swoim składzie środki zapobiegające pienieniu, w znacznym stopniu determinujące przebieg procesu spieniania. Z uwagi na zaobserwowany duży wpływ rodzaju i pochodzenia asfaltu na jakość uzyskiwanej piany asfaltowej, wiodącym zagadnieniem w podejmowanych przeze mnie pracach, wymagającym szerokiego rozpoznania i wnikliwej analizy, były kompleksowe badania i ocena pienistości wybranych ponaftowych asfaltów drogowych pochodzących od krajowych producentów, również tych zawierających wybrane substancje organiczne i chemiczne oraz ocenę ich wpływu na przebieg procesu spieniania.

W pracach realizowanych w ostatnich latach analizowałam procesy spieniania wodą asfaltów drogowych zwykłych, wielorodajowych, jak również asfaltów z dodatkami i modyfikatorami wpływającymi na lepkość lepiszcza oraz środkami powierzchniowo-czynnymi. Co prawda technologia spieniania wodą nie wymaga stosowania wspomnianych dodatków, jednak zaleca się ich użycie w przypadkach, gdy lepiszcze słabo się pieni lub dla uzyskania konkretnego efektu, np. poprawy warunków otaczania (dla gruboziarnistych mma lub w przypadku obecności kruszyw kwaśnych w składzie mma), poprawy urabialności i zagęszczalności (w znacząco obniżonych temperaturach technologicznych) lub poprawy trwałości eksploatacyjnej nawierzchni w trudnych warunkach klimatycznych, co opisano w publikacjach [3, 11, 13, 15]. Badania w tym zakresie należy uznać za innowacyjne nie tylko w skali krajowej, ale również i światowej.

Rozszerzenie badań lepiszczy poprzez stosowanie do nich dodatków i modyfikatorów w postaci substancji powierzchniowo-czynnych czy wosku syntetycznego Fischera-Tropscha zmieniającego istotnie parametry reologiczne lepiszcza, wykorzystywanych obecnie w krajowym drogownictwie do technologii HMA i WMA, miało na celu analizę ich wpływu na jakość produkowanej piany asfaltowej (tzn. poprawę pienistości lepiszczy), a następnie ocenę ich przydatności do wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych w obniżonej temperaturze. Konieczność prowadzenia badań w tym kierunku umotywowana była szerokim stosowaniem wspomnianych dodatków w praktyce wykonawczej, wynikającym z dążenia do spełnienia wymagań krajowych zapisanych w dokumentach technicznych (w Wymaganiach Technicznych WT-2 z 2010 r. (WT-2 2010) i WT-2 z 2014 r. (WT-2 2014) pt. „Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wytyczne Techniczne.” oraz w Ogólnych Specyfikacjach Technicznych (OST). Ponieważ zgodność właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych ze wspomnianymi wymaganiami przyjmuje się za gwarancję odpowiedniej trwałości eksploatacyjnej warstw konstrukcyjnych wykonanych z mieszanek produkowanych w technologii „na gorąco” (m.in. odporność na działanie wody i mrozu, odporność na powstawanie deformacji trwałych), to odniesienie się do nich w przypadku zastosowania technologii spieniania wodą podczas produkcji i zagęszczania mma w znacząco obniżonej temperaturze (<100°C) nabiera szczególnej wagi. Wspomniane wymagania i parametry zapisane w ww. dokumentach technicznych są trudniejsze do spełnienia w przypadku stosowania obniżonych temperatur technologicznych bez użycia w składzie mma asfaltów specjalnych czy asfaltów drogowych bez środków organicznych lub chemicznych.

W badaniach laboratoryjnych stosowałam następujące rodzaje asfaltów, które na potrzeby przejrzystego omawiania rezultatów podzieliłam na trzy grupy:

- grupa 1: ponaftowe asfalty drogowe: 35/50, 50/70, 70/100, 100/150, 160/220,
- grupa 2: asfalty specjalne (wielorodajowe, ang. *multigrade*): MG 20/30, MG 35/50, MG 50/70,
- grupa 3: lepiszcza asfaltowe z dodatkiem substancji chemicznych i organicznych:
 - ✓ grupa 3a: asfalty 35/50 i 50/70 modyfikowane woskiem syntetycznym Fischera-Tropscha (FT) w ilości: od 0,5% do 3,0%,
 - ✓ grupa 3b: asfalty 35/50 i 50/70 z płynnym dodatkiem WMA w ilości: 0,2%, 0,4%, 0,6%,
 - ✓ grupa 3c: asfalty 35/50 i 50/70 z dodatkiem środka adhezyjnego na bazie amin kwasów tłuszczowych (w ilości 0,6%),
 - ✓ grupa 3d: asfalt 35/50 i 50/70 z dodatkiem jednocześnie modyfikatora FT (w ilości 2,5%) oraz substancji powierzchniowo-czynnej (w ilości 0,6%).

Pierwszą grupę stanowiły ponaftowe asfalty o penetracji w zakresie od 35 do 220 [0,1 mm], drugą asfalty specjalne (wielorodajowe), natomiast trzecią grupę tworzyły lepiszcza powstałe wskutek dodania do asfaltów 35/50 i 50/70 wosku syntetycznego FT, dodatku powierzchniowo-aktywnych substancji (PAS) lub obu środków jednocześnie. W związku z aplikacyjnym charakterem realizowanych badań, asfalty do ostatniej grupy lepiszczy (grupy 3) wytypowano mając na uwadze ich szerokie stosowanie w krajowym wykonawstwie. Aktualne Wymagania Techniczne (WT-2 2014) pozwalają na wykorzystanie tych lepiszczy w produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych metodą „na gorąco” przeznaczonych na wszystkie warstwy konstrukcyjne nawierzchni drogowej (ścieralnej, wiążącej i podbudowy).

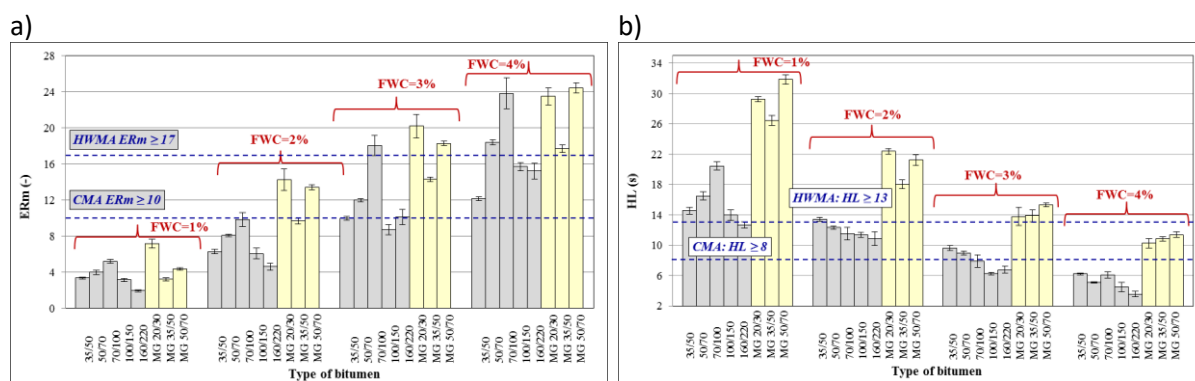
Celem naukowym przedstawionym w ramach jednotematycznego cyklu publikacji w obszarze asfaltów spienianych wodą było opracowanie proekologicznych rozwiązań materiałowych, służących podniesieniu na wyższy poziom jakościowy:

- pienistości ponaftowych asfaltów drogowych (w zależności od oczekiwanego efektu: zwiększenia objętości piany asfaltowej i/lub zmniejszenia prędkości jej opadu) odpowiedzialnej w dużej mierze za prawidłową dyspersję lepiszcza, a następnie otoczenie mieszanki mineralnej,
- jednorodności otoczenia lepiszczem materiału mineralnego w znacząco obniżonych temperaturach (również w przypadku słabego powinowactwa lepiszcza i kruszywa, tj. obecności w składzie mieszanki mineralnej kruszyw kwaśnych),
- cech fizycznych (zagęszczenia warstwy) i mechanicznych mieszanki mineralno-asfaltowej (wodo- i mrozoodporności, koleinowania, trwałości zmęczeniowej, sztywności).

Realizowane przeze mnie oryginalne prace badawcze w tym obszarze miały na celu wykazanie przydatności różnych rodzajów lepiszczy do wytwarzania materiałów przeznaczonych do wybranych warstw konstrukcji nawierzchni drogowych produkowanych w różnych technologiach, tj.:

- CMA: warstwa podbudowy, wzmocnione podłoże,
- WMA i HWMA: warstwa ścieralna, warstwa wiążąca, warstwa podbudowy.

Przedstawione w publikacjach [11, 13, 15] wyniki badań asfaltów spienianych z grupy 1 i 2 (rozpatrując asfalty w obrębie tych samych zakresów penetracji) ujawniły, iż doskonałą pienistością cechują się lepiszcza wielorodzajowe (rys. 2) charakteryzujące się w odróżnieniu od asfaltów z pierwszej grupy dodatnim indeksem penetracji. Asfalty te wymagały dozowania większej ilości wody spieniającej (FWC – ang. *Foaming Water Content*) (3,0%) do uzyskania równowagi pomiędzy ich ekspansją a okresem półtrwania, co można przypisać nie tylko różnicom w składzie, ale również wyższej ich lepkości przed procesem spienienia względem ponaftowych asfaltów drogowych. Asfalty wielorodzajowe uzyskały najwyższe wartości wskaźników ekspansji oraz najdłuższe okresy półtrwania spośród wszystkich badanych lepiszczy.

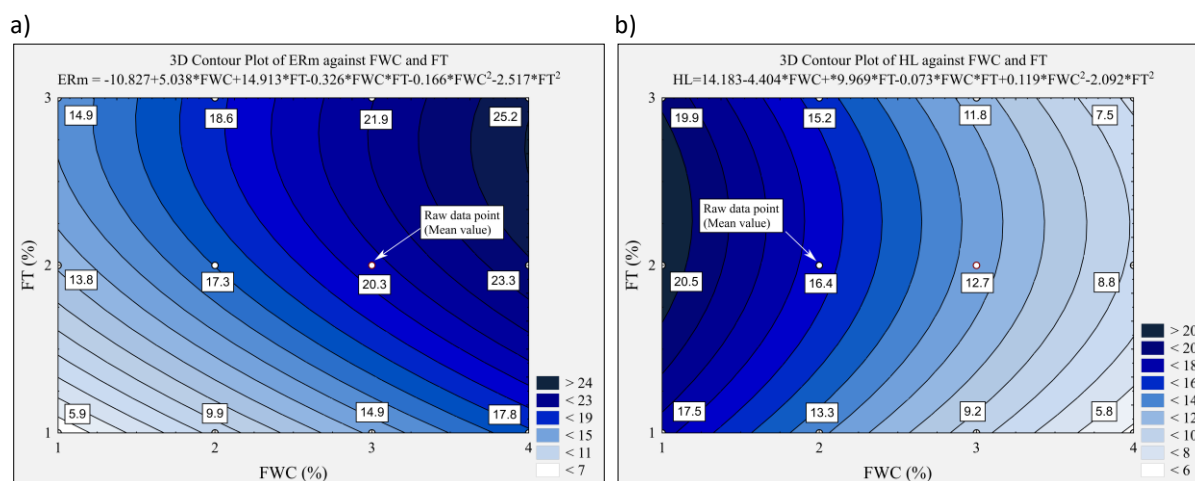


Rys. 2. Zestawienie wyników z pomiaru wskaźnika ekspansji (a) oraz okresu półtrwania (b) ponaftowych asfaltów drogowych oraz asfaltów wielorodzajowych przy zmianie poziomu czynnika FWC [11]

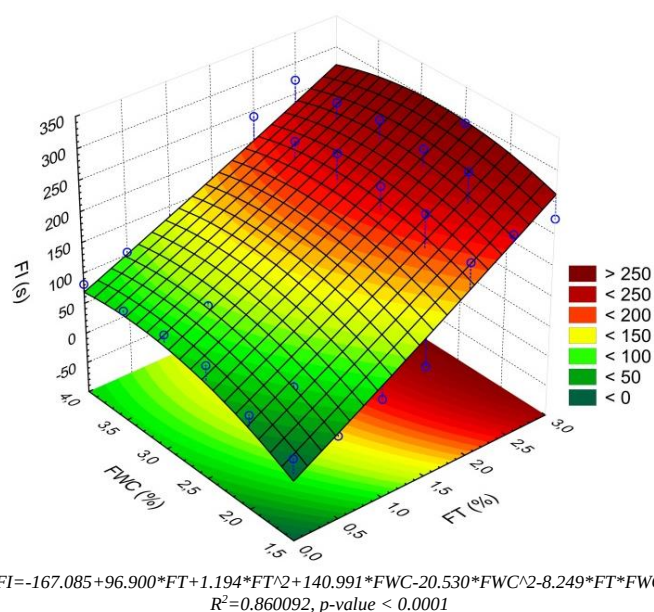
Obserwując istotny wpływ składu asfaltów na ich zdolność do pienienia się pod wpływem dodania niewielkiej ilości wody, na przestrzeni ostatnich lat realizowałam zaawansowane badania asfaltów drogowych najczęściej stosowanych zakresów penetracji (tj. 35/50 i 50/70) modyfikowanych dodatkiem parafiny syntetycznej Fischera-Tropscha (grupa 3a). Badania te miały na celu ustalenie możliwości stosowania wspomnianych asfaltów do technologii spieniania w szerszym zakresie niż dotychczas, tzn. nie tylko do technologii CMA, ale również WMA i HWMA podczas produkcji mma dedykowanych na górne warstwy konstrukcji nawierzchni drogowej. Jednym z moich oryginalnych osiągnięć naukowych w zakresie badań w kierunku spieniania ww. lepiszczy asfaltowych było wykazanie wpływu ilości wosku FT w warunkach dozowania zmiennej ilości wody spieniającej na charakterystyki spieniania tych lepiszczy. W pracach [11, 13, 15] opisałam istotny wpływ zawartości

modyfikatora w postaci parafiny syntetycznej na pienistość wspomnianych asfaltów. Rozpatrując finalne właściwości mma produkowanych w obniżonej temperaturze oraz wykonanych z nich warstw asfaltowych korzystne jest z punktu widzenia trwałości nawierzchni, aby lepszemu zastosowaniu do technologii spieniania cechowało się nie tylko korzystnymi właściwościami reologicznymi, ale również możliwością wytwarzania stabilnej piany o możliwie największej objętości przy jednocześnie małej prędkości jej opadania. Moim istotnym osiągnięciem przedstawionym w ww. publikacjach było wykazanie możliwości znaczącej poprawy pienistości asfaltów dzięki zastosowaniu wosku FT. Aktualnie modyfikator ten wykorzystywany jest w technologii WMA w celu poprawy urabialności i zagęszczalności mma wskutek obniżenia lepkości lepiszcza w temperaturach technologicznych, natomiast w temperaturach eksploatacyjnych usztywnia on asfalt i mieszankę mineralno-asfaltową wpływając na podniesienie jej odporności na koleinowanie.

Skuteczność stosowania wosku FT zauważyłam nie tylko w poprawie cech piany asfaltowej: ERM, HL oraz FI (ang. *Foam Index*) (rys. 3, rys. 4) drogowych asfaltów ponaftowych, ale również w możliwości obniżenia temperatury lepiszcza (przed spienieniem), zachowując przy tym ulepszone w temperaturach eksploatacyjnych finalne parametry powstałego z tego rodzaju lepiszczem kompozytu mineralno-asfaltowego. Ponadto kolejnym osiągnięciem z tego zakresu było wykazanie, że obecność wosku syntetycznego umożliwiła ograniczenie ilości dozowanej wody spieniającej, zachowując przy tym wysoką pienistość lepiszczy. Warto wspomnieć, że nadmierna ilość wody aplikowanej do lepiszcza wpływa niekorzystnie na proces spieniania, gdyż przebiega on wtedy zbyt gwałtownie, a piana ulega szybkiemu wychłodzeniu, co prowadzi do przedwczesnej utraty jej stabilności (skrócenia okresu jej półtrwania). Zjawisko takie zanotowałam dla lepiszczy w grupie 3a, kiedy to zbyt duża ilość wody spieniającej nie przechodziła ze stanu ciekłego w parę, rzutując bezpośrednio na uzyskanie piany o niezadowalających parametrach, tzn. o małej objętości w dodatku szybko opadającej. Wykazałam również, że zbyt duża zawartość wosku FT wpływa niekorzystnie na proces spieniania, w szczególności na parametr HL, skutkując przyspieszeniem opadania piany z uwagi na zbyt małą lepkość lepiszcza powodującą powstawanie niestabilnych pęcherzy. Efektem końcowym tych prac było ustalenie optymalnych ilościowych zakresów dozowania wosku syntetycznego oraz wody spieniającej podczas produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych w obniżonej temperaturze.

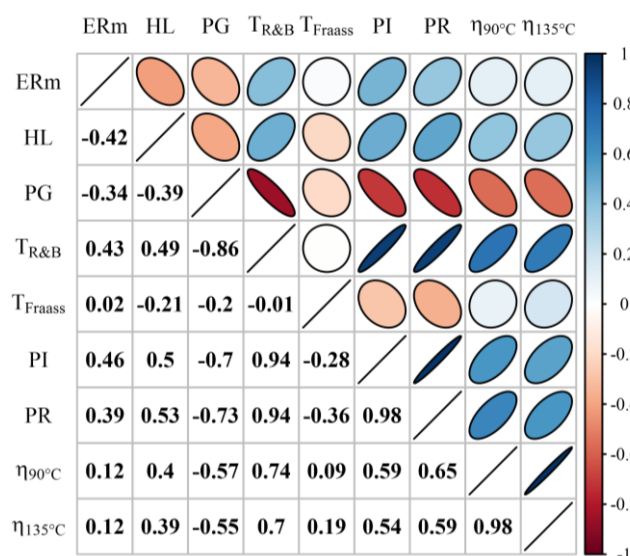


Rys. 3. Zależności ERM (a) i HL (b) od zmiany poziomu czynnika FWC wyznaczone dla asfaltu 50/70 modyfikowanego woskiem FT [11]

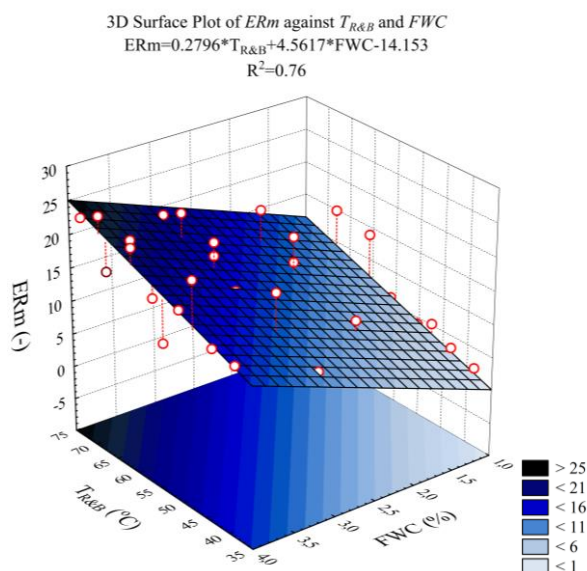


Rys. 4. Wpływ zmiany poziomu badanych czynników (FT i FWC) na obliczone wskaźniki FI spienionego asfaltu 50/70 [13]

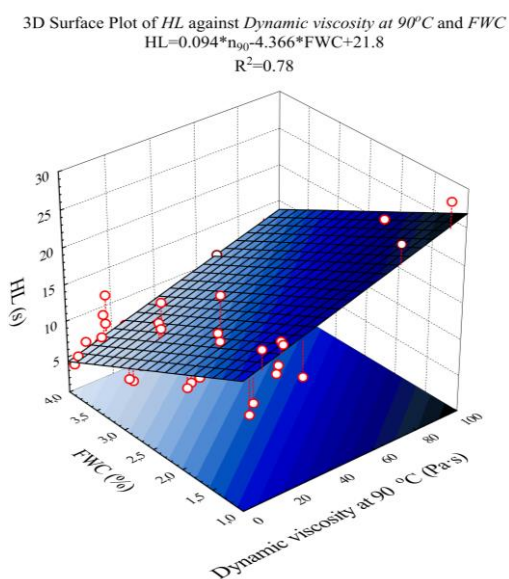
W zakresie obszaru badawczego dotyczącego asfaltów spienionych, w pracy [11] przedstawiłam również rozważania naukowe dotyczące poszukiwania związków pomiędzy wybranymi parametrami reologicznymi badanych lepiszczy a własnościami wytworzonej z nich piany asfaltowej. W celu określenia stopnia, w jakim badane zmienne są ze sobą powiązane, dla wszystkich badanych asfaltów wykonałam analizę korelacyjną (rys. 5), której wyniki umożliwiły znalezienie związków (rys. 6, rys. 7) pomiędzy pomierzonymi parametrami asfaltów spienionych (ERm, HL) a ich wybranymi cechami reologicznymi (przed spienieniem).



Rys. 5. Korelacje pomiędzy wybranymi własnościami badanych asfaltów a ich parametrami spieniania (asfalty z grupy 1, 2 i 3a) [11]



Rys. 6. Wpływ zmiennych $T_{R\&B}$ i FWC na wartość ekspansji (ERm) piany asfaltowej [11]



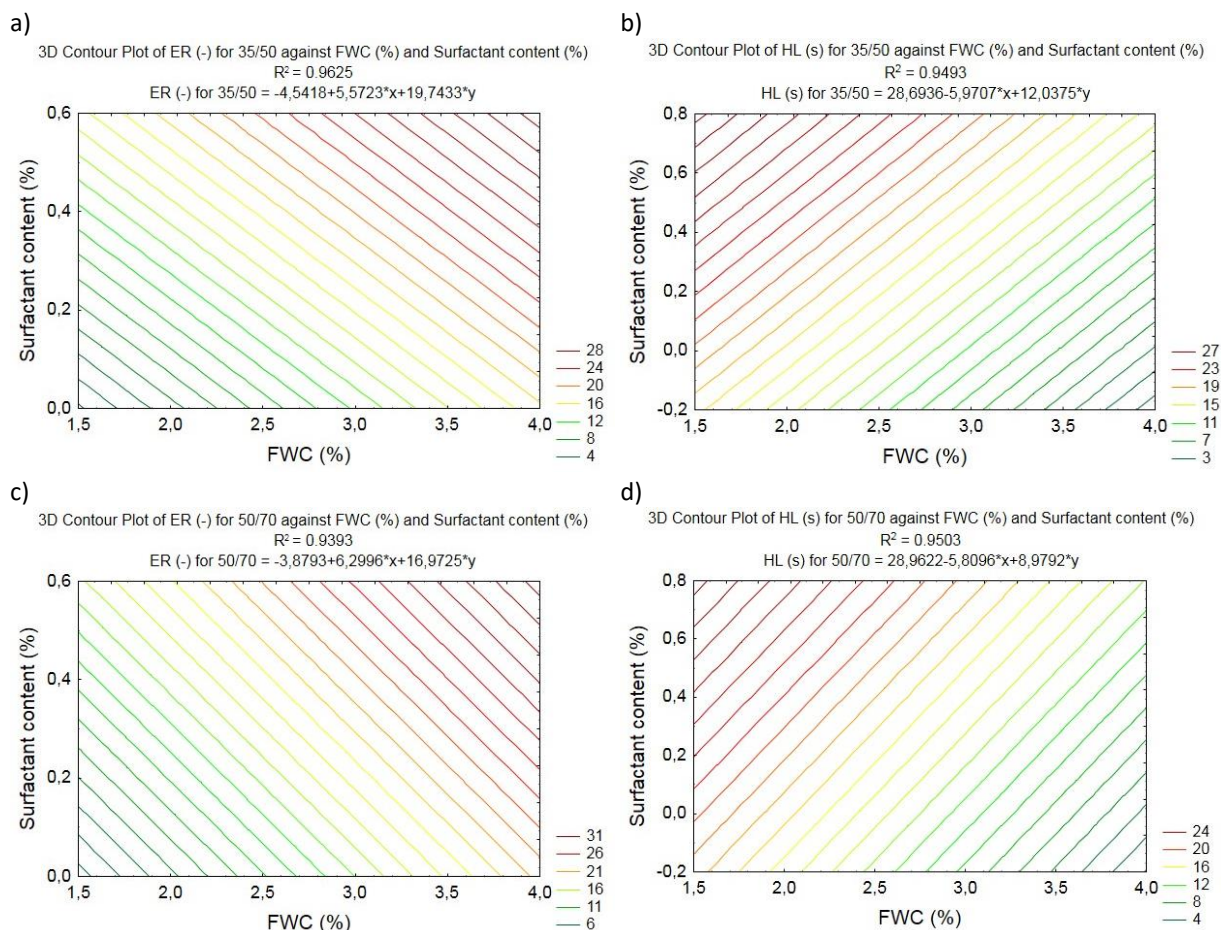
Rys. 7. Wpływ zmiennych η_{90} i FWC na wartość okresu półtrwania (HL) piany asfaltowej [11]

W swoich badaniach jednoznacznie udowodniłam, że lepiszcza bardziej twarde wymagają wprowadzenia większej ilości wody spieniającej (w zakresie od 3% (asfalty wielorodziałowe [11]) do 4% (asfalt 35/50) [1, 15]) w celu uzyskania stabilnej piany asfaltowej, podczas gdy lepiszcze 50/70 z modyfikatorem FT jedynie 1,5% [13].

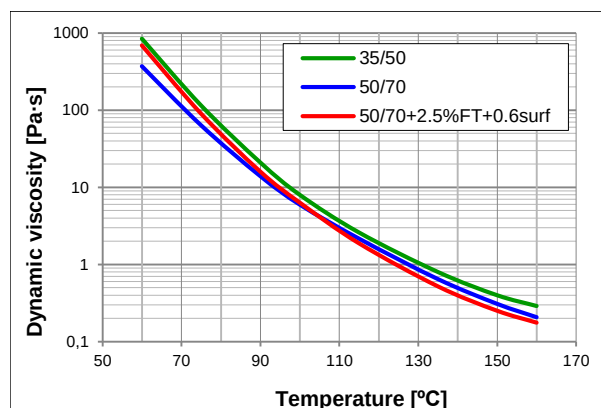
Moim znaczącym dokonaniem naukowym należącym do jednotematycznego cyklu publikacji z zakresu asfaltów spienionych, były badania nad wpływem zastosowania w tym procesie płynnych substancji powierzchniowo-aktywnych. Prace te miały na uwadze ich użycie do mieszanek mineralno-asfaltowych zawierających kruszywa hydrofilowe i związane z tym pogorszone warunki otaczania kruszywa lepiszczem, jak również w przypadku występowania utrudnionych warunków zagęszczania mma (np. przy wyjątkowo niekorzystnych warunkach atmosferycznych) podczas jej wbudowywania w nawierzchnię. W badaniach laboratoryjnych wykorzystywałam dwie substancje, jedną na bazie amin kwasów tłuszczowych stosowaną obecnie w naszym kraju w produkcji mma metodą „na gorąco” oraz środek dedykowany do technologii WMA, będący zaawansowanym produktem zawierającym w swoim składzie środki adhezyjne i dodatki polimerowe, wytwarzany głównie z materiałów odpadowych.

Stosowany do badanych asfaltów dodatek WMA (lepiszcza z grupy 3b) znacząco poprawił zdolność piany asfaltowej do zwiększania swojej objętości przy zachowaniu jej stabilności (wydłużył okres półtrwania) (rys. 8). Korzyści płynące z jego stosowania to nie tylko zwiększenie pienistości badanych asfaltów, ale również poprawa otoczenia lepiszczem materiałów mineralnych, ułatwienie zagęszczania mma oraz zwiększenie odporności na działanie wody i mrozu w wyniku polepszenia adhezji lepiszcza do kruszywa. W przypadku modyfikacji asfaltu dodatkiem substancji na bazie amin kwasów tłuszczowych (grupa 3c), zaobserwowano zróżnicowany ich wpływ na proces spieniania asfaltu 35/50 i 50/70.

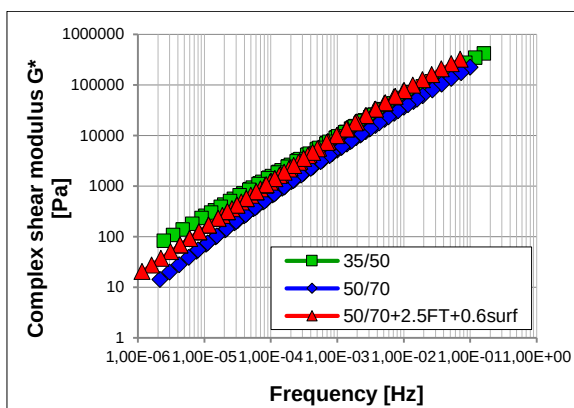
Kolejnym, ważnym aspektem mojej działalności naukowej w rozpatrywanym obszarze tematycznym należącym do cyklu publikacji z zakresu asfaltów spienionych jest rozwiązanie materiałowe opisane w pracy [1]. Dotyczy ono jednoczesnego zastosowania substancji chemicznej i organicznej (środka powierzchniowo-czynnego i wosku FT) do asfaltów poddanych następnie spienieniu w celu uzyskania ulepszonych parametrów mma produkowanej i zagęszczanej w obniżonej temperaturze z wykorzystaniem lokalnych surowców mineralnych (wapieni i kwarcytów). Jednoczesna modyfikacja lepiszczy asfaltowych woskiem syntetycznym oraz popularnym w Polsce środkiem adhezyjnym na bazie amin kwasów tłuszczowych wykazała pozytywny wpływ na ich cechy reologiczne (rys. 9, rys. 10), przekładający się na poprawę własności eksploatacyjnych mma. Dzięki jednoczesnemu zastosowaniu obu substancji możliwe było uzyskanie ulepszonych własności mieszanki mineralno-asfaltowej, również dzięki obecności w jej składzie odpadowych włókien syntetycznych.



Rys. 8. Wpływ zmiany poziomu badanych czynników (*Surfactant content*, *FWC*) na parametry *ER* i *HL* piany asfaltowej wyprodukowanej na bazie lepiszcza 35/50 (a, b) i 50/70 (c, d) z dodatkiem WMA [3]



Rys. 9. Wyniki oznaczeń lepkości dynamicznej wybranych lepiszczy asfaltowych (35/50, 50/70, 50/70+2,5FT+0,6surf.) [1]



Rys. 10. Krzywe wiodące zespolonych modułów ścinania wybranych lepiszczy asfaltowych (35/50, 50/70, 50/70+2,5FT+0,6surf.) [1]

Reasumując, rezultaty badań opisane w powyższych pracach ujawniły, że rodzaj lepiszcza asfaltowego miał nadrzędne znaczenie dla kształtowania ich pienistości. Istotnie lepszymi parametrami spieniania charakteryzowały się asfalty specjalne (wielorodzajowe). Natomiast, w przypadku ponaftowych asfaltów drogowych, stosowanie substancji chemicznych lub organicznych w krajowych warunkach klimatycznych jest uzasadnionym sposobem sprostania wymaganiom stawianym wobec mieszanek mineralno-asfaltowych produkowanych w klasycznej metodzie „na gorąco”, jak również w obniżonej temperaturze.

Istotnym, ujawnionym przeze mnie czynnikiem wpływającym na uzyskane różne efekty spieniania asfaltów wodą są zmiany w ich składzie wprowadzane na przestrzeni lat przez producentów.

Wszystkie z przedstawionych wyżej prac dotyczyły możliwości wykorzystywania wybranych lepiszczy asfaltowych do różnych zastosowań, tj. technologii recyklingu głębokiego „na zimno”, technologii produkcji mma metodą „na ciepło” oraz „na półciepło”, z uwzględnieniem potencjalnej opłacalności i oczekiwanych efektów ich stosowania. Rezultatem końcowym prac z zakresu badań asfaltów spienianych wodą było dokonanie ich klasyfikacji w aspekcie przeznaczenia do wybranych technologii w oparciu o zbadane własności reologiczne lepiszczy, pomierzone cechy fizyczne wytworzonej z nich piany asfaltowej, rodzaj stosowanych substancji chemicznych i organicznych oraz parametry technologiczne procesu spieniania. Należy mieć na uwadze, że przy wyborze asfaltu spienionego do danego rodzaju mieszanki mineralno-asfaltowej oraz technologii jej wytwarzania i wbudowywania, podobnie jak w technologiach tradycyjnych, należy uwzględnić funkcję i rodzaj warstwy konstrukcyjnej, warunki ruchowe (kategorię obciążenia ruchem) oraz stopień narażenia na oddziaływanie niekorzystnych warunków klimatycznych.

Mieszanki mineralno-asfaltowe wytwarzane w obniżonej temperaturze metodą „na ciepło” i „na półciepło” z asfaltem spienianym wodą

Najbardziej interesującą perspektywą stosowania technologii spieniania asfaltów wodą jest możliwość wytwarzania wysokojakościowych mieszanek mineralno-asfaltowych o obniżonej temperaturze produkcji i wbudowywania, o parametrach techniczno-eksploatacyjnych porównywalnych lub wyższych do tych, które charakteryzują tradycyjne mieszanki mineralno-asfaltowe wytwarzane metodą „na gorąco”. Mimo ogromnego potencjału tej technologii w aspekcie wytwarzania mma na górne warstwy konstrukcyjne nawierzchni, istnieje szereg zjawisk i zagadnień badawczych wymagających wyjaśnienia i poddania wnikliwej analizie, aby tego typu mieszanki mogły być szeroko stosowane (również do warstw ścieralnych) w krajowych warunkach klimatycznych.

Znaczące obniżenie temperatury wytwarzania i wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych w technologii „na półciepło” skutkuje w warunkach przemysłowych brakiem konieczności całkowitego wysuszenia kruszywa. Pozostająca na powierzchni ziaren związana woda błonkowa, w połączeniu ze szczególnymi właściwościami asfaltu w postaci spienionej, odgrywa w tym przypadku korzystną rolę, wpływając na polepszenie urabialności mieszanki. W związku z tym, uzyskuje się znaczące ograniczenie zużycia energii w procesie suszenia kruszywa, które odbywa się w niższej temperaturze niż w procesie produkcji mma metodą „na gorąco” czy na „ciepło”. Jednocześnie, produkcja mieszanek mineralno-asfaltowych w tak obniżonej temperaturze może wpłynąć negatywnie na proces formowania błonki asfaltowej na powierzchni ziaren kruszywa. Mieszanki tego typu są przez to bardziej narażone na ewentualne skutki niedostatecznego zagęszczenia warstwy asfaltowej, w efekcie czego może podlegać ona przyspieszonym procesom destrukcji na skutek braku wymaganej odporności na oddziaływanie wody czy na powstawanie w niej deformacji trwałych. Jednym ze sposobów przeciwdziałania tym ewentualnym niekorzystnym skutkom jest stosowanie asfaltu spienionego o wysokich parametrach jakościowych, tj. o dużym wskaźniku ekspansji oraz długim okresie półtrwania piany asfaltowej, które uzyskać można m.in. w wyniku modyfikacji asfaltu przed spienieniem za pomocą wosku syntetycznego Fischera-Tropscha. Dlatego też, w badaniach zwróciłam szczególną uwagę na ten aspekt jakościowy asfaltu spienionego, co opisane zostało w pracach [1, 2, 5, 6]. Zastosowanie tego typu modyfikatora pozwala nie tylko na poprawę urabialności i zagęszczalności mieszanki mineralno-asfaltowej, ale jego korzystny wpływ obserwowany jest również w temperaturach eksploatacyjnych dzięki modyfikacji charakterystyk reologicznych lepiszcza, co bezpośrednio przekłada się na podniesienie parametrów eksploatacyjnych warstwy asfaltowej.

W badaniach mieszanek mineralno-asfaltowych z asfaltem spienionym wytwarzanych w obniżonej temperaturze, nadrzędnym celem było uzyskanie w tej technologii pełnego otoczenia lepiszczem materiałów mineralnych i możliwości zagęszczenia mieszanki przy zachowaniu jej odporności na czynniki ruchowe i klimatyczne panujące w naszym kraju. Wymagało to, bazując na wieloletnich doświadczeniach własnych, opracowania wstępnych procedur dotyczących projektowania, warunków

wytwarzania (piany asfaltowej i mma) i zagęszczania kompozytu mineralno-asfaltowego, również w sytuacji obecności w składzie mieszanki kruszyw hydrofilowych (na przykładzie kwarcytów), które niekorzystnie wpływają na zagęszczalność i urabialność mma produkowanej nawet w klasycznej metodzie „na gorąco”. Mieszanki mineralno-asfaltowe wytwarzane i wbudowywane w obniżonej temperaturze wymagają szczególnej kontroli i zapewnienia odpowiedniego poziomu zagęszczenia, ponieważ działanie ww. czynników może silniej w ich przypadku wpływać na trwałość nawierzchni, a metodą zapobiegania przedwczesnej jej degradacji jest stosowanie dodatków zwiększających adhezję asfaltu spienionego do kruszywa. Zastosowanie znanych, również tych od lat stosowanych w krajowym drogownictwie powierzchniowo-aktywnych substancji, zmieniających warunki kontaktu między kruszywem a asfaltem, prowadzi do poprawy przyczepności asfaltu i piany asfaltowej do kruszywa, a tym samym do zwiększenia odporności mieszanki mineralno-asfaltowej na działanie wody. Ich obecność umożliwia łatwiejsze zwilżanie powierzchni kruszywa asfaltem, co jest szczególnie istotne w przypadku produkcji mma w znacząco obniżonej temperaturze, jaka ma miejsce w technologii asfaltu spienionego, kiedy to lepiszcze w formie piany zawiera wodę odpowiedzialną nie tylko za chwilowe zwiększenie objętości lepiszcza, ale również za poprawę urabialności i zagęszczalności mieszanki. W powiązanych tematycznie publikacjach dotyczących omawianej tematyki wykazano, że stosowanie odpowiednich rozwiązań materiałowych do technologii spieniania lepiszczy wodą może przeciwdziałać wymienionym niekorzystnym zjawiskom, nawet w znacząco obniżonej temperaturze produkcji i zagęszczania mma.

Warto wspomnieć, że krajowy dokument WT-2 2014 dopuszcza stosowanie asfaltu spienionego „(...) W celu ograniczenia ilości emisji gazów cieplarnianych oraz obniżenia temperatury mieszania składników mieszanki mineralno-asfaltowej i poprawienia jej urabialności (...)”. Wspomniane wytyczne nie zawierają jednak szczegółowych informacji na temat procesu projektowania, wytwarzania czy zagęszczania mma, a jedynie zalecają, aby w pierwszej kolejności lepiszcze w formie spienionej stosować do wykonywania warstw podbudowy i wiążącej, co jednak nie wyklucza możliwości użycia go również do warstwy ścieralnej. Prace badawcze realizowane od kilku lat w Politechnice Świętokrzyskiej wykazały, że możliwe jest stosowanie tej technologii również przy produkcji mma do warstwy ścieralnej.

Przedmiotem badań obejmujących mieszanki mineralno-asfaltowe wytwarzane i wbudowywane w obniżonej temperaturze były dwa rodzaje mieszanek typu beton asfaltowy, różniące się uziarnieniem i przeznaczeniem. W badaniach laboratoryjnych zastosowano mieszankę droбноziarnistą przeznaczoną na warstwę ścieralną (AC 8S), opisaną w publikacjach [2, 5, 6] oraz mieszankę gruboziarnistą do warstwy wiążącej (AC 16W), przedstawioną w pracy [1]. W prezentowanym cyklu powiązanych tematycznie publikacji zaprezentowano opracowane zalecenia przy projektowaniu takich mieszanek do górnych warstw nawierzchni drogowej oraz zaproponowano użycie lepiszczy asfaltowych z odpowiednimi substancjami organicznymi i/lub chemicznymi pozwalającymi spełnić krajowe wymagania.

W pierwszej grupie osiągnięć w tym obszarze wymienić należy wyniki badań mieszanki mineralno-asfaltowej AC 8S, dotyczące wpływu stosowanego procesu jej produkcji na zagęszczalność oraz wrażliwość na działanie wody i mrozu. Opisywane badania realizowane były równolegle na mieszance referencyjnej (wytwarzanej klasyczną metodą „na gorąco” w temperaturze 160°C i zagęszczanej w 140°C) oraz na mieszankach z asfaltem spienionym na bazie asfaltu drogowego (bez i z modyfikatorem FT) wytwarzanych w temperaturze 105°C i zagęszczanych w 95°C, co miało na celu zweryfikowanie efektów prac badawczych dotyczących asfaltów spienionych oraz stwierdzenie zasadności stosowania tego typu modyfikatora w tej technologii.

Wykonane badania, opisane w pracach [2, 5], potwierdziły wysoką efektywność i skuteczność działania wosku Fischera-Tropscha w tego typu mieszankach, jako środka ułatwiającego uzyskanie wymaganego zagęszczenia mieszanki mineralno-asfaltowej z asfaltem spienionym, nawet w temperaturach poniżej 100°C, prowadząc do uzyskania porównywalnych parametrów fizycznych i mechanicznych do mieszanki zagęszczanej w temperaturze 140°C. Zaobserwowano, że dynamika procesu zagęszczania w funkcji zastosowanej energii zagęszczania w przypadku badanej mieszanki

referencyjnej i tych z asfaltem spienionym była zbliżona. Dodatkowo zanotowano, że zastosowanie wosku FT wpłynęło pozytywnie na zapewnienie odporności mieszanki AC 8S na oddziaływanie wody i mrozu, poprawiając znacznie wyniki uzyskiwane zarówno w bardziej niekorzystnej procedurze badawczej (wg WT-2 2010) jak i tej łagodniejszej, zgodnej z WT-2 2014. Dokonano analizy modułów sztywności oznaczanych w schemacie pośredniego rozciągania próbek z ww. mieszanek. Badania te nie ujawniły występowania istotnych różnic między mieszanką referencyjną a mma z asfaltem spienionym modyfikowanym woskiem FT, co przypisano w głównej mierze porównywalnemu poziomowi zagęszczenia obu mieszanek. Podsumowując stwierdzono, że mieszanka betonu asfaltowego wytwarzana w innowacyjnym procesie z zastosowaniem asfaltu spienionego na bazie lepiszcza modyfikowanego woskiem FT, zagęszczana w 95°C, uzyskała porównywalne właściwości do tradycyjnej mieszanki mineralno-asfaltowej zagęszczanej w temperaturze o 45°C wyższej, spełniając przy tym krajowe wymagania. Ponadto zweryfikowano istnienie korelacji między wybranymi właściwościami fizycznymi i mechanicznymi mieszanek mineralno-asfaltowych, tj. zawartością wolnych przestrzeni a wytrzymałością na pośrednie rozciąganie w stanie suchym oraz po kondycjonowaniu w wodzie z jednym cyklem zamrażania, zgodnie z procedurami opisanymi w krajowych wytycznych technicznych WT-2 2010 i WT-2 2014 oraz wartościami modułów sztywności oznaczanych w schemacie pośredniego rozciągania w zakresie temperatur od -10°C do +25°C. Zależności pomiędzy wybranymi zmiennymi przedstawione w postaci równań regresji posłużyły do porównawczej oceny ich jakości i wrażliwości na zmiany temperatury mieszanek z asfaltem spienionym pod obciążeniem dynamicznym względem mma produkowanej metodą „na gorąco”. Przedstawione wyniki badań pozwalają stwierdzić, że na właściwości mechaniczne badanych mieszanek mineralno-asfaltowych w pierwszej kolejności wpływ miało zagęszczenie, natomiast obecność w lepiszczu wosku FT miała znaczenie drugorzędne.

Szeroka popularyzacja i wprowadzanie do wykonawstwa, w świetle restrykcyjnych wymogów środowiskowych, technologii pozwalających na obniżenie emisji szkodliwych substancji do atmosfery, bądź też wykorzystanie produktów odpadowych w obliczu kurczących się zasobów naturalnych staje się obecnie koniecznością. W związku z tym, w publikacji [1] przedstawiłam moje oryginalne osiągnięcie badawcze dotyczące rozwiązań materiałowo-technologicznych na mieszance AC 16W o ulepszonych cechach fizycznych, mechanicznych oraz eksploatacyjnych, uwzględniające poprzednie doświadczenia związane z wytwarzaniem mieszanki AC 8S w obniżonej temperaturze oraz z zastosowaniem wybranych substancji organicznych lub chemicznych do lepiszczy poddanych spienieniu wodą. Cel osiągnięty został, dzięki zastosowaniu do modyfikacji asfaltu jednocześnie dwóch substancji, tj. modyfikatora w postaci wosku syntetycznego Fischera-Tropscha oraz dodatku substancji powierzchniowo-aktywnej na bazie amin kwasów tłuszczowych. Ponadto podczas produkcji proekologicznej mieszanki mineralno-asfaltowej dozowano materiał włóknisty w celu dalszej poprawy jej własności funkcjonalnych. Zastosowanie wosku syntetycznego wpływając znacząco na zmiany cech reologicznych lepiszcza poprawiło m.in. urabialność i zagęszczalność mma oraz zwiększyło jej odporność na koleinowanie, natomiast dodatek PAS poza wymienionymi aspektami przyczynił się dodatkowo do zmniejszenia jej wrażliwości na działanie wody. Opisane rozwiązanie potwierdziło swoją skuteczność w obecności kruszyw kwarcytowych w składzie mieszanki mineralnej. Dodatek powierzchniowo-aktywnej substancji korzystnie wpłynął na poprawę warunków adhezji lepiszcza do kruszywa, natomiast włókna syntetyczne produkowane ze zużytych opon samochodowych, pełniące rolę zbrojenia rozproszonego, wzmocniły strukturę mieszanki betonu asfaltowego, zwiększając jej odporność na zjawisko zmęczenia. W efekcie końcowym otrzymano mieszankę mineralno-asfaltową o znacząco ulepszonych parametrach eksploatacyjnych względem mieszanki referencyjnej produkowanej w tradycyjnej energochłonnej technologii „na gorąco”.

Przedstawione w publikacji [1] wyniki są zbieżne z poprzednimi rezultatami badań realizowanych na mieszance AC 8S [2, 5, 6], jako że zastosowanie niemodyfikowanego lepiszcza w mieszance z asfaltem spienionym również skutkowało pogorszonym zagęszczeniem oraz obniżoną odpornością zagęszczonych próbek na oddziaływanie czynników ruchowych i klimatycznych. Zastosowanie dodatku wosku FT z jednoczesnym dodatkiem powierzchniowo-aktywnej substancji (w przypadku mieszanki z kruszywem kwarcytowym) oraz materiału włóknistego pozwoliło uzyskać kompozyt mineralno-asfaltowy o właściwościach ulepszonych względem mieszanki referencyjnej.

Podsumowując powyższe, badania zrealizowane na mieszankach mineralno-asfaltowych różniących się uziarnieniem, przeznaczeniem, zawartością asfaltu oraz wymaganiami potwierdziły, że stosując opisywaną technologię produkcji mma w obniżonej temperaturze łatwiej jest uzyskać prawidłowe otoczenie ziaren i zagęszczenie w przypadku droboziarnistych mieszank. Spowodowane jest to większą łatwością z jaką asfalt spieniony otacza ziarna mineralne o mniejszym wymiarze, jak również większą zawartością asfaltu, niż w przypadku mieszank gruboziarnistych, w których można napotkać trudności w uzyskaniu jednorodnego otoczenia mm pianą asfaltową. W każdym z badanych przypadków użycie opisanych w poprzedniej części autoreferatu dodatków PAS i/lub modyfikatora FT usprawniało przebieg procesu produkcji mma. Natomiast, wykorzystanie w tej technologii włókien syntetycznych niesie ze sobą, w warunkach zwiększającego się obciążenia nawierzchni ruchem, nie tylko poprawę parametrów techniczno-eksploatacyjnych mma prowadząc do wydłużenia trwałości i żywotności konstrukcji nawierzchni drogowej, ale przede wszystkim umożliwia utylizację tego odpadu.

Warto dodać, że obecnie przedsiębiorstwa drogowe na terenie kraju posiadają już specjalistyczny sprzęt do spieniania asfaltu wodą, tj. przystawki instalowane do istniejących otaczarni, a nawet inwestują w nowe wytwórnie mma o pracy ciągłej z modułem do spieniania asfaltu, pozwalające wdrażać innowacyjne rozwiązania materiałowe, nawet te z użyciem modyfikatorów i dodatków chemicznych czy organicznych. Wprowadzenie w Polsce do wykonawstwa drogowego mieszank mineralno-asfaltowych z asfaltem spienianym wodą, wytwarzanych i wbudowywanych w obniżonej temperaturze, wpisuje się w trendy ukierunkowane na energooszczędność procesu produkcyjnego, co pozwoli na ochronę środowiska poprzez wyraźną redukcję emisji CO₂ do atmosfery oraz innych szkodliwych substancji powstających w tradycyjnej technologii „na gorąco”, a także ograniczy zużycie nieodnawialnych źródeł energii podczas wytwarzania mieszank mineralno-asfaltowych.

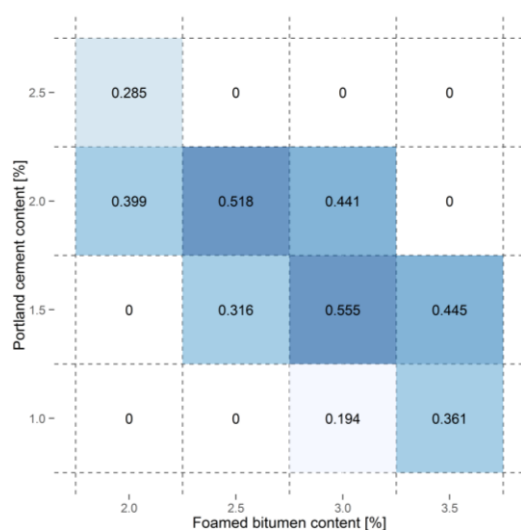
Mieszanki mineralno-asfaltowe wytwarzane metodą „na zimno” z asfaltem spienionym

Ostatni przedstawiany obszar zagadnień w ramach jednotematycznego cyklu publikacji dotyczy technologii wytwarzania recyklowanych mieszank mineralno-cementowych z asfaltem spienionym metodą „na zimno”. Jest to jeden z bardziej efektywnych sposobów pod względem zagospodarowania materiałów ze zużytych warstw konstrukcji nawierzchni drogowej, ukierunkowany na ekologię i ekonomię procesu produkcyjnego, wskutek m.in. ograniczenia wykorzystywania nowych surowców mineralnych. Korzyści ze stosowania tej technologii to również brak konieczności podgrzewania składników mieszanki ograniczający zjawisko emisji szkodliwych związków do atmosfery oraz znacznie niższe koszty związane z wytworzeniem warstwy konstrukcyjnej w porównaniu do stosowanych obecnie alternatywnych metod, ze względu na możliwość nawet w 100% ponownego wykorzystania materiału z istniejących warstw nawierzchni. Skutkuje to wyraźnymi korzyściami ekonomiczno-środowiskowymi związanymi z ograniczeniem transportu materiałów, ale także zmniejszeniem emisji spalin i hałasu od pojazdów silnikowych przewożących nowe materiały drogowe. Dodatkowym czynnikiem skłaniającym do stosowania tego typu mieszank są stale rozszerzane regulacje w ramach Unii Europejskiej i innych umów międzynarodowych, preferujące wydajne energetycznie, proekologiczne rozwiązania dla procesów produkcyjnych.

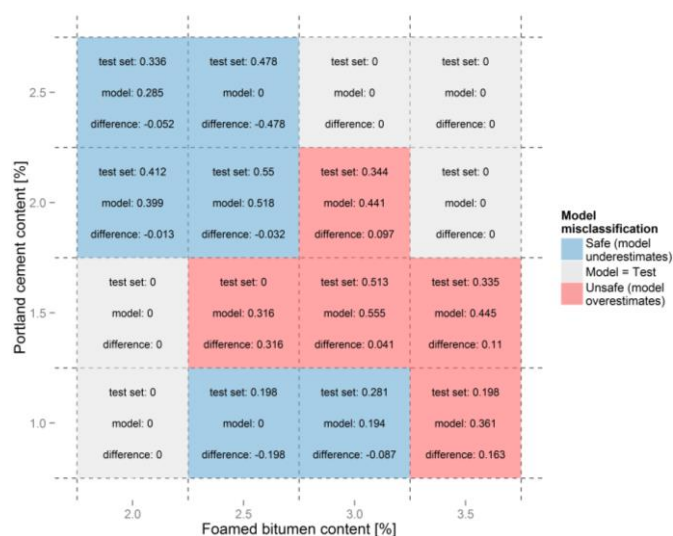
Materiały stabilizowane asfaltem spienionym stosowane do warstw podbudowy, wytwarzane w technologii recyklingu „na zimno” cechują się dużą objętością wolnych przestrzeni w porównaniu do tradycyjnych mma produkowanych w technologii „na gorąco”. Możliwa do osiągnięcia w procesie zagęszczania zawartość wolnych przestrzeni w recyklowanym materiale zależy głównie od składu granulometrycznego mieszanki, ale co istotne również od udziału w niej drobnych cząstek (<0,063 mm) oraz od ilości zadozowanych materiałów wiążących (lepiszcza asfaltowego, spoiwa hydraulicznego) tworzących w połączeniu pewien rodzaj mastyksu (matrycę), w której usytuowane są większe ziarna mieszanki. Prawidłowo dobrana ilość oraz rodzaj środków wiążących uwzględniająca rodzaj i pochodzenie materiałów wchodzących w skład recyklowanej mieszanki, zapewnić powinna uzyskanie wymaganej zawartości wolnych przestrzeni (szczelności) w zagęszczonej warstwie oraz odpowiednie parametry mechaniczne, trwałość czy odporność recyklowanego materiału na oddziaływanie wody.

W ramach prezentowanego cyklu powiązanych tematycznie publikacji, w obrębie opisywanego obszaru zagadnień [4, 7, 8, 9, 10, 12, 14], zidentyfikowano szereg tematów badawczych związanych z projektowaniem i wykonawstwem podbudów recyklowanych metodą „na zimno” w technologii asfaltu spienionego, które wymagały pogłębionej analizy i weryfikacji w celu zapewnienia wysokiej jakości oraz trwałości nawierzchni drogowych z podbudową z mieszanki MCAS.

Jednym z ważniejszych zagadnień zaprezentowanych w ww. publikacjach realizowanych w ostatnim czasie była weryfikacja zaleceń projektowych co do ilości materiałów wiążących z uwzględnieniem rzeczywistych warunków wykonawstwa tego rodzaju materiałów konstrukcyjnych. W wyniku zastosowania metody optymalizacji wielokryterialnej (rys. 11, rys. 12), możliwe było zidentyfikowanie optymalnego zakresu dozowania środków wiążących (lepiszcza asfaltowego, spoiwa hydraulicznego) w mieszankach MCAS w oparciu o jednoczesną ocenę wybranych parametrów recyklowanych mieszanek oraz sformułowanie ogólnych zaleceń w oparciu o wyniki uzyskane dzięki zastosowaniu zaawansowanych narzędzi statystycznej analizy danych, co szczegółowo opisano w pracy [10].



Rys. 11. Wyniki optymalizacji składu mieszanek MCAS (zawartości asfaltu spienionego i cementu portlandzkiego) [10]



Rys. 12. Wyniki weryfikacji optymalizacji składu mieszanki MCAS [10]

Wobec różnorodności przebudowywanych w Polsce konstrukcji nawierzchni drogowych, istotnym zagadnieniem, które wymagało wnikliwej analizy była ocena wpływu składu recyklowanej mieszanki na jej właściwości fizyczne i mechaniczne. Moim oryginalnym osiągnięciem naukowym przedstawionym w publikacjach [7, 9, 14], było zbadanie możliwości stabilizacji różnego typu materiałów i oceny wpływu składu mieszanki MCAS na jej końcowe parametry. Analizowane mieszanki MCAS zawierały w swoim składzie zmienne proporcje pomiędzy surowcami wtórnymi a nowymi kruszywami naturalnymi stanowiącymi doziarnienie frakcją 0/2 mm, 0/4 mm lub 0/31,5 mm. Natomiast, jako materiały powtórnie przetwarzane, stosowano: destruk asfaltowy pozyskany w wyniku frezowania warstw asfaltowych, destruk kamienny pochodzący z warstwy podbudowy oraz pyły wapienne otrzymane z systemu odpylania kruszywa na wytwórni mma. W ramach tych prac potwierdzone zostały sformułowane wcześniej zalecenia zapisane w OST D-04.10.01a pt. „Podbudowa z mieszanki mineralno-cementowej z asfaltem spienionym wykonana w technologii recyklingu głębokiego na zimno”) dotyczące sumarycznej zawartości lepiszcza asfaltowego (nowo dodanego w postaci piany oraz starego pochodzącego z destruktu asfaltowego), w tych przypadkach wynoszącej w granicach 4,5-6% oraz optymalnej zawartości spoiwa hydraulicznego równej 2%. Analizy wyników badań ujawniły, że mieszanki przetwarzane metodą „na zimno” z asfaltem spienionym, z uwagi na formę i właściwości tego lepiszcza, pozwalają uzyskiwać zadowalające efekty nawet w przypadku dużej zmienności jakości i składu materiału wejściowego, a zmiany w ich składzie nie wpłynęły znacząco na parametry wytworzonych z nich podbudów. Wykazana została wszechstronność tej technologii,

poprzez możliwość przetwarzania rozmaitych materiałów zróżnicowanych pod względem jakościowym i ilościowym, w celu uzyskania nośnej i trwałej warstwy konstrukcyjnej. Wykazano, że odpowiednio dobrana kombinacja środków wiążących w mieszankach MCAS odgrywa kluczowe znaczenie dla uzyskania pożądanych efektów i spełnienia stawianych wymagań przez krajowe dokumenty techniczne.

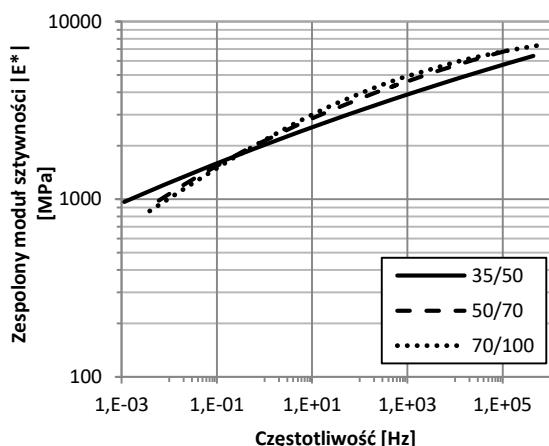
Rozpatrując rodzaj stosowanego lepiszcza asfaltowego, początkowo w Polsce do wytwarzania mieszanek MCAS wykorzystywane było lepiszcze specjalne (85N), produkowane z ropy naftowej pochodzenia wenezuelskiego, opracowane do technologii spieniania wodą. Co jednak wykazały późniejsze badania, z powodzeniem w tej technologii stosować można ponafkowe asfalty drogowe oferowane przez krajowych producentów, powszechnie wykorzystywane do mieszanek mineralno-asfaltowych (np. 50/70). W oparciu o powyższe spostrzeżenia, realizowane w ostatnim czasie badania z przedmiotowego zakresu tematycznego ukierunkowałam na upowszechnienie i popularyzację tej technologii w krajowych warunkach klimatycznych.

W kontekście nowości technologii recyklingu z asfaltem spienionym oraz rozpowszechnienia jej stosowania, na przykładzie realizacji zadań drogowych zlokalizowanych na terenie województwa świętokrzyskiego, na których wbudowano mieszanki MCAS, możliwe było sformułowanie wstępnych krajowych zaleceń dotyczących procedury projektowania składu i doboru materiałów oraz procesu wytwarzania i wbudowywania mieszanek MCAS, co opisano w publikacjach [9, 12]. Ściśle sprecyzowano metodykę badań oraz wymagania stawiane wobec przetworzonego oraz wbudowanego materiału, a także zasady kontroli jakości wykonanej warstwy. Ponadto wykazano, że możliwe jest uzyskanie wymaganej nośności warstwy podbudowy już w dniu jej wykonania, co stanowi niewątpliwie ogromną zaletę tej technologii, mogącą się przyczynić do skrócenia czasu realizacji prac nawierzchniowych. Osiągnięcie to możliwe było do zrealizowania dzięki licznym inwestycjom drogowym prowadzonym w regionie świętokrzyskim na przestrzeni ostatnich 7 lat, podczas których wykonywane były obszerne badania laboratoryjne i polowe, zarówno na etapie wykonywania, jak również podczas eksploatacji odcinków dróg, na których przetwarzano różnorodne materiały w pełnowartościową podbudowę MCAS.

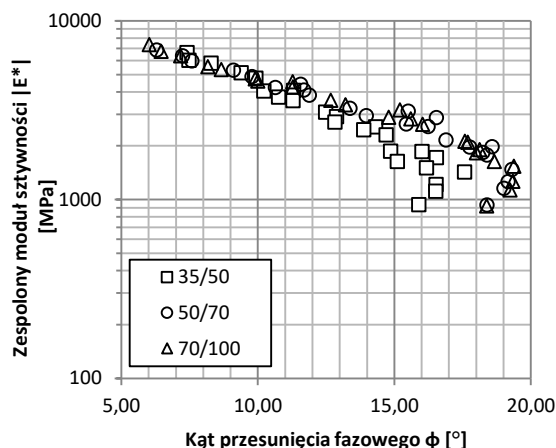
Na podstawie pozytywnych doświadczeń z wykonanych już odcinków dróg z podbudową MCAS oraz po kilkuletnim okresie ich eksploatacji, potwierdzona została użyteczność i skuteczność tej technologii podczas wzmacniania dróg w polskich warunkach klimatycznych. Istnieje jednocześnie potrzeba prowadzenia dalszych analiz w kierunku dostosowania procedur badawczych z uwzględnieniem uwarunkowań ekonomicznych i środowiskowych, tj. skrócenia czasu realizacji zadań drogowych przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiej jakości i wymaganej trwałości konstrukcji nawierzchni w długim okresie jej eksploatacji.

Ponadto na podstawie zdobytych doświadczeń z realizacji licznych odcinków dróg z podbudową z mieszanki MCAS jednoznacznie stwierdzono, że korzystnym jest, aby przed wbudowaniem kolejnej warstwy konstrukcyjnej z mma ułożyć warstwę wyrównawczą z drobnoziarnistej mieszanki AC 8 grubości do 3 cm, której zadaniem jest przeciwdziałanie w przenoszeniu nierówności od podbudowy na wyżej leżące warstwy asfaltowe. Przetwarzanie gruboziarnistych, często niejednorodnych materiałów zalegających w spodzie starych zużytych konstrukcji nawierzchni drogowych powoduje technologiczne trudności w uzyskaniu wymaganej równości podłużnej i poprzecznej warstwy recyklowanej podbudowy. Wykonawcy zmuszeni są w takim przypadku wykonać grubszą warstwę podbudowy z mieszanki MCAS z założeniem późniejszego jej powierzchniowego frezowania wyrównawczego, co nie jest korzystne ze względów finansowych i środowiskowych. Ponadto co znalazło potwierdzenie w badaniach, wałowana warstwa o dużej grubości cechuje się w spodzie niekorzystnie niższym od zakładanego zagęszczeniem. Zaproponowane przeze mnie podejście w formie stosowania warstwy wyrównawczej z drobnoziarnistej mieszanki mineralno-asfaltowej chroni również warstwy wyżej leżące przed możliwością powstawania spękań odbitych. Aspekt ten jest niezwykle korzystny, jako że większość przebudowywanych odcinków dróg w technologii asfaltu spienionego przetwarzanych jest metodą *in situ* i realnym jest ryzyko miejscowego przedozowania spoiwa hydraulicznego, skutkującego powstaniem przeszywnionych obszarów nawierzchni mogących inicjować powstawanie spękań odbitych.

Mając na uwadze pozytywne doświadczenia praktyczne opisane w pracach [9, 12], dotyczące produkcji i wbudowywania mieszanek MCAS z wykorzystaniem asfaltów drogowych o różnej penetracji, podjęłam próbę oceny wpływu konsystencji zastosowanego asfaltu drogowego na właściwości lepkosprężyste wytworzonej warstwy. Przeprowadzona analiza wartości zespolonych modułów sztywności (rys. 13, rys. 14) oznaczanych w schemacie bezpośredniego ściskania, w szerokim zakresie temperatur i częstotliwości obciążania, nie wykazała istnienia istotnych różnic w charakterystykach reologicznych mieszanek MCAS zawierających najczęściej stosowane w tej technologii asfalty (o penetracji 50/70 oraz 70/100), co opisano w pracy [7]. Wyniki badań potwierdziły również słuszność przyjętej w nowym Katalogu Typowych Konstrukcji Podatnych i Półsztywnych (2014) koncepcji projektowania metodą mechanistyczną konstrukcji nawierzchni drogowych z podbudowami z mieszanek MCAS.



Rys. 13. Krzywe wiodące modułów zespolonych mieszanek MCAS z asfaltem spienionym o penetracjach 35/50, 50/70 i 70/100 dla temperatury 20°C [7]



Rys. 14. Wykresy Blacka badanych mieszanek MCAS z asfaltem spienionym o penetracjach 35/50, 50/70 i 70/100 [7]

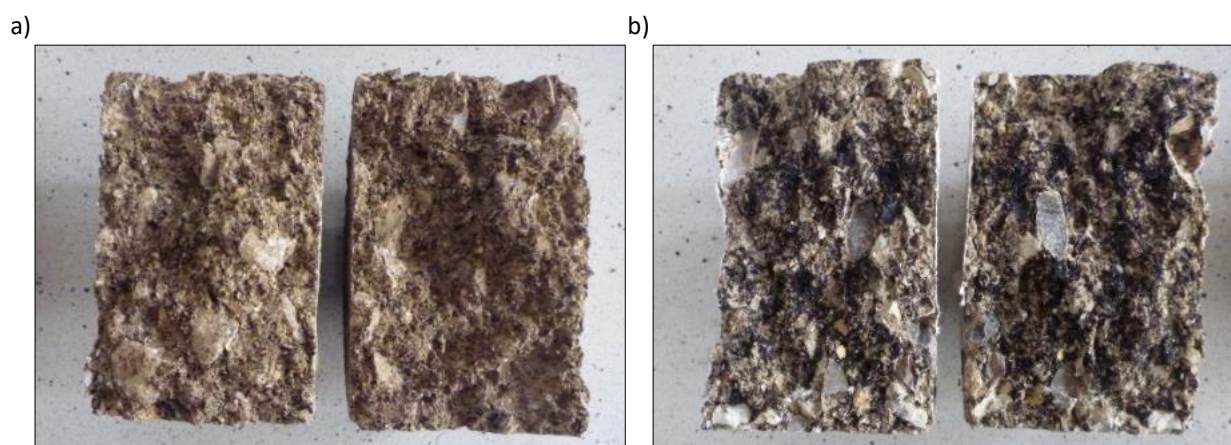
Kolejnym, analizowanym problemem naukowym w rozpatrywanym obszarze tematycznym była ocena wpływu sposobu zagęszczania próbek z recyklowanych mieszanek MCAS oraz mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE) na ich właściwości fizyczne i mechaniczne. Warto wspomnieć, że w pewnym okresie w krajowych dokumentach technicznych dotyczących projektowania i wbudowywania ww. mieszanek funkcjonowały równolegle dwie metody zagęszczania próbek – udarowa (wykorzystująca ubijak Marshalla) oraz statyczna (z użyciem prasy hydraulicznej), które do tej pory wymieniane są równolegle w dokumentacjach przetargowych i stosowane są przez jednostki biorące udział w procesie budowlanym (projektantów, inwestorów i wykonawców), prowadząc niejednokrotnie do niejasności i błędów interpretacyjnych, stwarzając problemy na etapie odbioru robót.

Zrealizowane badania laboratoryjne w odniesieniu do metod zagęszczania recyklowanych materiałów oraz sformułowane wstępne rekomendacje pozwalające zrównoważyć wymagania skutecznego projektowania tego typu mieszanek oraz bieżącej kontroli wbudowywanego materiału opisano w pracach [4, 14]. W publikacjach tych przedstawiono wyniki badań oceny wpływu laboratoryjnych metod zagęszczania na właściwości recyklowanych mieszanek z asfaltem spienionym oraz z emulsją asfaltową, na podstawie których stwierdzono, że rodzaj metody zagęszczania ma istotny wpływ na ich cechy fizyczne i mechaniczne. Zanotowano, że metoda udarowa wierniej odzwierciedla stan materiału (zagęszczenie) wbudowanego w nawierzchnię, podczas gdy zastosowanie metody statycznej powodowało w każdym przypadku przegęszczenie próbek i w efekcie przeszacowanie ich parametrów wytrzymałościowych. Wykazano, że próbki zagęszczane statycznie zgodnie z Polskimi wytycznymi, w typowych warunkach obciążenia i czasie jego oddziaływania (100 kN przez czas 5 minut), w wielu przypadkach (zależnie od uziarnienia recyklowanej mieszanki czy ilości materiałów

wiążących) charakteryzują się zbyt dużą gęstością objętościową, nieadekwatną do tej osiąganą w warunkach polowych.

Wobec powyższego, podjęto się próby modyfikacji metody zagęszczania próbek prasą hydrauliczną względem metody Marshalla, poprzez zmniejszenie wartości nacisku oraz czasu zagęszczania w oparciu o wyniki uzyskane w badaniach recyklowanych mieszanek MCE i MCAS, co szczegółowo opisano w pracy [4]. W celu uzyskania porównywalnego poziomu zagęszczenia (zawartości wolnych przestrzeni) próbek formowanych statycznie do tych zagęszczanych udarowo, mieszanki recyklowane zagęszczano w zmienionych warunkach obciążenia i czasu jego oddziaływania. W toku zrealizowanych prac badawczych analizowano efekt zmniejszenia wartości działającej siły konsolidującej ze 100 kN na 80 kN oraz skrócenia czasu zagęszczania, co pozwoliło określić nowe warunki zagęszczania próbek z mieszanek recyklowanych. Zmodyfikowana w oparciu o wyniki badań metoda zagęszczania może być wykorzystywana do formowania próbek bezpośrednio na budowie, skutkując wynikami zbliżonymi do tych uzyskiwanych metodą udarową.

Poza wpływem sposobu zagęszczania próbek na własności fizyczne i mechaniczne, zaobserwowano również jego istotny wpływ na strukturę recyklowanego materiału, tzn. na sposób ułożenia się ziaren kruszywa zagęszczonego materiału i obserwowaną formę zniszczenia próbek w badaniach wytrzymałości na pośrednie rozciąganie. W przetłomach próbek (rys. 15a, rys. 15b) wyraźnie zauważalne są różnice w przebiegu linii pęknięcia: w próbce zagęszczanej statycznie przebiega ona przez wszystkie wyodrębnione fazy (szkielet mineralny, fazę mastyksu i fazę wypełniaczową), natomiast w próbkach formowanych w ubijaku Marshalla linia pęknięcia omija dwie pierwsze fazy, przez co powierzchnia próbek w miejscach ich rozłupania jest bardziej nieregularna.



Rys. 15. Powierzchnie zniszczenia próbek z mieszanek MCAS zagęszczanych przy użyciu ubijaka Marshalla (a) i prasy statycznej (b) [14]

Kolejnym moim oryginalnym osiągnięciem naukowym są wyniki analiz dotyczących wykorzystania asfaltu spienionego podczas przetwarzania istniejących, zniszczonych warstw nawierzchni w pełnowartościowe materiały z przeznaczeniem na warstwę ulepszanego podłoża i/lub podbudowy pomocniczej bez konieczności kosztownego ich rozbierania, wywozu i późniejszego zagospodarowania.

W pracy [8] przedstawiono propozycję przebudowy konstrukcji nawierzchni na przykładzie odcinka drogi wojewódzkiej zlokalizowanej w regionie świętokrzyskim. Porównano efektywność ekologiczną i ekonomiczną zaproponowanych technologii przy występowaniu zmiennych warunków nośności podłoża gruntowego, co ma bardzo często miejsce w przypadku budowli liniowych. W analizowanym przypadku rozpoznano w podłożu zaleganie różnych typów piasków (w tym pylastych oraz równoziarnistych słabozagęszczalnych), a trwałość nawierzchni oszacowano z uwzględnieniem tradycyjnych (katalogowych) i alternatywnych rozwiązań materiałowych przy zmiennych warunkach nośności podłoża gruntowego. Wykazano, iż zastąpienie standardowych rozwiązań na bazie nowych surowców, materiałami przetworzonymi w technologii recyklingu „na zimno” z asfaltem spienionym

stanowi najbardziej efektywny sposób pod względem ekonomicznym oraz środowiskowym, przy jednoczesnym zachowaniu trwałości nawierzchni w długim okresie jej eksploatacji. Przedstawione wyniki obliczeń trwałości zmęczeniowej wykazały, że w przypadku konstrukcji posadowionych na podłożu niewysadzinowym, zastosowanie asfaltu spienionego do warstwy podbudowy zasadniczej oraz warstw pełniących funkcję podbudowy pomocniczej lub wzmocnionego podłoża umożliwia zmniejszenie grubości pakietu warstw asfaltowych oraz warstw przetworzonych metodą recyklingu „na zimno” z asfaltem spienionym, względem typowej konstrukcji wykonanej na bazie nowych materiałów. Pomimo konieczności stosowania w tych przypadkach materiałów wiążących (spoiwa hydraulicznego i asfaltu spienionego), uzyskuje się wyraźne korzyści ekonomiczne i ekologiczne na skutek ograniczenia konieczności prowadzenia prac rozbiórkowych, wywozu i zagospodarowania materiałów odpadowych. Efekt ten oszacowano w tonach nowych materiałów konstrukcyjnych, których użycie zostało zastąpione możliwością zastosowania technologii recyklingu zużytych warstw konstrukcyjnych nawierzchni, podczas gdy w typowej konstrukcji materiał ten musi zostać zakupiony, przetransportowany (obciążając istniejącą sieć dróg) oraz wbudowany, co niesie za sobą ponoszenie kosztów na każdym z wymienionych etapów.

Ostatnim dokonaniem naukowym opisanym w jednotematycznym cyklu publikacji w zakresie technologii recyklingu „na zimno”, było wykazanie różnic między mieszankami mineralno-cementowo-emulsyjnymi stosowanymi od wielu lat w naszym kraju a mieszankami MCAS na podstawie badań ich właściwości fizycznych i mechanicznych, co zostało przedstawione w pracach [4, 7, 14]. Intensywne badania laboratoryjne prowadzone od wielu lat w Politechnice Świętokrzyskiej nad zastosowaniem asfaltu spienionego do technologii recyklingu głębokiego „na zimno” a następnie zrealizowane liczne odcinki dróg z podbudową MCAS wykazały ogromną przydatność oraz efektywność ekologiczną i ekonomiczną tej technologii, a w niektórych aspektach nawet jej przewagę względem konkurencyjnych mieszanek MCE. We wspomnianych publikacjach, w sposób jednoznaczny zostały przedstawione i naukowo wykazane korzyści wiążące się ze stosowaniem tej technologii, wśród których wymienić można niewielkie zużycie nowych materiałów (przy możliwym dużym udziale materiałów z recyklingu istniejących nawierzchni), niską energochłonność, szybki postęp robót oraz możliwość natychmiastowego wbudowywania kolejnych warstw przy ograniczeniu dozowania spoiw hydraulicznych i zmniejszeniu w ten sposób ryzyka powstawania spękań odbitych w wyżej leżących warstwach asfaltowych.

Podsumowując należy stwierdzić, że w efekcie realizowanych przeze mnie wieloletnich prac potwierdziłam możliwość stosowania technologii recyklingu „na zimno” z asfaltem spienionym w polskich warunkach klimatycznych. Wykazałam skuteczność przetwarzania rozmaitych, nawet tych o niskiej jakości materiałów o zmiennych właściwościach, które w tradycyjnych technologii kwalifikowane są jako materiał odpadowy, w trwałą i nośną warstwę pełniącą funkcję podbudowy zasadniczej, pomocniczej a nawet wzmocnienia słabonośnego podłoża. Stosowanie mieszanek MCAS, dzięki ograniczeniu w zużywaniu nieodnawialnych surowców naturalnych poprzez zastąpienie ich w jak największym stopniu materiałami poddawanych powtórnemu przetworzeniu, może przyczynić się do poprawy trudnej sytuacji niewielkich zasobów mineralnych wielu regionów kraju, co wpisuje się w realizację polityki zrównoważonego rozwoju.

Podsumowanie

Moim największym osiągnięciem zrealizowanym w ostatnich latach było zidentyfikowanie i podjęcie się analizy najbardziej istotnych zagadnień badawczych z zakresu tematycznego szeroko pojętej technologii asfaltu spienianego wodą i jej zastosowania do otrzymywania proekologicznych mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych i wbudowywanych w obniżonej temperaturze.

Przyjęte przeze mnie kompleksowe podejście do problemu wytwarzania i eksploatacji mieszanek mineralno-asfaltowych różnych typów, produkowanych w obniżonych temperaturach z asfaltem spienionym, pozwoliło w sposób efektywny wykorzystać wyniki badań w kolejnych pracach badawczych. Zrealizowane badania pozwoliły mi poznać możliwości technologii asfaltu spienionego oraz nakreślić kierunki dalszych prac badawczych. Dzięki tym doświadczeniom mogłam podjąć się

realizacji zaawansowanych badań nad asfaltami spienianymi wodą i wpływem na ich pienistość rodzaju lepiszcza czy dodawanych substancji chemicznych i organicznych, co w następstwie pozwoliło mi realizować badania na mieszankach mineralno-asfaltowych wytwarzanych metodą „na ciepło” i „na półciepło” z asfaltem spienionym. Równolegle prowadziłam nowe prace naukowe związane z mieszankami MCAS, które zaowocowały istotnym rozszerzeniem rekomendacji dotyczących projektowania, wbudowywania i kontroli jakości tego typu materiału, przyczyniając się wymiennie do rozszerzenia zakresu stosowania tej technologii w Polsce. Wymienione wyżej wyniki prac publikowane były na przestrzeni lat w formie artykułów naukowych w prestiżowych czasopismach naukowych i branżowych oraz prezentowane były na licznych krajowych i zagranicznych konferencjach, zgodnie z wykazem zamieszczonym w załączniku 4.

Głównym osiągnięciem naukowym zrealizowanym w toku badań ujętych w prezentowanym cyklu publikacji pt. „Zastosowanie technologii spieniania wodą lepiszczy asfaltowych w wytwarzaniu innowacyjnych, proekologicznych mieszanek mineralno-asfaltowych, charakteryzujących się obniżonymi temperaturami technologicznymi” jest połączenie ze sobą wielu zagadnień materiałowo-technologicznych w spójny zbiór prac, których wspólnym mianownikiem jest innowacyjne lepiszcze w formie piany asfaltowej i jego zastosowanie do otrzymywania proekologicznych mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych i wbudowywanych w znacząco obniżonej temperaturze.

Prezentowany jednotematyczny cykl publikacji dotyczący zagadnień w zrównoważonym budownictwie drogowym zawiera osiągnięcia stanowiące istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej budownictwo. Moim szczególnym dokonaniem jest opis możliwości modyfikacji własności i zachowania się lepiszczy podczas spieniania wodą wskutek zastosowania odpowiednich substancji chemicznych i organicznych wykorzystywanych już w budownictwie drogowym. W przedmiotowych pracach wykazałam istnienie szeregu pozytywnych efektów stosowania tego typu środków, z których na szczególną uwagę zasługuje możliwość obniżenia temperatury asfaltu przed jego spienieniem oraz możliwość poprawy pienistości lepiszczy.

W zakresie tematycznym dotyczącym mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych metodą „na ciepło” oraz „na półciepło” z asfaltem spienionym, za szczególne dokonanie uważam przedstawienie sposobu pozwalającego na znaczące obniżenie temperatur technologicznych mma, zweryfikowanego w świetle krajowych wymagań dla mma przeznaczonych na górne warstwy konstrukcyjne nawierzchni oraz wykazanie możliwości utylizacji w tej technologii materiału odpadowego. Ważnym osiągnięciem było potwierdzenie, że w opracowanej technologii mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych i wbudowywanych w obniżonej temperaturze mogą znaleźć zastosowanie kruszywa lokalne o wysokich parametrach mechanicznych, jednak o słabym powinowactwie z lepiszczem (np. kwarcyty).

W obszarze tematycznym dotyczącym badań właściwości mieszanek MCAS realizowałam wieloletnie prace w warunkach laboratoryjnych oraz terenowych, w celu określenia wpływu metod zagęszczania próbek z recyklowanego materiału na ich parametry fizyczne i mechaniczne, a następnie na tej podstawie opracowana została zmodyfikowana procedura formowania ich na potrzeby m.in. prawidłowej oceny jej parametrów w odniesieniu do wbudowywanej warstwy podbudowy. Ponadto wykazałam, że możliwe jest przetworzenie różnego rodzaju istniejących warstw nawierzchni metodą mieszania na miejscu w technologii recyklingu „na zimno” z asfaltem spienionym w pełnowartościową warstwę mogącą pełnić funkcję podbudowy zasadniczej, pomocniczej, jak również ulepszonego podłoża, co niesie ze sobą korzyści środowiskowe i finansowe dla uczestników procesu inwestycyjnego. Rozważania te potwierdzają fakt, że należy dążyć do maksymalnego wykorzystania istniejących materiałów ze zużytych warstw konstrukcji nawierzchni drogowej, wpisując się w strategię zrównoważonego rozwoju. Stosowanie technologii recyklingu umożliwia zagospodarowanie istniejących materiałów nawet w 100%, przyczyniając się do ograniczenia transportu nowych surowców mineralnych, co wpływa korzystnie na proces realizacji inwestycji drogowych.

Omówienie możliwości wykorzystania wykonanych prac

Wyniki prac badawczych przedstawione w ramach jednotematycznego cyklu publikacji były w ostatnich latach szeroko wykorzystywane w ramach współpracy z przemysłem. W odniesieniu do stosowanych materiałów składowych mieszanek MCAS czy ustalonych zakresów ilościowych dozowania materiałów wiążących, doświadczenia te wykorzystywane są szeroko od 2010 roku podczas realizacji wielu inwestycji drogowych nie tylko w województwie świętokrzyskim, ale również w wielu innych regionach Polski.

Istotnym osiągnięciem w tym zakresie było moje uczestnictwo we „Wdrożeniu innowacyjnej technologii recyklingu głębokiego „na zimno” konstrukcji nawierzchni drogowej z asfaltem spienionym w województwie świętokrzyskim” przez Kieleckie Przedsiębiorstwo Robót Drogowych Sp. z o.o. wspólnie z Katedrą Inżynierii Komunikacyjnej Politechniki Świętokrzyskiej, zakończonym uzyskaniem nagrody NOVATOR przyznanej przez Staropolską Izbę Przemysłowo-Handlową w dziedzinie „Współpraca nauka – przemysł”, za działania innowacyjne.

Potencjalnymi odbiorcami opracowanych przeze mnie rozwiązań technologicznych i materiałowych są małe, średnie i duże przedsiębiorstwa, wykonujące roboty drogowe. Stale współpracuję z przedsiębiorstwami drogowymi otwartymi na stosowanie innowacyjnych rozwiązań, które posiadają sprzęt do wytwarzania mieszanek MCAS w technologii recyklingu „na zimno”. Ponadto współdziałam z lokalnymi zarządami dróg, a na szczególną uwagę zasługują wspólne działania ze Świętokrzyskim Zarządem Dróg Wojewódzkich w Kielcach, który po wykonaniu pierwszych odcinków dróg w technologii recyklingu głębokiego „na zimno” z asfaltem spienionym, regularnie już stosuje tę metodę przebudowy. Odpowiadając na zapotrzebowanie ze strony jednostek samorządowych, coraz więcej przedsiębiorstw drogowych stosuje tę technologię, która aktualnie już ma ugruntowaną pozycję.

W latach 2010-2011 przedmiotem realizacji były przebudowy trzech odcinków dróg, w ramach których występowały znaczne różnice w składzie wbudowywanych mieszanek recyklowanych (w ciągu dróg powiatowych 0382T i 0325T oraz wojewódzkiej DW753). W latach 2013-2014 oddano do użytku kolejne 3 fragmenty przebudowywanych dróg z podbudowami recyklowanymi MCAS (2 odcinki w ciągu DW744, jeden odcinek w ciągu DW763). W roku 2016 w tej technologii przebudowany został m.in. odcinek drogi wojewódzkiej nr 762 zlokalizowanej w gminie Małogoszcz oraz odcinek drogi krajowej nr 42 Wąchock – Starachowice oraz ul. Kielecka w Starachowicach. W odróżnieniu od wcześniej realizowanych inwestycji, nie stosowano już do wytwarzania mieszanki MCAS asfaltu specjalnego (85N), lecz popularny asfalt drogowy o penetracji 50/70. Do końca 2017, w województwie świętokrzyskim zrealizowano kilkadziesiąt kilometrów dróg z podbudową z recyklowanych mieszanek MCAS, na drogach powiatowych, wojewódzkich oraz krajowych. Aktualnie realizowana jest dalsza rozbudowa drogi wojewódzkiej nr 762 na odcinku Chęciny-Małogoszcz o długości ok. 10,5 km, w ramach której zaprojektowana została całkowita przebudowa konstrukcji nawierzchni z wykorzystaniem technologii asfaltu spienionego do warstwy podbudowy pomocniczej oraz ulepszanego podłoża.

Pozostałe prace w obszarze tematycznym mieszanek recyklowanych wytwarzanych metodą „na zimno” z asfaltem spienionym mają duży potencjał aplikacyjny, jako że opracowaniu analizy uzyskanych wyników każdorazowo towarzyszyło tworzenie rekomendacji. Wobec spójnych i istotnych z punktu widzenia technologii i procesu budowlanego wyników, prace te powinny znaleźć swoje odzwierciedlenie w kolejnych nowelizacjach dokumentu technicznego (OST D-04.10.01a pt. „Podbudowa z mieszanki mineralno-cementowej z asfaltem spienionym wykonana w technologii recyklingu głębokiego na zimno”) opracowanego przez Zespół powołany przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad), którego byłam członkiem.

Stała współpraca z projektantami oraz przedsiębiorstwami drogowymi pozwala na dobrą znajomość charakteru rynku docelowego i właściwe ukierunkowanie prowadzonych przeze mnie prac badawczych, w tym na właściwe określenie zapotrzebowania na nowe rozwiązania technologiczne oraz wytyczne projektowania i wbudowywania dolnych i górnych warstw konstrukcyjnych w niskoemisyjnej technologii asfaltu spienionego.

Zainteresowanie w naszym kraju technologią recyklingu głębokiego „na zimno” z asfaltem spienionym wzrasta, a wynika to z możliwości powtórnego wykorzystania materiałów, zmniejszenia zużycia nowych asfaltów i kruszyw oraz ograniczenia energochłonności robót naprawczych przyczyniając się do obniżenia kosztów utrzymania dróg. Planowane przebudowy kolejnych odcinków dróg w regionie świętokrzyskim z zastosowaniem podbudowy z mieszanki MCAS są dowodem na efektywność stosowania tej technologii w krajowym wykonawstwie drogowym. Dzięki pracom obejmującym badania przebiegu procesu spieniania lepiszczy asfaltowych (o różnym składzie, pochodzeniu oraz z substancjami chemicznymi czy organicznymi) oraz wynikom badań prowadzonych w zakresie tematycznym dotyczącym wytwarzania mma o obniżonych temperaturach technologicznych, możliwe było złożenie pozytywnie rozpatrzonego wniosku patentowego pt. „Sposób wytwarzania betonu asfaltowego w technologii obniżonej temperatury”. Następnie po uzyskaniu ochrony patentowej tego rozwiązania udzielono warunkowej licencji na jego wykorzystanie pięciu podmiotom gospodarczym oraz pełnej licencji przedsiębiorstwu z województwa lubelskiego (nastąpiło wdrożenie). Kontynuowane w tym zakresie badania pozwolą w przyszłości stworzyć rekomendacje i uszczegółowić wymagania techniczne względem procesu produkcji, właściwości wytworzonych materiałów i stosowania mieszanek mineralno-asfaltowych z asfaltem spienionym o obniżonych temperaturach technologicznych.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Jestem absolwentką studiów magisterskich jednolitych Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska (obecnie Wydział Budownictwa i Architektury) Politechniki Świętokrzyskiej na kierunku Budownictwo, specjalność Drogi i Mosty (2005). W 2011 roku po obronie rozprawy doktorskiej pt. „Odporność na oddziaływanie wody i mrozu podbudowy w technologii recyklingu z asfaltem spienionym”, uchwałą Rady Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Świętokrzyskiej nadano mi tytuł naukowy doktora nauk technicznych. Od 2006 roku do chwili obecnej jestem pracownikiem naukowo-dydaktycznym obecnego Wydziału Budownictwa i Architektury, od roku 2012 na stanowisku adiunkta.

W ramach mojej działalności w Politechnice Świętokrzyskiej realizuję badania dotyczące innowacyjnych rozwiązań materiałowo-technologicznych stosowanych w budownictwie drogowym, ze szczególnym uwzględnieniem problemu recyklingu materiałów pochodzących ze zużytych konstrukcji drogowych oraz stosowania innowacyjnych lepiszczy asfaltowych spienianych wodą. W moich pracach skupiam się na rozwiązaniach prowadzących do popularyzacji koncepcji zrównoważonego rozwoju w budownictwie drogowym, poprzez upowszechnienie idei recyklingu i zmniejszenia wpływu procesu budowlanego na środowisko.

W ostatnich latach brałam udział w realizacji kilku projektów badawczych finansowanych ze środków krajowych (NCBiR, GDDKiA), jak również ze środków Unii Europejskiej. Ponadto zrealizowałam szereg prac badawczych na potrzeby przedsiębiorstw drogowych, mających na celu opracowanie, implementację lub wdrożenie nowoczesnych technologii do ich działalności. Prowadziłam oraz współorganizowałam szkolenia i wykłady dla przedstawicieli przemysłu, zarządców dróg oraz organów administracji i środowiska naukowego. Moją działalność naukową łączę z działalnością popularyzatorską na rzecz nauk technicznych i osiągnięć zespołu Katedry Inżynierii Komunikacyjnej Politechniki Świętokrzyskiej, co realizuję przez aktywny udział w licznych krajowych i zagranicznych konferencjach naukowych oraz seminariach branżowych.

Od 2011 roku do chwili obecnej zaangażowana byłam w trzech programach badawczych, z których jeden został zakończony, jeden jest w trakcie realizacji, a prace badawcze w ostatnim z nich rozpoczną się w 2018 r. W latach 2011-2012 uczestniczyłam w realizacji projektu badawczego pt. „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju” w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, realizowanego w konsorcjum naukowym, którego liderem była Politechnika Łódzka. Udział zespołu Politechniki Świętokrzyskiej polegał na realizacji tematu badawczego TB 4.3. „Recykling na zimno konstrukcji nawierzchni drogi z zastosowaniem technologii asfaltu spienionego”. Od roku

2016 realizuję prace badawcze w ramach finansowanego przez NCBiR oraz GDDKiA programu Rozwój Innowacji Drogowej (RID) w projekcie pn. „Wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu”, w konsorcjum naukowym obejmującym cztery uczelnie państwowe oraz cztery instytuty badawcze. Zespół Politechniki Świętokrzyskiej, którego jestem członkiem, realizuje w ramach tego projektu dwa zadania, tj. nr 5 pt. „Wykorzystanie materiałów z recyklingu w mieszankach mineralno-asfaltowych na zimno i na półciepło z asfaltem spienionym” (samodzielnie) oraz nr 7 pt. „Recykling materiałów odpadowych z przemysłu hutniczego, stalowego, włókienniczego” (wspólnie z innymi konsorcjantami). Planowany termin zakończenia prac to I kwartał 2018 r. Dodatkowo jestem członkiem zespołu badawczego w projekcie pn. „Innowacyjna technologia wykorzystująca optymalizację środka wiążącego przeznaczonego do recyklingu głębokiego na zimno konstrukcji nawierzchni zapewniająca jej trwałość eksploatacyjną”, realizowanego w ramach programu „Nowoczesne technologie materiałowe – TECHMATSTRATEG”, finansowanego przez NCBiR, w którym Politechnika Świętokrzyska jest liderem konsorcjum realizującego projekt. Przewidywany termin rozpoczęcia realizacji projektu to I kwartał 2018 r., a okres jego trwania to 36 miesięcy.

Od początku mojej działalności naukowej utrzymuję stałą współpracę z przemysłem, dbając by efekty moich prac w tym zakresie miały duży potencjał aplikacyjny i wymiar praktyczny uwzględniający potrzeby wykonawców i inwestorów związanych z branżą drogową. Poniżej przedstawiam najbardziej istotne działania i prace podejmowane przeze mnie we współpracy z przemysłem. Dwukrotnie brałam udział w programie INWENCJA (lata 2012-2014), w ramach którego realizowałam staże w przedsiębiorstwach realizujących roboty drogowe, zlokalizowanych w województwie świętokrzyskim, celem podniesienia ich konkurencyjności oraz wdrożenia do ich działalności produkcyjnej innowacyjnej, proekologicznej technologii produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych w obniżonej temperaturze. W ramach programu INWENCJA I zrealizowałam projekt pt. „Projektowanie i wytwarzanie nowoczesnych mieszanek mineralno-asfaltowych w technologii na ciepło”, natomiast przedmiotem programu INWENCJA II było zadanie pt. „Projektowanie i wytwarzanie nowoczesnych mieszanek mineralno-asfaltowych w technologii „na ciepło” z wykorzystaniem lokalnych materiałów odpadowych”.

W 2010 r. brałam udział w realizacji prac badawczo-rozwojowych prowadzonych w ramach POIR Działanie 1.4-4.1 „Wsparcie projektów celowych oraz wsparcie wdrożeń wyników prac B+R”, w ramach których powstało opracowanie pt. „Badania i ocena stabilizacji gruntu za pomocą technologii asfaltu spienionego oraz spoiw kontrolnych”, pozwalające rozszerzyć działalność firmy, również z województwa świętokrzyskiego, poprzez wprowadzenie do jej oferty nowej technologii.

W roku 2013 realizowałam prace badawcze w zadaniu pn. „Badanie przydatności destruktu (frezowanej starej warstwy bitumicznej) do ponownego zastosowania przy produkcji masy mineralno-bitumicznej na warstwy konstrukcyjne nawierzchni drogowych” w ramach programu „Wsparcie dla tworzenia i rozwoju Świętokrzysko-Podkarpackiego Klastra Budowlanego INNOWATOR” w Programie Operacyjnym Rozwój Polski Wschodniej, na potrzeby przyszłej działalności przedsiębiorstwa drogowego z województw podkarpackiego.

W 2017 roku, zespół Katedry Inżynierii Komunikacyjnej Politechniki Świętokrzyskiej pod moim kierownictwem został wyłoniony w drodze konkursu do realizacji prac B+R w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Małopolskiego (poddziałanie 1.2.3. „Bony na innowacje”). Efektem prac badawczych było powstanie opracowania obejmującego opracowanie składu innowacyjnej mieszanki mineralno-asfaltowej z zastosowaniem asfaltu spienionego, o zwiększonej trwałości zmęczeniowej oraz opis procesu jej produkcji i technologii wytwarzania. W tym samym roku kierowałam również pracami badawczo-rozwojowymi podczas realizacji badań na potrzeby opracowania pt. „Opis procesu technologicznego pozwalającego na uruchomienie produkcji i wdrożenie wynalazku „Sposób wytwarzania betonu asfaltowego w technologii obniżonej temperatury”, w ramach którego zaprojektowano skład mieszanki mineralno-asfaltowej AC 16W wytwarzanej w technologii „na gorąco” i w obniżonej temperaturze z asfaltem spienionym na zlecenie przedsiębiorstwa z województwa mazowieckiego. Również w 2017 roku brałam udział w pracy badawczo-rozwojowej pt. „Opracowanie wyników badań mających na celu zastosowanie wynalazku „Sposób wytwarzania betonu asfaltowego w technologii obniżonej temperatury” dla przedsiębiorstwa z województwa lubelskiego.

W 2014 roku odbyłam czterotygodniowy staż naukowy w Katedrze Inżynierii Drogowej Uniwersytetu w Żylinie, w ramach którego nawiązałam współpracę naukową obejmującą wymianę doświadczeń, dotyczącą m.in. nowoczesnych metod badawczych lepiszczy drogowych i mieszanek mineralno-asfaltowych oraz lokalnej specyfiki warunków klimatycznych i jej wpływu na eksploatację nawierzchni drogowych. Zbliżone uwarunkowania geograficzne oraz społeczno-ekonomiczne regionu Żylińskiego i Świętokrzyskiego są czynnikiem pozwalającym na realizację wspólnych badań i programów naukowych z pożytkiem dla gospodarek i społeczeństw obu krajów. Ponadto celem wyjazdu było zapoznanie się z procesem dydaktycznym realizowanym w Uniwersytecie w Żylinie w celu podniesienia jakości kształcenia na kierunku Budownictwo w Politechnice Świętokrzyskiej. Zrealizowanie przedmiotowego stażu pozwoliło na podniesienie moich kompetencji w zakresie działalności naukowej oraz dydaktycznej.

W ramach pracy w Politechnice Świętokrzyskiej kierowałam realizacją oraz byłam wykonawcą wielu opracowań technicznych, projektów badawczych, opinii, ekspertyz oraz innych prac na zlecenie jednostek samorządowych (m.in. GDDKiA oddział w Kielcach, ŚZDW Kielce, MZD Kielce, PZD Kielce, PZD Busko-Zdrój, UM Kielce, UM Tarnobrzeg, ZDW Kraków, MZDiK Radom), biur projektowych oraz przedsiębiorstw drogowych zlokalizowanych m.in. w województwach świętokrzyskim, małopolskim, mazowieckim, lubelskim, łódzkim, podkarpackim.

Od 2016 roku wykonałam recenzje jedenastu artykułów naukowych, w tym referatów konferencyjnych na zaproszenie ich redakcji i komitetów organizacyjnych, włączając w to prestiżowe czasopisma posiadające IF (m.in. dwie recenzje dla Road Materials and Pavement Design, dwie recenzje dla Construction and Building Materials oraz jedna recenzja dla Journal of Cleaner Production).

W 2014 r. zostałam powołana do pełnienia funkcji promotora pomocniczego w trzech przewodach doktorskich: mgr inż. Piotra Ramiączka pt. „Optymalizacja parametrów fizyko-mechanicznych mieszanki wytworzonej w technologii recyklingu głębokiego na zimno w aspekcie metody zagęszczania”, mgr inż. Krzysztofa Maciejewskiego pt. „Właściwości podbudowy pomocniczej wykonywanej w technologii asfaltu spienionego ze szczególnym uwzględnieniem aspektu odporności na deformacje trwałe i mrozoodporności” oraz mgr inż. Mateusza Iwańskiego pt. „Synergia wapna hydratyzowanego i asfaltu spienionego w zapewnieniu odporności na powstawanie deformacji trwałych betonu asfaltowego w technologii na półciepło”. Realizowane wspólnie z doktorantami od 2013 roku działania naukowo-badawcze zaowocowały powstaniem 18 publikacji naukowych, w tym 2 w czasopismach znajdujących się na liście A czasopism punktowanych MNiSW i indeksowanych w bazach Journal Citation Reports (JCR), 8 na liście B, natomiast pozostałe pozycje stanowią publikacje w recenzowanych materiałach konferencyjnych, większość z nich cytowanych w bazie WoS i Scopus.

Od początku mojej pracy w Politechnice Świętokrzyskiej zawsze starałam się dużo uwagi poświęcać dydaktyce i opiece naukowej nad studentami. Sprawowałam opiekę nad 84 dyplomantami na studiach inżynierskich oraz 79 na studiach magisterskich jako promotor, a trzy z prowadzonych przeze mnie prac magisterskich uzyskały wyróżnienie. Od 2009 jestem opiekunem koła naukowego FENIX, gdzie wraz ze studentami organizujemy wyjazdy na wycieczki oraz krajowe seminaria i konferencje naukowe. Studenci zrzeszeni w kole naukowym wielokrotnie zdobywali wyróżnienia i nagrody za swoje działania będące efektem prac badawczych. W latach 2013, 2015 oraz 2016 zespoły studentów (członków koła naukowego) zakwalifikowały się do finałowego etapu ogólnopolskiego konkursu „Przyszłość dróg zależy od Ciebie – nie myśl szablonowo”, zdobywając nagrody i wyróżnienia.

Podczas swojej pracy naukowej zostałam nagrodzona pięciokrotnie nagrodami Rektora Politechniki Świętokrzyskiej, w 2011, 2012, 2014, 2015 i 2016 roku, za działalność naukową oraz na rzecz rozwoju i jakości bazy badawczej Wydziału Budownictwa i Architektury. Na podkreślenie zasługuje zdobyta w 2011 r. zespołowa nagroda NOVATOR za działania innowacyjne w dziedzinie „Współpraca nauka – przemysł”, za wdrożenie technologii asfaltu spienionego do technologii recyklingu konstrukcji nawierzchni drogowej.

W latach 2012-2015 byłam członkiem i sekretarzem Zespołu nr 9 ds. „Przebudowy, Renowacji i Rehabilitacji dróg” działającego przy Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, opracowującego

Ogólne Specyfikacje Techniczne. W ramach mojej działalności w tym Zespole brałam udział w opracowaniu dokumentów technicznych dotyczących m.in. mieszanek mineralno-cementowych z asfaltem spienionym przeznaczonych na warstwy podbudowy nawierzchni drogowej wytwarzanych w technologii recyklingu „na zimno”.

Obecnie pełnię funkcję Kierownika Zakładu Dróg, Lotnisk i Inżynierii Ruchu w Katedrze Inżynierii Komunikacyjnej Wydziału Budownictwa i Architektury (od dnia 1 listopada 2016). Od 1 grudnia 2014 roku jestem też Kierownikiem Akredytowanego Laboratorium Materiałów Drogowych AB 1580 będącego w strukturze Katedry Inżynierii Komunikacyjnej Wydziału Budownictwa i Architektury. Laboratorium posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji w zakresie procedur badawczych mieszanek mineralno-asfaltowych oraz kruszyw. Uzyskanie jej było potwierdzeniem wysokich kwalifikacji badawczych zarówno moich, jak również pozostałych pracowników Katedry Inżynierii Komunikacyjnej. W ramach wymagań systemu akredytacji stale rozszerzam i uaktualniam swoją wiedzę w tym zakresie przez uczestnictwo w szkoleniach związanych z działaniem laboratorium akredytowanego zgodnie z zapisami normy PN-EN ISO 17025.

Przez cały okres mojej działalności zawodowej, pracę w Politechnice Świętokrzyskiej łączę z działalnością inżynierską i ekspercką świadczoną innym podmiotom. Moje kompetencje oraz wyniki dotychczasowej działalności naukowej zostały dostrzeżone na forum ogólnopolskim, co znalazło odzwierciedlenie w wyborze mojej osoby na członka Sekcji Inżynierii Komunikacyjnej Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN na kadencję 2016-2020. Ponadto moje kompetencje w zakresie inżynierii drogowej dokumentuje rejestr zatrudnienia, na który oprócz działalności naukowo-dydaktycznej składa się praca na stanowiskach: asystenta projektanta, inżyniera budowy, projektanta i inspektora nadzoru branży drogowej oraz specjalisty ds. badań i technologii nawierzchni. Funkcję asystenta projektanta pełniłam w latach 2005-2007 w Biurze Projektów Budownictwa „Chodor-Projekt”, a w latach 2007-2009 pracowałam w dwóch przedsiębiorstwach drogowych na stanowisku inżyniera budowy. Zdobyte w tym czasie doświadczenie pozwoliło mi uzyskać w 2009 r. uprawnienia budowlane w specjalności drogowej do projektowania i kierowania robotami w nieograniczonym zakresie (SWK/0144/PWOD/09). Od 2015 r. pełnię funkcje doradcze i eksperckie oraz jako projektant i inspektor nadzoru w dwóch prywatnych podmiotach gospodarczych. W ramach moich obowiązków zajmuję się m.in. opracowywaniem ekspertyz, opinii technicznych, projektowaniem i badaniem materiałów drogowych dla przedsiębiorstw drogowych i jednostek samorządowych, weryfikacją projektów branży drogowej, diagnostyką stanu istniejących nawierzchni, opracowywaniem specyfikacji technicznych, indywidualnym projektowaniem nowych oraz wzmocnień istniejących konstrukcji nawierzchni.

Wymienione wyżej doświadczenia w istotny sposób wzbogacają mój dotychczasowy dorobek naukowy liczący łącznie 61 publikacje, których jestem autorką lub współautorką. Wśród nich 5 to artykuły naukowe opublikowane w czasopismach wymienionych na liście A czasopism punktowanych MNiSW i indeksowanych w bazach Journal Citation Reports (JCR). Sumaryczny impact factor (IF) dla tych publikacji według listy JCR zgodnie z rokiem opublikowania wynosi $IF = 8,531$. W moim dorobku naukowym wyróżnić można również 17 artykułów opublikowanych w czasopismach z listy B MNiSW. Ponadto wyniki moich prac naukowo-badawczych prezentowane były na licznych krajowych i zagranicznych konferencjach naukowych, a znacząca część z prezentowanych referatów opublikowana została w czasopismach indeksowanych w bazach Web of Science (WoS) i/lub Scopus. Liczba wszystkich cytowań według bazy WoS wynosi 58 oraz 87 zgodnie z bazą Scopus. Indeks Hirscha opublikowanych prac według bazy WoS wynosi 4 oraz 5 według bazy Scopus.

Szczegółowy wykaz wszystkich opublikowanych prac naukowych i zawodowych oraz informacje o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki przedstawiono w załączniku 4 do niniejszego wniosku. W tabelach 1 i 2 przedstawiono podsumowanie mojego dorobku naukowo-badawczego, dydaktycznego i popularyzatorskiego, z podaniem liczby osiągnięć (tabela 1) oraz punktację za publikacje po uzyskaniu stopnia doktora wg listy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (tabela 2). Sumaryczna liczba punktów za publikacje po uzyskaniu stopnia doktora, brana pod uwagę przy ocenie parametrycznej jednostki naukowej wg MNiSW, wynosi 418 pkt.

Tabela 1. Zestawienie osiągnięć naukowo-badawczych (wg załącznika 4 – stan na 27.11.2017)

Rodzaj osiągnięcia	Całkowita liczba osiągnięć	Liczba osiągnięć po uzyskaniu stopnia doktora
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR) ¹⁾	5	5
Monografie i rozdziały w monografiach w języku polskim	9	4
Monografie i rozdziały w monografiach w języku angielskim	3	1
Publikacje naukowe w czasopismach z listy B MNiSW	17	14
Pozostałe recenzowane publikacje naukowe w czasopismach lub materiałach konferencyjnych	27	17
Sumaryczna liczba publikacji	61	41
Publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych indeksowane w bazie Web of Science ¹⁾	19	17
Publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych indeksowane w bazie Scopus ¹⁾	19	17
Referaty na konferencjach zagranicznych	22	16
Referaty na konferencjach krajowych	20	9
Sumaryczna liczba punktów MNiSW (wg listy w roku publikacji) ¹⁾	471	418
Sumaryczny Impact Factor (zgodnie z rokiem opublikowania) ¹⁾	8,531	8,531
Liczba cytowań publikacji wg bazy WoS	58	-
Liczba cytowań publikacji wg bazy Scopus	87	-
Liczba cytowań wg bazy Google Scholar	195	-
Indeks Hirscha według bazy WoS	4	-
Indeks Hirscha według bazy Scopus	5	-
Indeks Hirscha według bazy Google Scholar	8	-
Osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne	8	4
Udzielone patenty krajowe	1	1
Zrealizowane prace badawcze, ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie:		
- w charakterze kierownika zespołu	41	41
- w charakterze członka zespołu	89	34
Udział w projektach badawczych:		
- krajowych	5	3
- w ramach działalności statutowej:		
- w charakterze kierownik	6	4
- w charakterze członka zespołu	5	4
Otrzymane nagrody i wyróżnienia	7	6
Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych lub krajowych	9	8
Udział w komitetach organizacyjnych konferencji	4	4
Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	5	5
Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z przedsiębiorcami	4	4
Członkostwo w organizacjach oraz towarzystwach naukowych	8	6
Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki:		
- liczba wypromowanych prac inżynierskich (liczba wypromowanych dyplomantów)	68 (84)	68 (68)
- liczba wypromowanych prac magisterskich (liczba wypromowanych dyplomantów)	65 (79)	65 (79)
Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze promotora pomocniczego	3	3
Stáže krajowe i zagraniczne	9	5
Udział w zespołach eksperckich i konkursowych	2	2
Recenzowanie artykułów:		
- dla czasopism znajdujących się na liście JCR	5	5
- dla innych czasopism oraz na zaproszenie organizatorów międzynarodowych konferencji naukowych	6	6

¹⁾ Uwzględniono publikację [1] (pkt 4 B) w czasopiśmie znajdującym się w bazach WoS i Scopus, którą przyjęto do druku w roku 2017.

Tabela 2. Zestawienie punktacji czasopism wg listy MNiSW (po uzyskaniu stopnia doktora, stan na 27.11.2017)

Lp.	Czasopismo	Rok wydania	Punktacja MNiSW w roku wydania
1	Bulletin of the Polish Academy of Sciences	2017	20 ⁽²⁰¹⁶⁾
2	Drogownictwo	2017	5 ⁽²⁰¹⁶⁾
3	Conf. Series: Materials Science and Engineering (WoS)	2017	15 ⁽²⁰¹⁶⁾
4	Conf. Series: Materials Science and Engineering (WoS)	2017	15 ⁽²⁰¹⁶⁾
5	Rozdział w monografii	2017	5 ⁽²⁰¹⁶⁾
6	The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering	2016	20
7	Construction and Building Materials	2016	40
8	Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury	2016	9
9	Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury	2016	9
10	Procedia Engineering (WoS), Nr Vol. 161	2016	15
11	Procedia Engineering (WoS), Nr Vol. 172	2016	15
12	Procedia Engineering (WoS), Nr Vol. 172	2016	15
13	Procedia Engineering (WoS), Nr Vol. 172	2016	15
14	Procedia Engineering (WoS), Nr Vol. 172	2016	15
15	Rozdział w monografii	2016	5
16	Drogownictwo	2016	5
17	Procedia Engineering (WoS), Nr Vol. 108	2015	15
18	Rozdział w monografii	2015	5
19	Drogownictwo	2015	5
20	Construction and Building Materials	2015	40
21	Bulletin of the Polish Academy of Sciences	2015	20
22	Rozdział w monografii	2014	5
23	Logistyka	2014	10
24	Logistyka	2014	10
25	Budownictwo i Architektura	2014	3
26	Conference proceedings (WoS)	2014	15
27	Conference proceedings (WoS)	2014	15
28	Budownictwo i Architektura	2014	3
29	Conference proceedings (WoS)	2014	15
30	Structure and environment	2013	3
31	Structure and environment	2013	3
32	Structure and environment	2013	3
33	Procedia Engineering (WoS), Vol. 57	2013	15
34	Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, BiłŚ	2012	4
35	Archives of Civil Engineering	2012	6
		Suma:	418

Anna Chomicz-Kowalska