

**Dr inż. Grzegorz Mazurek**

Katedra Inżynierii Komunikacyjnej

Wydział Budownictwa i Architektury

Politechnika Świętokrzyska

## AUTOREFERAT

Opis dorobku i osiągnięć naukowych,  
stanowiących przedmiot postępowania habilitacyjnego

### 1. Imię i nazwisko

Grzegorz Mazurek

### 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| magister inżynier  | - Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, specjalność: Konstrukcje Budowlane, 2003 r.                                                                                                                                                                               |
| inżynier           | - Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, specjalność: Budowa Dróg, 2007r.                                                                                                                                                                                          |
| doktor inżynier    | - Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Architektury, Nauki techniczne, dyscyplina Budownictwo, 2012 r., tytuł rozprawy doktorskiej: „ <i>Optymalizacja składu betonu asfaltowego modyfikowanego woskiem syntetycznym F-T w zakresie deformacji trwałych</i> ”                           |
| Studia podyplomowe | - <ul style="list-style-type: none"><li>• Politechnika Świętokrzyska, Studium Podstaw Informatyki, w zakresie: Inżynierskie Zastosowania Informatyki, 2007r.</li><li>• Politechnika Świętokrzyska, Centrum Kształcenia Ustawicznego, w zakresie: Administrator Sieci Komputerowych, 2005r.</li></ul> |

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

|                         |                                                                                                                                  |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 01.10.2007 – 28.02.2013 | - Politechnika Świętokrzyska, Katedra Inżynierii Komunikacyjnej, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska. |
| 01.03.2013 – nadal      | - Adiunkt, Katedra Inżynierii Komunikacyjnej, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska.                    |

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

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe wynikające 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. 2016 r. poz. 882 ze zm. Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.), wskazuję rozprawę przygotowaną w formie monografii pt.:

***„Liniowa i nieliniowa lepkosprężysta charakterystyka mastyksu asfaltowego w zakresie wysokich temperatur eksploatacyjnych nawierzchni”***

4.2. Autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy

**Grzegorz Mazurek 2019.** Liniowa i nieliniowa lepkosprężysta charakterystyka mastyksu asfaltowego w zakresie wysokich temperatur eksploatacyjnych nawierzchni, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, M118, PL ISBN 978-83-65719-60-7, Kielce.

**Recenzenci:**

- Dr hab. inż. Paweł Mieczkowski (Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie).
- Dr hab. inż. Piotr Mackiewicz (Politechnika Wrocławska).

4.3. Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

**4.3.1. Uzasadnienie celu naukowego oraz osiągniętych wyników**

Zaprojektowanie trwałej konstrukcji nawierzchni drogowej jest zadaniem bardzo trudnym. Szytywność materiałów, z których są wykonane warstwy asfaltowe zależy od stanu naprężeń oraz czynników klimatycznych. Głównym czynnikiem, który generuje wiele problemów w trakcie projektowania i eksploatacji nawierzchni drogowych jest reologia asfaltu. Asfalt jest to materiał termoplastyczny składających się głównie z węglowodorów o budowie amorficznej. Jego odkształcalność zależy od wielu czynników, między innymi: czasu, temperatury, poziomu naprężenia, przebiegu procesu starzenia. Budowa asfaltu, jego model, jest wciąż zagadnieniem nie w pełni poznany. Z faktu, że asfalt stanowi integralną część mieszanki mineralno-asfaltowej (mma) spajającej ziarna kruszywa w całość wynika, że kohezja mieszanki mineralno-asfaltowej jako kompozytu mineralno-asfaltowego zależy od reologii lepiszcza, a przede wszystkim - reologii mastyksu. W Polsce do projektowania mma metodą mechanistyczno-empiryczną wykorzystany jest model liniowej sprężystości. Jest to słuszne założenie z uwagi na fakt, że temperatura równoważna wynosi w Polsce +13°C. W takiej temperaturze mma zachowuje się jak materiał sprężysty w pewnym niewielkim zakresie odkształcenia i krótkim czasie obciążenia wynoszącym 0,02 s. Jednak zastosowanie modelu sprężystego w wysokich temperaturach eksploatacyjnych nawierzchni będzie powodować duże rozbieżnościami w odwzorowaniu stanu odkształcenia mma w stosunku do stanu rzeczywistego. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest rzeczywisty stan naprężeń w asfalcie, a w szczególności w efektywnym lepiszczu, który stanowi mieszanina kruszywa wypełniającego z asfaltem, czyli mastyks. Literatura przedmiotu wskazuje, że poziom względnego odkształcenia w mastyksie jest 10-100 razy większy od odkształcenia, które jest uzyskiwane w zagęszczonej mma. Dlatego też, pomimo zapewnienia niskiego poziomu odkształcenia w mma, w mastyksie mogą powstać odkształcenia przekraczające zakres liniowej lepkosprężystości (LVE), dla których relacja naprężenie-odkształcenie ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) będzie już nieliniowa czyli większe niż  $10^{-4}$  m/m. Wówczas należy się spodziewać przyspieszonego tempa akumulacji odkształceń



trwałych w mma, wywołanych, według Schramm, zniszczeniem „sprężystej struktury mastyksu”. Biorąc pod uwagę powyższe informacje, nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie procesu powstawania deformacji trwałych w mma, szczególnie w wysokich temperaturach, aczkolwiek odpowiedni dobór kompozycji mastyksu może go istotnie ograniczyć.

Niniejsza monografia jest efektem badań różnych kompozycji mastyksów, wykonanych analiz oraz zaimplementowanych algorytmów wykonanych przez autora w Katedrze Inżynierii Komunikacyjnej na Politechnice Świętokrzyskiej. Badania i analizy z wykorzystaniem mastyksów były następstwem prac wykonywanych z użyciem: nowych asfaltów, asfaltów poekstrakcyjnych oraz mieszanek mineralno-asfaltowych. Wnioski, jakie wyciągnięto na podstawie uzyskanych rezultatów, doprowadziły do zwrócenia szczególnej uwagi na reologię mastyksu. Zapoczątkowało to serię rozważań na temat zjawiska nieliniowości, jakie występuje w kompozycjach mineralno-asfaltowych w wysokich temperaturach eksploatacyjnych, szczególnie mającego odzwierciedlenie w mastyksie. Wybór do analizy modelu nieliniowej lepkości (NLVE) podyktowany był założeniem, że jest on najbardziej adekwatny do warunków rzeczywistych, w jakich pracuje mastyks w konstrukcji nawierzchni, gdyż w istocie rzeczy jest uogólnieniem (czy uszczegółowieniem) zakresu LVE. W związku z tym jest adekwatny do analizy reologii mastyksu w wysokiej jak i w niskiej temperaturze. W badaniach wykorzystano wypełniacze mineralne do mastyksu, które były reprezentantami "pełnowartościowych" materiałów, ale również takie, które pochodziły z procesów odpylania. Warto również wspomnieć, że zastosowane wypełniacze mineralne uznane jako "niepełnowartościowe" nie muszą wykazywać niekorzystnego wpływu na mma, co skłania do podjęcia dyskusji na temat pewnych odstępstw w zapisach Wymagań Technicznych (WT-1), które obowiązują w Polsce. Ponadto należy zwrócić uwagę, że aplikacja materiałów odpadowych wpisuje się w nowoczesny trend zrównoważonego budownictwa drogowego.

W literaturze mało uwagi poświęca się badaniom mastyksu. Zwykle analizę reologii mma odnosi się do reologii asfaltu, wykorzystując zaawansowane eksperymentalne modele regresyjne. W zakresie wysokich temperatur wpływ asfaltu na reologię mma zwykle wykazuje umiarkowany wkład na poziomie około 40%. W związku z tym, konieczne jest wykonywanie prognozy odkształcalności mma na podstawie właściwości reologicznych mastyksu. Wiedząc z definicji, że mastyks to efektywne lepiszcze, można na jego podstawie w sposób o wiele bardziej znaczący wyjaśnić reologię mma. Interakcja między wypełniaczem a asfaltem jest zjawiskiem, którego nie można wyjaśnić w prosty sposób. Mastyks jest szczególnym przypadkiem kompozytu mineralno-asfaltowego, który jest poddawany naprężeniom znacznie przekraczającym liniowy zakres, co sprawia, że korelacja rezultatów reologicznych w zakresie linowej lepkości z wynikami np. badania „koleinowania” będzie prezentować niski poziom, szczególnie gdy w mastyksie nieliniowość relacji  $\sigma$ - $\epsilon$  jest znaczna. Należy również nadmienić, że powierzchnia właściwa wypełniacza mineralnego stanowi 85%÷95% powierzchni właściwej całej mieszanki mineralnej. Porównanie odkształcalności różnych kompozycji mastyksów jest zatem krokiem w przód w kontekście skuteczności prognozowania deformacji w mma.

Mieszanki mineralno-asfaltowe mają szerokie zastosowanie w budownictwie drogowym. Są wykorzystywane do budowy warstw konstrukcji nawierzchni. Zasadniczo ich skład stanowi lepiszcze asfaltowe, wypełniacz mineralny oraz odpowiednio dobrane kruszywa drobne i grube. W wyniku połączenia wyżej wymienionych składników powstaje faza ciągła w mieszance mineralno-asfaltowej. Jej wpływ na właściwości docelowego kompozytu mineralno-asfaltowego jest niezwykle istotny. Reologia mastyksu rzutuje na zachowanie mieszanki mineralno-asfaltowej (mma) w przypadku oddziaływania naprężeń, czasu obciążenia oraz temperatury. W związku z tym zachowanie mma w trakcie wytwarzania, wbudowania i w okresie eksploatacji będzie uzależnione od mastyksu. Obecność określonego typu wypełniacza mineralnego, z punktu widzenia jego pochodzenia, wpływa również na odporność mma na zjawiska klimatyczne czy też proces starzenia. Faza ciągła będąca



rezultatem połączenia lepiszcza asfaltowego oraz wypełniacza mineralnego jest wynikiem ich wzajemnej interakcji. W przypadku asfaltu decyduje tu napięcie powierzchniowe rzutujące na jakość zwilżenia kruszywa przez asfalt, uzależnioną przede wszystkim od jego lepkości. Natomiast w przypadku wypełniacza mineralnego dominującą rolę odgrywa jego powierzchnia właściwa oraz skład mineralogiczny, cechy warunkujące absorpcję asfaltu przez wypełniacz mineralny poprzez silne wiązania kowalencyjne. Przebieg tak silnych procesów na granicy obu faz jest o wiele bardziej intensywny niż na granicy fazy mastyksu i kruszywa. **W związku z tym reologia mastyksu jest kluczowa dla zrozumienia procesów fenomenologicznych w mieszankach mineralno-asfaltowych.**

Nie mniej ważnymi elementami kształtującymi reologię mastyksu, oprócz lepkości asfaltu wejściowego, są struktura i morfologia wypełniacza mineralnego. W 1947 roku Rigden wykazał silny związek korelacyjny między lepkością mastyksu a umownie zagęszczonym suchym wypełniaczem mineralnym. W 1969 roku Puzinauskas potwierdził hipotezę Richardsona, że wypełniacz mineralny wypełnia wolne przestrzenie, tworząc element kontaktowy pomiędzy większymi ziarnami w mieszance, oraz wytwarza fazę ciągłą asfalt-wypełniacz. Również w monografii profesora Piłata można odnaleźć informacje potwierdzające tezę, że odpowiednio dobrany wypełniacz powoduje zmianę odporności mastyksu na czynniki klimatyczne, zmienia spójność i, co najważniejsze z punktu widzenia niniejszej pracy, rzutuje na szybkość zmiany podatności mastyksu pod wpływem różnych częstotliwości obciążenia.

Należy pamiętać, że asfalt w mma stawowi 10-15% objętości mma co już sugeruje, że jego oddziaływanie nie pozostaje bez znaczenia w odniesieniu do reologii mma. W kontekście uszkodzeń, jakie można zaobserwować w mma, to lepiszcze asfaltowe wpływa w 40% na deformacje trwałe, w 60% na trwałość zmęczeniową i w 90% na spękania niskotemperaturowe w mma. Mastyks jest zwykle skomponowany w ilości od 60-80% z asfaltu (objętościowo) i w ilości 20-40% z wypełniacza mineralnego (objętościowo). W związku z tym oddziaływanie mastyksu na mma jest niezwykle silne, gdyż obtacza grubsze ziarna w mma. Nie mniej jednak niewiele uwagi, na podstawie przeglądu literatury, poświęcane jest reologii mastyksu uwzględniającej historię naprężenia, czas obciążenia oraz temperaturę. Znacznie więcej badań ma charakter przesiewowy, mający na celu wskazanie zróżnicowania, względem pewnych grup wypełniaczy mineralnych, wykorzystując podstawowe parametry normowe dedykowane asfaltom. Rozpoznanie charakteru reologicznego mastyksu w zakresie liniowej, ale przede wszystkim, nieliniowej lepkosprężystości jest w stanie dostarczyć wielu informacji na temat reologii i trwałości docelowej mieszanki mineralno-asfaltowej. Należy obiektywnie stwierdzić, że prognozowanie właściwości mma na podstawie reologii samego asfaltu ma charakter preliminarzowy. Połączenie asfaltu z mastyksem powoduje, że uzyskiwany jest nowy kompozyt o właściwościach odmiennych niż asfalt wyjściowy. Ponadto należy podkreślić, że charakter reologiczny nowego kompozytu mineralno-asfaltowego (mastyksu) jest odzwierciedlony w zachowaniu docelowej mma w warunkach eksploatacyjnych.

Należy również wziąć pod uwagę, że nowe technologie wytwarzania mma sprawiają, że również reologia mastyksu ulega istotnej zmianie. Obecnie coraz więcej uwagi poświęca się energooszczędnym technologiom, które minimalizują uciążliwość produkcji i wbudowania mma dla środowiska. Jedną z nich jest technologia WMA, która opiera się na zmniejszeniu lepkości asfaltu w wysokich temperaturach poprzez zastosowanie wosków syntetycznych Fischera-Tropscha (F-T). Obecnie w literaturze nie ma wyczerpujących informacji na temat zachowania mastyksu, w którego skład wchodził воск syntetyczny. W odniesieniu do doświadczeń autora kontynuacja badań mastyksu z tego rodzaju modyfikatorem była konieczna i rozszerzała stan wiedzy, jaki został zgromadzony przy realizacji pracy doktorskiej w 2012 r.

Wskazane luki w literaturze oraz doświadczenia autora w zakresie badań reologii asfaltów oraz mieszanek mineralno-asfaltowych w aspekcie ich pełzania pozwoliły na sformułowanie głównego celu badawczego w stosunku do mastyksu:

***Charakterystyka fenomenologiczna mastyksu w wysokich temperaturach pod wpływem dużych naprężeń z wykorzystaniem modelu nieliniowej lepkosprężystości.***



Realizacja tak postawionego celu wymagała określenia celów cząstkowych:

- opracowanie procedury, która była zbiorem działań umożliwiających identyfikację parametrów modelu nieliniowej lepkosprężystości,
- sformułowanie algorytmu numerycznego symulującego przebieg odkształcenia w funkcji temperatury, czasu obciążenia oraz poziomu naprężenia. Teoretyczne podstawy niniejszego algorytmu miały na celu potencjalną jego implementację do wykorzystania w programie numerycznym,
- ustalenie związków korelacyjnych oraz regresyjnych modeli matematycznych wiążących parametry nieliniowej lepkosprężystości z podstawowymi właściwościami wypełniaczy.

W pierwszych rozdziałach monografii w sposób syntetyczny zaprezentowano informacje z zakresu podstaw reologii obejmującej charakterystykę podstawowych modeli mechanicznych. W dalszej części przedstawiano zaawansowane i bardziej rozbudowane modele pozwalające opisać bardziej złożone nieliniowe właściwości reologiczne mastyksu. Generalnie intencją autora było podkreślenie w pracy, jak ważnym parametrem są naprężenia i ich wpływ na odkształcalność mastyksu. Należy pamiętać, że niewielki poziom naprężenia powoduje, iż relacja  $\tau$ - $\gamma$  nie jest liniowa, gdyż niewielki poziomy naprężenia wywołują w kompozytach mineralno-asfaltowych natychmiastową relaksację. Stosowanie uproszczenie, które zakłada liniowość relacji  $\tau$ - $\gamma$ , nie zawsze może być uzasadnione, szczególnie przy wyjaśnieniu przyczyn powstawiania deformacji funkcjonalnych w mma w okresie letnich temperatur nawierzchni obciążonych ruchem ciężkim. Analiza zachowania mastyksów w ujęciu modelu nieliniowego może doprowadzić do eliminacji tych wypełniaczy, które mogą przyczynić się do przedwczesnego zużycia nawierzchni. Efekt nieliniowości będzie szczególnie zauważalny wobec górnych warstw asfaltowych, gdzie efekt skrępowania bocznego jest najmniejszy, a wartość członu ścinającego tensora naprężeń jest najwyższa.

#### **4.3.2. Koncepcja procesu analizy liniowej i nieliniowej lepkosprężystej charakterystyki mastyksu asfaltowego w zakresie wysokich temperatur eksploatacyjnych nawierzchni**

**Pierwsze dwa rozdziały** pracy zostały poświęcone wprowadzeniu do omawianej problematyki. Podano zasadnicze cele, jakie przyświecały realizacji tej pracy. Rozdział pierwszy zawierał wprowadzenie do tematyki mastyksu-składnika, którego właściwości strukturalne zależą od wyboru rodzaju wypełniacza. W związku z tym wprowadzono, ujęte syntetycznie, informacje będące wynikiem przeglądu literatury. Skoncentrowano się głównie na treściach zawartych w wybranych pozycjach literaturowych na temat wpływu różnych wypełniaczy na reologię mastyksu, zwracając szczególną uwagę na ich właściwości fizyczne i chemiczne.

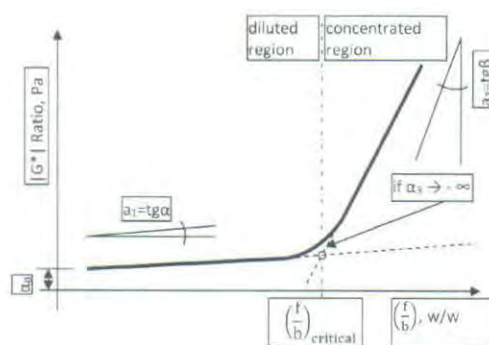
**W rozdziale trzecim** został przedstawiony stan wiedzy z zakresu budowy prostych modeli reologicznych oraz znacznie bardziej złożonych ich form uogólnionych, ważnych w zakresie liniowej lepkosprężystości. W rozdziale tym przedstawiono modele elementarne - reprezentowane przez model sprężyny i tłumika, następnie podstawowy układ dwuparametrowy (Maxwella i Kelvina) oraz na zakończenie - model funkcji pełzania lub relaksacji w postaci uogólnionej. Stosowanie modeli uogólnionych jest kwestią bardzo ważną, ponieważ występują nowe materiały drogowe, które aby opisać ich reologię wymagają coraz to bardziej wyrafinowanych reprezentacji matematycznych. W obecnym czasie problem aplikacji złożonych modeli mechanicznych jest w pewien sposób zniwelowany możliwością szerokiego wykorzystania maszyn numerycznych. Ponieważ wykorzystano algorytmy matematyczne, przełożone na język skryptowy programowania, zdecydowano się na użycie w pracy modelu w postaci uogólnionej. W rozdziale trzecim przedstawiono również kilka interesujących, zdaniem autora, propozycji podcałkowych funkcji pełzania materiału. W pewnych



zastosowaniach inżynierskich, gdzie odpowiedź materiału jest dobrze poznana, aplikacja modeli matematycznych jest poprawna. Jedną z ich zalet jest mała liczba parametrów, co przy rezygnacji z dużej dokładności w odwzorowaniu zachowania materiału może okazać się dobrym kompromisem. Nie mniej jednak ocena zjawisk zachodzących w nowych materiałach wymaga stosowania zaawansowanych mechanicznych modeli uogólnionych.

**Rozdział czwarty** stanowiła charakterystyka nieliniowej relacji naprężenie-odkształcenie w materiałach lepkosprężystych. Rozdział czwarty zdecydowanie opierał się na założeniach rozdziału trzeciego. Obydwa rozdziały były ze sobą integralnie związane, gdyż model nieliniowej lepkosprężystości, oparty na teorii Schapery'ego, jest uogólnieniem zakresu liniowej lepkosprężystości materiałów. W rozdziale tym przytoczono kilka innych przykładów modelowania nieliniowej lepkosprężystości, wskazując na ich niedoskonałości. Niedoskonałości licznych modeli nieliniowej lepkosprężystości, zdaniem autora, wynikają z konieczności stosowania dużej liczby parametrów co uniemożliwia identyfikację stabilnego ich zbioru. Aby takie działania były skuteczne, wymagane jest stosowanie bardzo dużej liczby pomiarów, co w konsekwencji okazuje się niepraktyczne. W przypadku teorii Schapery'ego efekt nieliniowości relacji  $\tau$ - $\gamma$  wymaga tylko 4 dodatkowych parametrów. Ponadto zaproponowany model nieliniowej lepkosprężystości do opisu zachowania masyksu pozwala również na ewaluację odkształcenia nieodwracalnego wywołanego dyssypacją energii odkształcenia.

W **rozdziale piątym** zamieszczono szereg informacji dotyczących zastosowanych metod badawczych, będących zbiorem procedur normowych. Uwzględniono również autorską procedurę badawczą, mającą na celu określenie pełnej nieliniowej charakterystyki masyksu. **Moim oryginalnym wkładem było opracowanie metody identyfikacji parametrów nieliniowej lepkosprężystości przy znajomości historii naprężenia z wykorzystaniem zmodyfikowanej procedury MSCR (MMSCR).** Procedurę tę oznaczono skrótem MMSCR (ang. modified multi stress creep recovery test). Dokładny opis matematyczny niniejszej procedury przedstawiono w rozdziale ósmym. Porównanie wpływu różnych rodzajów wypełniaczy mineralnych na masyks wymagało również wykonania kompozycji o tych samych proporcjach objętościowych wypełniacza i asfaltu. **Kolejnym oryginalnym wkładem i osiągnięciem było sformułowanie modelu pozwalającego na określenie wartości granicznej stężenia wypełniacza w asfalcie (F/B).** Było to zadanie cząstkowe, które miało na celu rozważanie pełzania różnych masyksów znajdujących się w stanie, gdy nie występuje podwójna strukturyzacja błonek asfaltu na powierzchni wypełniaczy. Zaproponowany model przedstawiano graficznie na rysunku 1.



Rys 1. Model zmiany sztywności masyksu w funkcji stężenia wypełniacza (F/B)

Ustalenie krytycznej wartości F/B miało ogromne znaczenie z punktu widzenia dalszych analiz porównawczych właściwości masyksów. Ponadto, znając wartość graniczną ilości wypełniacza, można było prawidłowo ustalić takie proporcje objętościowe asfaltu i wypełniacza, aby nie wywołać podwójnej strukturyzacji błonek asfaltu na powierzchni wypełniacza. Model ten zakładał występowanie dwóch istotnych zakresów jakich jak: zakres upłynnienia masyksu oraz zakres „przesztywnienia” masyksu.

*Handwritten signature*



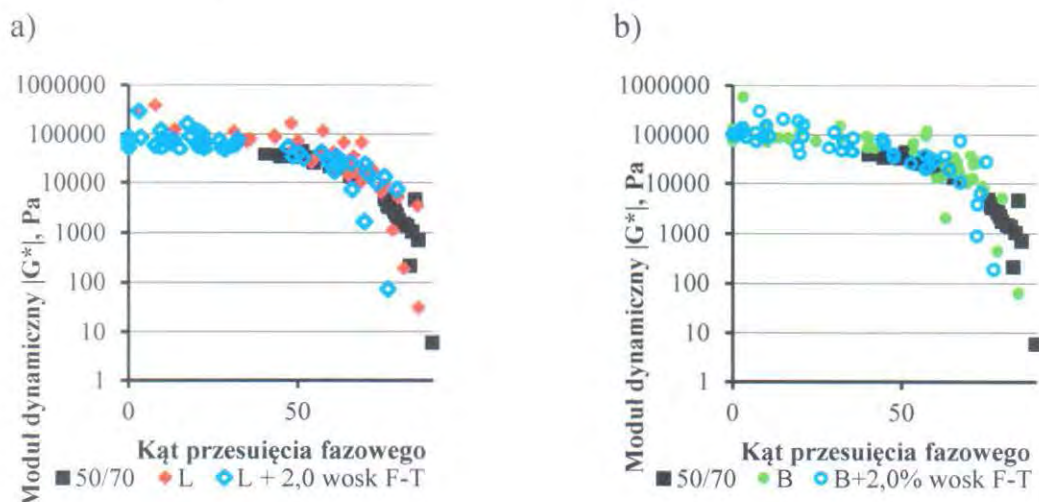
Obydwa obszary zostały rozgraniczone przez umowną wartość graniczną ilości wypełniacza w mastyksie. Przebieg przyrostu sztywności  $|G^*|$  Ratio został opisany równaniem regresyjnym (1):

$$\left|G^* \text{Ratio} \left(\frac{f}{b}\right)\right| = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \left(\frac{f}{b}\right) + \frac{\alpha_2}{2} \cdot \left(\left(\frac{f}{b}\right) - \left(\frac{f}{b}\right)_{\text{critical}}\right) + \alpha_2 \cdot \sqrt{\frac{\left(\left(\frac{f}{b}\right) - \left(\frac{f}{b}\right)_{\text{critical}}\right)^2}{4}} + \exp(\alpha_3) \quad (1)$$

Aby estymować wszystkie parametry równania (1) wymagane jest wykonanie oznaczenia modułu dynamicznego  $|G^*|$  dla co najmniej 6 różnych kompozycji mastyksu. Aplikacja tego modelu jest szczególnie użyteczna przy określaniu przydatności nowych wypełniaczy do celów drogowych. Ocena ilościowa wartości granicznej F/B ma w tym przypadku ogromne znaczenie i pozwala na uniknięcie problemu z obecnością zbyt sztywnej mma w trakcie zagęszczania.

**Rozdział szósty** zawierał informacje na temat rodzaju i pochodzenia materiałów zastosowanych w badaniach. Zamieszczono w nim informacje na temat przyjętego asfaltu bazowego, wosku syntetycznego oraz pochodzenia wypełniaczy. Rozdział szósty miał charakter przygotowawczy i nakreślał kierunek dalszego procesu analitycznego w tym dalszy program badawczy.

**W rozdziale siódmym** zawarto bezpośrednie rezultaty licznych badań podstawowych wybranych wypełniaczy wraz z określeniem przedziału ufności otrzymanych rezultatów badań. W tym rozdziale skupiono się wyłącznie na analizie reologicznej wszystkich kompozycji mastyksów w zakresie liniowej lepkości. W zakres tych badań wchodziła ocena modułu dynamicznego w funkcji czasu i temperatury. Wyniki przedstawiono w postaci krzywych Blacka, które w bardzo dobry sposób przedstawiają charakter lepkościowy asfaltów oraz mastyksu. Wybrane rezultaty zmiany sztywności asfaltu oraz mastyksu zawierającego mączkę wapienną oraz wosk syntetyczny F-T w zakresie LVE przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Krzywa Blacka kompozycji mastyksu z woskiem syntetycznym: a) mączka wapienna (L) + 2% wosk F-T; b) wypełniacz bazaltowy (B) + 2% wosk F-T

W pracy stwierdzono, że oddziaływanie wypełniaczy ma wciąż istotne znaczenie na charakterystykę lepkościową w temperaturze  $>40^\circ\text{C}$ . Obecność wosku syntetycznego powoduje, że mastyks staje się materiałem o dominującej części sprężystej ( $E'$ ) modułu dynamicznego  $|G^*|$ , czyli jego

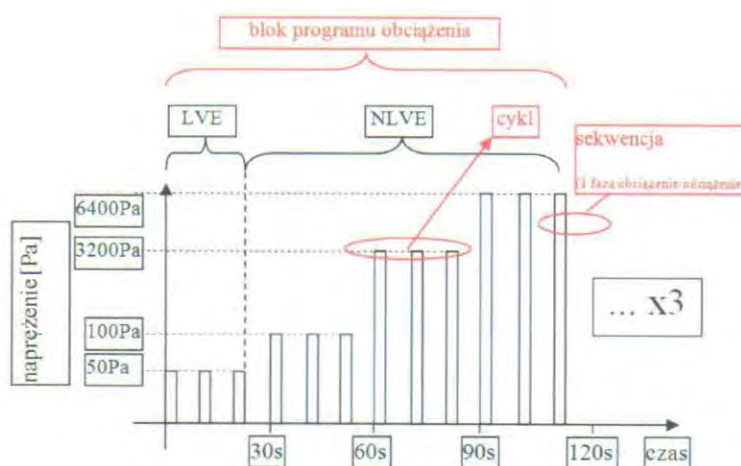


sztywność była coraz mniej zależna od czasu obciążenia. W pracy wykorzystano szereg innych wypełniaczy o charakterze zasadowym jak i kwaśnym. Był to istotny element wykonywanych badań odnoszącym się do zjawiska adhezji asfaltu 50/70 i wypełniacza. W badaniach wykorzystano następujący zestaw wypełniaczy mineralnych:

- wypełniacz wapienny: mączka wapienna (L),
- wypełniacz mieszany: mączka wapienna/wapno hydratyzowane (15%HL/85%L),
- wypełniacz mieszany: mączka wapienna/wapno hydratyzowane (30%HL/70%L),
- pyły pochodzenia gąbrowego (G),
- pyły pochodzenia kwarcytowego (Q),
- pyły pochodzenia bazaltowego (B),
- pyły pochodzenia dolomitowego (D),
- pyły pochodzenia granitowego - wykorzystane wyłącznie w fazie walidacji modelu (GT).

W pracy, sugerując się zaleceniami Raportu NCHRP 9-45 oraz pracami wykonywanych pod kierownictwem profesora Grabowskiego, wykorzystano również pyły z systemów odpylania. Celem tego działania było zestawienie ich rezultatów z wypełniaczami spełniającymi postanowienia WT-1/2014. Ponadto wykonano analizę wpływu rodzaju wypełniacza na lepkość przy niskiej prędkości ścinania (LSV) oraz wykonano klasyczne badanie MSCR, zwykle dedykowane asfaltom, z użyciem mastyksu. Wszystkie wyniki zostały poddane stosownej analizie. Nie należy pominąć również faktu, że rozdział szósty zawiera rezultaty estymacji wartości granicznej F/B, której podstawy teoretyczne przedstawiono w rozdziale piątym.

**Rozdział ósmy** stanowił kluczową część pracy. W początkowej części tego rozdziału przedstawiono, kluczowy z punktu widzenia wykonanej analizy, sposób kalibracji parametrów nieliniowego modelu lepkośćsprężystości opartego na teorii Schapery'ego wykorzystany do późniejszych symulacji komputerowych stanu odkształcenia mastyksów. Ponadto przedstawiono, autorsko zmodyfikowane, numeryczne rozwiązanie przebiegu odkształcenia w funkcji czasu, temperatury i co najistotniejsze - poziomu naprężenia w materiale. Graficzną reprezentację procedury badawczej MMSCR pozwalającej na identyfikację parametrów nieliniowej lepkośćsprężystości przedstawiano na rysunku 3.

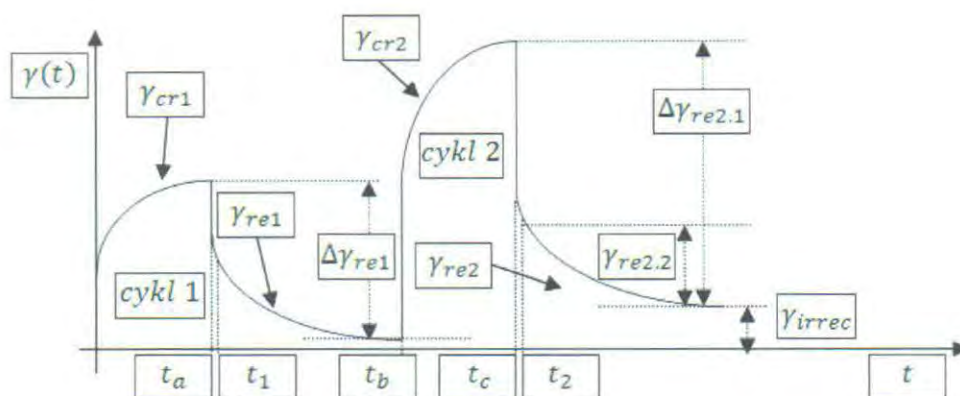


Rys. 3. Historia obciążenia mastyksu według MMSCR

Przedstawiony schemat badania (rys. 3) został tak sformułowany, aby pozwalał na identyfikację parametrów nieliniowej lepkośćsprężystości oraz ocenę ich stabilności. Niniejsza procedura badawcza



(MMSCR) pozwala na kompleksowy opis mastyksu z uwzględnieniem: **czasu obciążenia, temperatury oraz naprężenia**. Identyfikacja parametrów nieliniowej lepkosprężystości wymagała w pierwszej kolejności identyfikacji parametrów funkcji lepkosprężystości w zakresie liniowej lepkosprężystości (LVE). Należy pamiętać, że zakres LVE jest powszechnie wykorzystywanym zakresem lepkosprężystości opisującym zachowanie materiału pod wpływem małych naprężeń/odkształceń. Niestety mastyks, jak i również mma, podlega wielokrotnie znacznie większym naprężeniom niż te które są uwzględniane przy badaniach w zakresie LVE. W związku z tym kompleksowy opis fenomenologiczny mma wymaga analizy odkształcalności mastyksu również w zakresie NLVE. Aby w skrócie przybliżyć proces identyfikacji parametrów NLVE należy rozważyć dwa cykle związane ze zmianą naprężenia (Rysunek 4).



Rys. 4. Schemat próby pełzania z powrotem dla dwóch cykli obciążenia

Należy dodać, że analiza odkształcalności mastyksu wykonana została w warunkach czystego ścinania. Postać funkcji pełzania w zakresie LVE w niniejszym opracowaniu w stanie kontrolowanego naprężenia ścinającego, uwzględniając model **GK-H (uogólniony model Kelvina-Voigta z dodatkowym elementem Hooke'a)**, miała postać (2):

$$J(\psi^t) = J_0 + \sum_{i=1}^n J_i [1 - e^{(-\lambda_i \psi^t)}] \quad (2)$$

Przyjęcie takiego modelu funkcji podcałkowej pełzania było punktem wyjścia do dalszych analiz. Przyjęcie takiego modelu było również związane z jego przyszłą implementacją jako model fizyczny (procedura UMAT) w programie ABAQUS. Dla uproszczenia należy pamiętać, że w zakresie LVE wszystkie parametry nieliniowej lepkosprężystości przyjmują wartość równą jedności. W związku z tym, w celu zobrazowywania problemu identyfikacji parametrów nieliniowej lepkosprężystości skupiono się na opisie estymacji parametrów nieliniowej lepkosprężystości (drugi cykl obciążenia  $\tau > 50 \text{ Pa}$ ), gdzie efekt oddziaływania naprężeń był istotny.

W drugim cyklu obciążenia naprężenie ścinające było nieco poza zakładanym zakresem LVE. Wówczas całkowite odkształcenie postaciowe w fazie obciążenia i powrotu można określić za pomocą równania w cyklu 2 (3):

*Handwritten signature*



dla fazy obciążenia

$$\gamma_{cr2}(t) = g_0(\tau_2)J_0\tau_2 + \left\{ g_1(\tau_1)\tau_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t}{a_{\sigma}(\tau_1)}\right)} \right] - g_2(\tau_1)\tau_1 \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t-t_a}{a_{\sigma}(\tau_1)}\right)} \right] + g_2(\tau_2)\tau_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t-t_b}{a_{\sigma}(\tau_2)}\right)} \right] \right\} + \gamma_{irrec}(t)$$

dla fazy odciążenia

(3)

$$\gamma_{re2}(t) = g_2(\tau_1)\tau_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t}{a_{\sigma}(\tau_1)}\right)} \right] - g_2(\tau_1)\tau_1 \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t-t_a}{a_{\sigma}(\tau_1)}\right)} \right] + g_2(\tau_2)\tau_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t-t_b}{a_{\sigma}(\tau_2)}\right)} \right] - g_2(\tau_2)\tau_1 \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t-t_c}{a_{\sigma}(\tau_2)}\right)} \right] + \gamma_{irrec}(t_a)$$

Znając parametry modelu w zakresie LVE przystąpiono w tym cyklu do wyznaczenia parametrów modelu nieliniowej lepkosprężystości przy zadanym naprężeniu ścinającym. Aby tego dokonać, należało dla czasu  $t=t_c$  zestawić równania (3). Następnie odejmując odkształcenie postaciowe w fazie powrotu w drugiej fazie od odkształcenia postaciowego w fazie powrotu w czasie  $t=t_2$  uzyskano wartość odkształcenia postaciowego reprezentującego nawrót sprężysty w cyklu 2. Na tej podstawie wyznaczono dwa parametry  $g_2(\sigma_2)$  oraz  $a_{\sigma}(\sigma_2)$  według zależności (4):

$$\begin{aligned} \Delta\gamma_{re2.1}(t) &= \gamma_{cr2}(t_2) - \gamma_{re2}(t) = \\ &= g_2(\tau_1)\tau_1 \left\{ \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t_2}{a_{\sigma}(\tau_1)}\right)} \right] - \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t_2-t_a}{a_{\sigma}(\tau_1)}\right)} \right] \right. \\ &\quad \left. - \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t}{a_{\sigma}(\tau_1)}\right)} \right] \right. \\ &\quad \left. + \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t-t_a}{a_{\sigma}(\tau_1)}\right)} \right] \right\} + g_2(\tau_2)\tau_2 \left\{ \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t_2-t_b}{a_{\sigma}(\tau_2)}\right)} \right] \right. \\ &\quad \left. - \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t_2-t_c}{a_{\sigma}(\tau_2)}\right)} \right] - \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t-t_b}{a_{\sigma}(\tau_2)}\right)} \right] + \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t-t_c}{a_{\sigma}(\tau_2)}\right)} \right] \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

Minimalizując funkcję celu (metoda najmniejszych kwadratów), wyznaczono wyżej wymienione parametry. Pozostałe dwa parametry, takie jak:  $g_0(\sigma_2)$  oraz  $g_1(\sigma_2)$  wyznaczono poprzez odjęcie wartości odkształcenia postaciowego w cyklu 2 fazy pełzania w czasie  $t=t_c$  od odkształcenia w fazie powrotu w czasie  $t$  zgodnie ze wzorem (5):

$$\begin{aligned} \Delta\gamma_{re2.2}(t) &= \gamma_{cr2}(t_c) - \gamma_{re2}(t) = \\ &= g_0(\tau_2)J_0\tau_2 \\ &\quad + g_1(\tau_2) \left\{ g_2(\tau_1)\tau_1 \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t_c}{a_{\sigma}(\tau_1)}\right)} \right] \right. \\ &\quad \left. - g_2(\tau_1)\tau_1 \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t_c-t_a}{a_{\sigma}(\tau_1)}\right)} \right] + g_2(\tau_2)\tau_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t_c-t_b}{a_{\sigma}(\tau_2)}\right)} \right] \right\} \\ &\quad - \left\{ g_2(\tau_1)\tau_1 \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t}{a_{\sigma}(\tau_1)}\right)} \right] - g_2(\tau_1)\tau_1 \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t-t_a}{a_{\sigma}(\tau_1)}\right)} \right] \right. \\ &\quad \left. + g_2(\tau_2)\tau_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t-t_b}{a_{\sigma}(\tau_2)}\right)} \right] - g_2(\tau_2)\tau_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[ 1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t-t_c}{a_{\sigma}(\tau_2)}\right)} \right] \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

Na tym etapie procesu identyfikacji parametrów modelu NLVE określono wszystkie parametry nieliniowego modelu Schapery'ego dla naprężenia  $\sigma_2$ . Dla kolejnych cykli obciążenia należy



postępować analogicznie. Nie mniej jednak dalszy wzrost naprężeń powoduje rozszerzenie przedstawionego powyżej zapisu o kolejne człony odnoszące się do kolejnego poziomu naprężenia, co w rezultacie znacznie komplikuje zapis równania. **W związku z tym analizę wsparto autorskim skryptem napisanym w programie Mathcad.** Ostatni etap analizy polegał na wyznaczeniu odkształcenia nieodwracalnego  $\gamma_{irrec}(t)$  w czasie  $t$ . Jego wartość można wyznaczyć ze wzoru (6):

$$\gamma_{irrec}(t) = \gamma_{cr}(t) - \gamma_{N-LVE}(t) \quad (6)$$

gdzie:  $\varepsilon_{N-LVE}(t)$  - odkształcenie wynikające z modelu Schapery'ego.

Wykonując badanie przy minimum 4 różnych poziomach naprężenia ścinającego, w postaci wielomianu, wyrażono funkcyjny związek między wszystkimi parametrami NLVE a przyłożonym poziomem naprężeniem. Parametry nieliniowe modelu Schapery'ego można przedstawić również w postaci innych funkcji matematycznych. Nie mniej jednak wielomian stopnia drugiego, zdaniem autora, był najbardziej racjonalną reprezentacją nieliniowego zachowania mastyksu. **Matematyczny zapis takiej funkcji wiążącej wyrażał wartość parametrów modelu NLVE z wartością naprężenia ścinającego.** Szeroki opis postępowania szczegółowo został przedstawiony w rozprawie monograficznej wskazanej jako oryginalne osiągnięcie naukowe. **Niniejszą procedurę badawczą oraz opis matematyczny identyfikacji parametrów nieliniowej lepkościowości wskazuję jako oryginalny wkład w opis nieliniowości relacji naprężenie-odkształcenie mastyksu.**

Identyfikacja parametrów nieliniowej lepkościowości była pierwszym krokiem w ustanowieniu charakteru lepkościowego mastyksu. Kolejnym krokiem było uogólnienie przebiegu odkształcenia, opierające się na rezultatach funkcji wiążącej, w zależności od dowolnej prędkości zmiany naprężenia. W pracy należało dokonać całkowania ogólnego równania Schapery'ego. Numeryczne rozwiązanie tego problemu zostało podjęte już w latach 70-tych. Wykorzystując własności funkcji wykładniczych i logarytmicznych, stosując podejście iteracyjno-rekurencyjne oraz model funkcji podcałkowej GK-H zaproponowano rozwiązanie opisujące liniowe i nieliniowe pełzanie mastyksu w postaci (7):

$$\Delta\gamma_n(t) = \left( g_0 J_0 + g_1 g_2 \sum_{i=1}^n J_n \left[ 1 + \frac{\Delta\sigma \tau_n}{\Delta\psi} \left( \exp\left(\frac{\Delta\psi}{\tau_n}\right) - 1 \right) \right] \right) \Delta\sigma + \sum_{i=1}^n \left( \exp\left(\frac{\Delta\psi}{\tau_n}\right) - 1 \right) * \gamma_n(t - \Delta t) \quad (7)$$

Natomiast stosując konwersję funkcji podcałkowej GK-H do GM-H (uogólniony model Maxwella z dodatkowym elementem Hooke'a) wyprowadzono wzór na opis zjawiska relaksacji w trybie kontrolowanego odkształcenia w postaci (8):

$$\Delta\sigma_n(t) = \left( h_0 G_0 - h_1 h_2 \sum_{i=1}^n G_n \left[ 1 - \frac{\Delta\gamma \tau_n}{\Delta\psi} \left( 1 - \exp\left(\frac{\Delta\psi}{\tau_n}\right) \right) \right] \right) \Delta\gamma + \sum_{i=1}^n \left( \exp\left(\frac{\Delta\psi}{\tau_n}\right) - 1 \right) * \sigma_n(t - \Delta t) \quad (8)$$

Niniejsze modyfikacje rozwiązania numerycznego **wskazuję jako oryginalny wkład w opis nieliniowego pełzania mastyksu dla stałej temperatury i dowolnej prędkości zmiany naprężenia.** Nie mniej jednak powyższy opis numeryczny może zostać rozszerzony o różne temperatury oraz etap starzenia. Modyfikacja wymaga wyłącznie uwzględnienia dodatkowego składnika w potęgze funkcji wykładniczej, podobnie jak przy zasadzie TTSP.

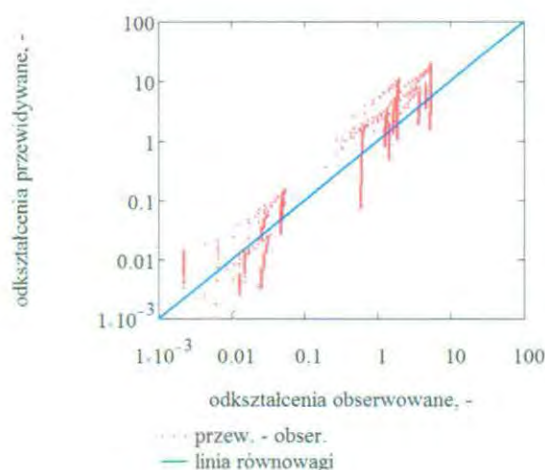
Algorytm numerycznej symulacji próbnie wprowadzono, uwzględniając każdorazową aktualizację Jakobianu macierzy sztywności oraz iteracyjnego obliczania naprężeń przed każdym krokiem zmiany odkształcenia, jako procedurę UMAT do programu ABAQUS. W obecnym stanie



procedura określa wyłącznie odkształcenia w stanie obciążenia. Preliminarzowe wyniki symulacji numerycznej zaprezentowano w:

- G. Mazurek, P. Buczyński, M. Iwański, *Krzywa wiodąca modułu sztywności z uwzględnieniem poziomu naprężenia w projektowaniu konstrukcji podatnej nawierzchni drogowej*, VI KRAKOWSKIE DNI NAWIERZCHNI 2019, w ramach cyklu KONFERENCJE SPECJALISTYCZNE nauka-praktyka-biznes, 13-15 listopada 2018 r. Kraków,
- G. Mazurek, P. Buczyński, M. Iwański, *Odkształcalność konstrukcji nawierzchni drogowej w zakresie dużych naprężeń pionowych*, Autostrady, 3, pp. 24-31, 2019

Uwzględniając wszystkie wyniki, które uzyskano w procesie identyfikacji parametrów modelu nieliniowej lepkosprężystości - ich rozrzut został przedstawiony na rysunku 5.



Rys. 5. Dystrybucja wyników eksperymentalnych (kolor czerwony) względem wartości modelowych (linia równowagi)

W podsumowaniu należy stwierdzić, że opis problematyki pełzania nieliniowego poprzez zaproponowaną procedurę badawczą oraz sformułowane równania został satysfakcjonująco (błąd względny  $<18\%$ ) ujęty w zwartej formie i może zostać z łatwością odtworzony przez innych badaczy do dalszej walidacji.

Podsumowując, aby wykonać proces numerycznej symulacji niezbędnym była identyfikacja następującego zestawu parametrów:

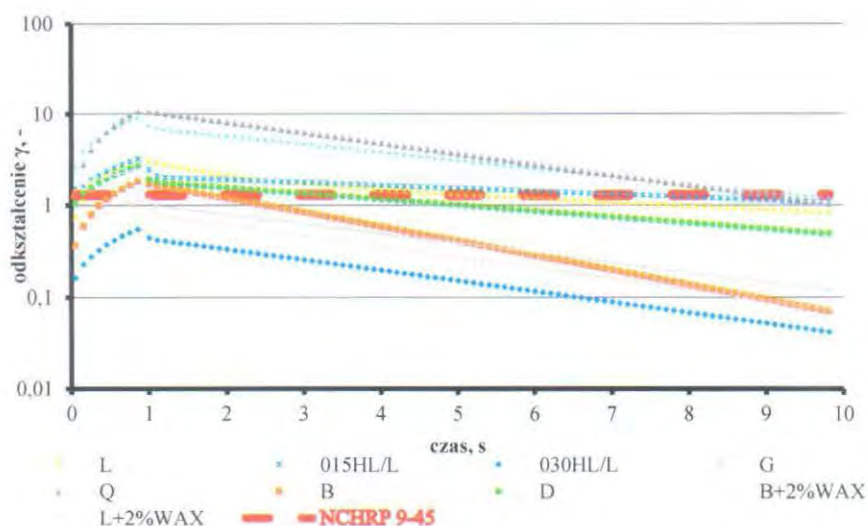
- w zakresie LVE** (12 stałych materiałowych) w temperaturze referencyjnej  $50^{\circ}\text{C}$ :
  - dla uogólnionego 4- elementowego modelu **GK-H**: 9 stałych materiałowych ( $J_i$ ,  $\rho_i$ ,  $J_g$ ),
  - w celu zbudowania krzywej wiodącej (TTSP) dla zakresu temperatury od  $40^{\circ}\text{C}$  do  $60^{\circ}\text{C}$ : 2 stałych materiałowych ( $C_1$ ,  $C_2$ ),
- w zakresie NLVE**: 4 stałe materiałowe  $g_0$ ,  $g_1$ ,  $g_2$ ,  $a_g$  wyrażone za pomocą 2 stałych wielomianu ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ) wiążącego wartości parametrów NLVE z naprężeniem ścinającym.

**Rozdział dziewiąty** stanowił zwięźczenie działań, które zostały zawarte w treści poprzednich rozdziałów. Celem tego rozdziału było wykorzystanie, zawartej w rozdziale ósmym, numerycznej

*[Podpis]*



formuły mającej na celu wykonanie symulacji numerycznej stanu odkształcenia postaciowego mastyksu w funkcji naprężenia ścinającego (7). Niniejsza symulacja numeryczna uwzględniała również zastosowanie funkcji wiążącej mastyksów. W ten sposób ujmując czas, temperaturę oraz naprężenie uzyskano dobre dopasowanie modelu numerycznego do wyników rzeczywistego eksperymentu. Na tym etapie analizy uzasadnionym było wykonanie symulacji numerycznej wobec mastyksów w temperaturze 58°C w celu odniesienia wyników symulacji do wniosków raportu NCHRP 9-45. Rezultat symulacji przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Zbiórce zestawienie prognozowanych (numerycznych) wartości deformacji postaciowych mastyksów w temperaturze 58°C i przy naprężeniu ścinającym 3,2 kPa

Mając zbiór estymowanych wyników parametrów nieliniowej funkcji lepkości w przystępny sposób określono poziom odkształcenia w 10 sekundzie badania klasycznego MSCR, na podstawie którego można oszacować nieodwracalną część podatności. Rezultat granicznego odkształcenia oznaczono linią czerwoną przerywaną. Należy zwrócić uwagę, że nie wszystkie wypełniacze odznaczają się zróżnicowanym poziomem podatności pełzania w 10 sekundzie badania. Najbardziej wątpliwe wyniki reprezentował mastyks z wypełniaczem kwarcytowym i gabrowym. Potwierdza to tym samym klasyczny pogląd, że skały kwaśne mają niskie powinowactwo z asfaltem. Łącząc ten fakt z wysoką podatnością można stwierdzić, że adhezja pomiędzy wypełniaczem o asfaltem ma wpływ na reologię mastyksu.

W końcowej części rozdziału dziewiątego zamieszczano wzory regresyjne łączące formułę wspomnianej funkcji wiążącej z właściwościami wypełniaczy mineralnych. Przestanki do podjęcia takich działań wynikały z obserwacji, iż funkcje podatności w zakresie LVE były bardzo podobne w zbiorze badanych wypełniaczy. Kolejną było spostrzeżenie, że nie można zdefiniować wag funkcji wiążącej wspólnych dla wszystkich mastyksów (bez względu na rodzaj wypełniacza). Poziom zmienności niewyjaśnionej w ocenie współczynnika determinacji był >80%. Skłoniło to do poszukiwań związków korelacyjnych pomiędzy właściwościami wypełniaczy a wagami funkcji wiążącej wymaganej do estymacji parametrów nieliniowej lepkości. W rezultacie określono szereg istotnych związków korelacyjnych (9)-(13):

*Handwritten signature*



- **Parametr  $g_1$**

- brak obecności 2% wosku syntetycznego (9):

$$g_1 = 1 + (0,00027 \cdot BN - 0,000001 \cdot P_w - 0,00023 \cdot AV_R + 0,00083 \cdot MB_f) \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_0} - 1\right) + (-5,4 \cdot BN + 4,1 \cdot P_w + 3,3 \cdot AV_R - 3,7 \cdot MB_f) \left(\frac{\tau}{\tau_0} - 1\right)^2 \pm 0,00081 \quad (9)$$

- obecność 2% wosku syntetycznego (10):

$$g_1 = 1 + (0,00027 \cdot BN - 0,000001 \cdot P_w - 0,00023 \cdot AV_R + 0,00083 \cdot MB_f - 0,0053) \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_0} - 1\right) + (-5,4 \cdot BN + 4,1 \cdot P_w + 3,3 \cdot AV_R - 3,7 \cdot MB_f + 7,05) \left(\frac{\tau}{\tau_0} - 1\right)^2 \pm 0,00081 \quad (10)$$

- **Parametr  $g_2$**

- brak obecności 2% wosku syntetycznego (11):

$$g_2 = 1 + (0,0000018 \cdot P_w) \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_0} - 1\right) + (0,00040 \cdot pH + 0,00025 \cdot \Delta T_{PIK} - 0,00031 \cdot MB_f) \left(\frac{\tau}{\tau_0} - 1\right)^2 \pm 0,121 \quad (11)$$

- obecność 2% wosku syntetycznego (12):

$$g_2 = 1 + (0,0000018 \cdot P_w + 0,22) \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_0} - 1\right) + (0,00040 \cdot pH + 0,00025 \cdot \Delta T_{PIK} - 0,00031 \cdot MB_f - 0,0021) \left(\frac{\tau}{\tau_0} - 1\right)^2 \pm 0,121 \quad (12)$$

- **Parametr  $a_\sigma$**

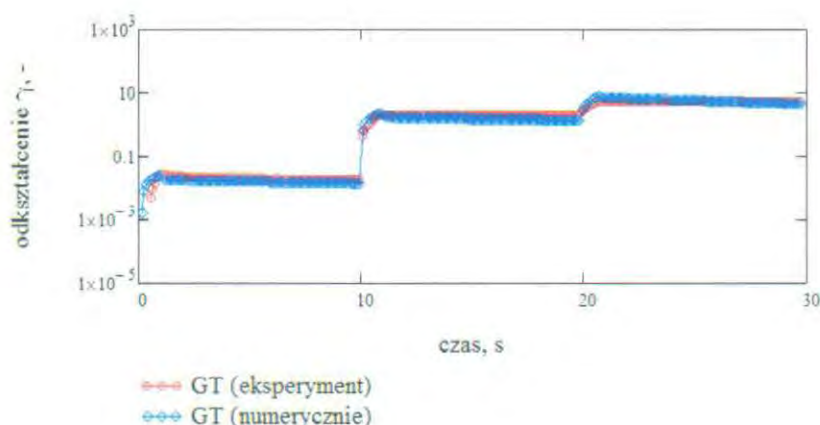
- bez względu na obecność wosku syntetycznego (13):

$$a_\sigma = 1 + (0,0032 \cdot \Delta T_{PIK}) \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_0} - 1\right) - (0,000020 \cdot \Delta T_{PIK}) \left(\frac{\tau}{\tau_0} - 1\right)^2 \pm 0,0092 \quad (13)$$

W ten sposób, znając wyłącznie właściwości wypełniaczy można, przy zdefiniowanych w monografii ograniczeniach modelu, satysfakcjonująco odwzorowywać nieliniowy charakter mastyksu z wykorzystaniem również innych rodzajów wypełniaczy mineralnych. Aproksymacja funkcji regresyjnych wiążących parametry nieliniowej lepkości z właściwościami wypełniaczy pozwala na szybką ocenę przydatności danego wypełniacza/pyłów do celów drogowych szczególnie dla zakresu wysokich temperatur eksploatacyjnych (40°C÷70°C). Umożliwia to uniknięcie potencjalnej degradacji stanu nawierzchni w postaci deformacji funkcjonalnych warstwy asfaltowej. **Określone powyższe związki regresyjne (9)-(13) w powiązaniu z zaproponowaną zmodyfikowaną formułą numeryczną (7) stanowią oryginalny wkład w rozwój badań dotyczących stosowania modelowania komputerowego wykorzystanego do opisu stanu reologicznego mastyksu w tym również innych kompozytów mineralno-asfaltowych.** Aplikacja niniejszej koncepcji wykorzystania podejścia nieliniowego do charakterystyki kompozytów mineralno-asfaltowych ma zastosowanie praktyczne, i w opinii autora, ma ogromny potencjał praktyczny i powinna być kontynuowana.

Aby potwierdzić wykonaną analizę i zasadność celów postawionych w pracy, w ostatnim podrozdziale zamieszczono rezultat symulacji uzyskanego modelowania na przykładzie aplikacji wypełniacza granitowego do mastyksu. Rezultaty symulacji reprezentuje rysunek 7.





Rys. 7. Symulacja numeryczna odkształcenia w zakresie NLVE dla mastyksu z wypełniaczem GT

Uzyskany przebieg symulacji odkształcalności mastyksu wykonanego z wypełniaczem granitowym stanowi silny dowód na słuszność podjętych działań obejmujących badania, analizy i propozycję modelowania reologii mastyksu wykorzystując podejście uwzględniające nieliniową relację  $\tau$ - $\gamma$ . W związku z tym zdaniem autora został osiągnięty założony cel niniejszej rozprawy.

**Potwierdza to również spostrzeżenie autora, że modelowanie odkształcalności mastyksu opierając się wyłącznie na zakresie LVE nie może być wykorzystywane bezkrytycznie, ponieważ zakres LVE ma swoje ograniczenia w kontekście odwzorowania rzeczywistej odkształcalności mastyksu w mma.** Zestawienie symulacji zmiany odkształcenia w funkcji wartości naprężenia ścinającego mastyksów w zakresie LVE i NLVE zostały zawarte w rozdziale 9.

**Rozdział dziesiąty** stanowi podsumowanie pracy. Zamieszczono w nim najważniejsze wnioski wynikające ze zrealizowanych badań oraz analiz. Rozdział ten jest również podsumowaniem możliwości jakie zapewnia modelowanie właściwości lepkosprężystych mastyksu oraz potencjalnego wykorzystania tych informacji do właściwego doboru wypełniaczy mineralnych do mastyksu.

#### 4.3.3. Podsumowanie

Zaprezentowana monografia w obszarze tematycznym i poznawczym przedstawia spójny terminologicznie i koncepcyjnie opis pełzania nieliniowego, wykorzystując nieliniowy model lepkosprężystości Schapery'ego. Jest to pierwsze w Polsce tego rodzaju podejście wykorzystane do symulacji odkształcalności mastyksu w wysokiej temperaturze. Podstawowy zapis modelu nieliniowej lepkosprężystości w relacji całkowitej jest, w opinii autora, elastycznym narzędziem pozwalającym na wykonanie szeregu rozważań na temat odkształcalności mastyksu w zakresie: temperatury, czasu obciążenia i poziomu naprężenia.

Istotny elementem pracy stanowiła warstwa metodyczna, której odzwierciedleniem była autorska procedura pozwalająca na poprawną identyfikację parametrów zaproponowanego i poddanego modyfikacji modelu nieliniowej lepkosprężystości. Ponadto zaproponowany zmodyfikowany model numeryczny oraz relacje pomiędzy parametrami funkcji wiążącej a właściwościami wypełniaczy określone w sposób regresyjny pozwalały na wskazanie, że założony cel główny pracy został osiągnięty. Przy pomocy wyżej wymienionych procedur oraz równań matematycznym zidentyfikowano szereg osobliwych zjawisk towarzyszących w odniesieniu do obserwacji fenomenologicznych mastyksu w zakresie wysokich temperatur.



Podsumowując, najważniejsze moje osiągnięcia badawcze ujęte w zwartej formie monografii to:

**w zakresie naukowo-badawczym:**

- I. Opracowanie modelu pozwalającego na objętościowe wyznaczenia wartości krytycznej ilości wypełniacza w asfalcie (F/B). Model ten umożliwiał również określenie urabialności mastyksu dla różnych proporcji F/B.
- II. Opracowanie metodologii (procedury) będącą modyfikacją metody MSCR (MMSCR) pozwalającą na identyfikację parametrów nieliniowej lepkościowości uwzględniającej istotny wpływ naprężeń. Następnie ich wartość została regresyjnie interpolowana za pomocą funkcji wielomianu stanowiącego uogólnienie ich zmienności w szerokim zakresie naprężeń.
- III. Opracowanie zmodyfikowanego algorytmu pozwalającego, poprzez wykorzystanie procedury MMSCR, pozwalającego na wyznaczenie parametrów nieliniowej lepkościowości  $g_0$ ,  $g_1$ ,  $g_2$ ,  $a_0$ . Niemniejszy algorytm uwzględniał wyłącznie zakres nawrotu sprężystego, najlepiej odwzorowującego charakter lepkościowości mastyksu. Uzyskane przeciętne błędy względne dopasowania modelu nieliniowej lepkościowości do wartości eksperymentalnych w zakresie wysokich temperatur w zakresie LVE wynosiły  $< 11\%$  natomiast z dodatkowym uwzględnieniem zakresu NLVE wynosiły  $< 20\%$ .
- IV. Modyfikacja numerycznego rozwiązania pozwalającego na prognozowanie przyrostu odkształcenia w zależności od dowolnej szybkości zmiany naprężenia w oparciu o nieliniowy model lepkościowości według teorii Schapery'ego.
- V. Opracowanie i walidacja regresyjnych relacji pomiędzy parametrami nieliniowej lepkościowości a właściwościami wypełniaczy. Sformułowana w ten sposób funkcja wiążąca pozwala na poprawną aproksymację wartości nieodwracalnej podatności mastyksu na podstawie wyłącznie oznaczeń podstawowych właściwości wypełniaczy.

**w zakresie poznawczym:**

- I. Uwzględnienie w analizie mastyksu jego dużych odkształceń nieodwracalnych, które zależą również od poziomu naprężenia, było kluczowe z racji potencjalnego wykorzystania wyników badań do odwzorowania prawdziwego zjawiska koleinowania w mma. Fakt wykorzystania do badań poziomu wysokich temperatur wobec licznej grupy mastyksów wykonanych z różnymi, z punktu widzenia kwasowości wypełniaczami, stanowi istotny materiał porównawczy, którego niedostatek w obecnym czasie można zaobserwować w literaturze krajowej.
- II. Na podstawie wykonanych badań wysunięto hipotezę, że w miarę wzrostu poziomu naprężenia ścinającego początkowy poślizg pomiędzy ziarnami wypełniacza był wywołany poprzez znacznie bardziej podatny składnik lepiszcza asfaltowego. Następnie zaobserwowano spadek tempa redukcji podatności mastyksu wobec aplikacji wyższych poziomów naprężenia. Uznano, że za zmiany podatności mastyksu odpowiedzialne było zjawisko klinowania ziaren wypełniacza.
- III. Spośród analizowanych wypełniaczy największy wpływ na redukcję odkształcenia wywołały wypełniacze mineralne, które odznaczały się wysoką porowatością oraz wysokim poziomem zawartości wolnych przestrzeni w umownie zagęszczonym wypełniaczu.
- IV. Obecność wosku syntetycznego przyczyniła się do istotnego spadku podatności mastyksu na deformacje. Wysunięto wniosek, że wosk syntetyczny F-T w mastyksie spełniał funkcję bardzo drobnego wypełniacza.



- V. Stwierdzono, że wzrost powierzchni właściwej, zawartości wolnych przestrzeni w wypełniaczu granitowym o 50% spowodowałby redukcję podatności takiego mastyksu o około 40%. Natomiast wzrost o 50% zawartości cząstek ilastych mógłby spowodować niekorzystny wzrost podatności mastyksu o niemal 20%. Nie mniej jednak zależność pomiędzy odczynem pH i podatnością mastyksu w zakresie NLVE była istotna statystycznie.
- VI. Ważnym spostrzeżeniem było ustalone podobieństwo rezultatów przebiegu krzywych wiodących pomiędzy mastyksem z wypełniaczem dolomitowym, bazaltowym a wypełniaczem mieszanym. Świadczyło to o tym, że zastosowanie wypełniacza dolomitowego oraz bazaltowego może w podobny sposób przyczynić się do poprawy odporności na deformacje trwałe mma tak samo, jak wypełniacze pełnowartościowe spełniające wymagania WT-1 2014.
- VII. Obserwacja zmian złożonego współczynnika przesunięcia poziomego  $a_{\sigma} \cdot a_T$  była dowodem, że zmiana naprężenia na wyższy poziom, wprowadza modyfikację orientacji i układu cząstek rozproszonego wypełniacza w asfalcie w sposób nieodwracalny.
- VIII. Nagłe zmiany w strukturze mastyksu, sygnalizowane choćby przez nagły spadek lepkości mastyksu wywołane zmianą w dystrybucji cząstek wypełniacza w mastyksie, powodowały, że dla wysokiego poziomu naprężenia odwzorowanie stanu rzeczywistego na bazie zakresu LVE stawało się coraz mniej zgodne z eksperymentem. Ponadto, zaobserwowano, że błędy estymacji były tym mniejsze, im bardziej sprężysty charakter wykazywał mastyks.
- IX. Akceptowalna stabilność parametrów modelu nieliniowej lepkosprężystości względem kolejnych cykli obciążenia w modelu nieliniowej lepkosprężystości wpłynęła na możliwość odtworzenia wyników w celu ich porównania. W związku z tym, w do celów porównawczych zaleca się stosowanie odczytu odkształcenia wykonanego względem trzeciej sekwencji każdego cyklu dla pierwszego bloku zaproponowanego programu obciążenia MMSCR.

W opinii autora szereg napotkanych i rozwiązanych problemów w ramach wykonanych badań i analiz skłania do konstatacji, że uzyskane rezultaty stanowią istotny wkład w rozwój nauk inżynierijno-technicznych, w dyscyplinie budownictwo, w szczególności w zakresie inżynierii materiałowej, obejmującej materiały drogowe, i co najistotniejsze - mogą mieć praktyczne zastosowanie. W podsumowaniu, uwzględniając dotychczasową działalność naukową oraz rezultaty zamieszczone w niniejszej zwartej publikacji, zasadniczym wkładem w rozwój nauk w dyscyplinie budownictwo są: **opracowanie procedury pozwalającej na identyfikację parametrów nieliniowej lepkosprężystości według teorii Schapery'ego, numeryczna symulacja przebiegu nieliniowej relacji naprężenie-odkształcenie dla dowolnej prędkości wartości naprężenia oraz ustalenie matematycznej relacji pomiędzy właściwościami wypełniaczy a wartościami parametrów nieliniowej lepkosprężystości. Zaproponowana w monografii koncepcja opisu reologii mastyksu stanowi istotny wkład w rozwój dyscypliny budownictwo, wzbogacając obecny stan wiedzy dotyczącej fenomenologii mastyksu w zakresie wysokich temperatur.**

#### 4.3.4. Wykorzystanie uzyskanych wyników

Dzięki wnioskowi wynikającym z niniejszej monografii można na etapie projektowania wyeliminować wypełniacze mineralne mogące negatywnie wpłynąć na nadmierny wzrost odkształceń w mma, szczególnie w zakresie wysokich temperatur. Wysoki poziom odkształceń nieodwracalnych może być wskaźnikiem sugerującym niską kohezję mastyksu oraz wysoki moduł podatności. Wskazane parametry nieliniowej lepkosprężystości odzwierciedlają to, jak będzie odkształcać się mieszanka mma,



do której zastosowano dany mastyks. Mogą one być wskaźnikiem do podjęcia decyzji na temat użyteczności danego wypełniacza i jego skuteczności w formułowaniu kohezji mma. Niniejsze rezultaty i sformułowane wnioski rozprawy mogą mieć szczególne znaczenie w przypadku rozważań nad zastosowaniem nowych wypełniaczy oraz wypełniaczy pochodzących z systemów odpylania. Model ten może wykazać swoje zalety szczególnie w rozważaniach nad możliwością recyklingu niniejszych pyłów, czyli materiałów w świetle WT-1/2014 określonych jako „niepełnowartościowe”. Należy dodać, że część pyłów była wykorzystana w ramach programu Rozwój Innowacji Drogowej (RID) w projekcie pt. „Wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu”, w konsorcjum którego wchodziły cztery uczelnie państwowe oraz cztery instytuty badawcze. Część pyłów wykorzystanych w ramach zadania nr 5, którego byłem uczestnikiem, została wykorzystana do sporządzenia mastyksów. Wyniki analizy wskazują, że wypełniacze pochodzenia bazaltowego, dolomitowego mają wysokie walory użytkowe z punktu widzenia korzystnych właściwości mechanicznych w wysokich temperaturach w porównaniu do wapiennych wypełniaczy mineralnych. Ich obiecujące rezultaty korzystne odnosząc się do zaobserwowanej ich niskiej odkształcalności i niskiej wrażliwości na wysokie naprężenia w wysokiej temperaturze sprawiają, że niniejszy model może być doskonałym narzędziem do walidacji efektywności zastosowania innych wypełniaczy (pyłów) mineralnych do mma. Kolejną ważną zaletą przemawiającą za szerszym wykorzystaniem niniejszego modelu nieliniowej lepkosprężystości jest możliwość jego wykorzystania do analizy zachowania mastyksu dla innych poziomów temperatur. Należy również podkreślić, że model ten pozwala również na uwzględnienie zjawisk środowiskowych, które nie zostały uwypuklone w niniejszej rozprawie. Za pomocą niniejszego modelu można w ten sposób uwzględnić efekt starzenia asfaltu, co jest kluczowe wobec szerszego poznania fenomenologii mastyksu.

Wykorzystanie wyników niniejszej rozprawy nie jest ograniczone wyłącznie do zastosowań obejmujących oceny stosowalności danych wypełniaczy. Rozwiązanie numeryczne zaproponowanego modelu nieliniowej lepkosprężystości Schapery'ego może być łatwo rozwinięte do stanu 3D. Przy pewnych uproszczeniach zakładających, że: tensor kulisty podlega modelowi sprężystemu, model funkcji podcałkowej jest zgodny z modelem GK-H to stosując algorytm rekurencyjno-iteracyjny niniejsze rozwiązanie, zaprezentowane w rozprawie habilitacyjnej, może zostać z powodzeniem zaimplementowane do programów numerycznych (ABAQUS). Obserwując z perspektyw obecnych analiz i wstępnej implementacji takie rozwiązanie może być użyteczne w sytuacji rozważania symulacji numerycznej stanu odkształceń na podstawie przekroju rzeczywistych próbek mma. Poprzez nałożenie siatki mes na obszar fotografii reprezentującej obszar pomiędzy ziarnami kruszywa należy opisać jako mastyks (zaprawa). Wówczas przypisując obszarowi mastyksu zachowanie zgodne modelem nieliniowej lepkosprężystości można zdecydowanie poprawić jakość odwzorowania rzeczywistego stanu odkształceń w mma. Jest to krok w przód w stosunku do popularnej w literaturze ewaluacji numerycznej, gdzie obszary mastyksu są modelowane jako materiał sprężysty lub też gdy jego obecność jest interpretowana jako lepiszcze asfaltowe.

Jako ostatni argument przemawiający za wykorzystaniem rezultatów niniejszej rozprawy to możliwość zastosowania zaproponowanego modelu określającego stężenie krytyczne relacji F/B. Ma to szczególne znaczenie w przypadku zastosowania nowych wypełniaczy o dużej powierzchni właściwej. Aplikacja niniejszego modelu pozwala na uniknięcie wielu problemów z zagęszczaniem mma na etapie jej wbudowania.





## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Rok 2007 to początek mojej działalności naukowej, kiedy podjąłem zatrudnienie w Katedrze Inżynierii Komunikacyjnej w Wydziale Budownictwa Lądowego i Inżynierii Środowiska w Kielcach. Do dnia dzisiejszego jednostka Katedry Inżynierii Komunikacyjnej jest moim podstawowym miejscem zatrudnienia, w którym prowadzę badania naukowe. Wszystkie publikacje naukowe, realizacja pracy doktorskiej oraz rozprawy habilitacyjnej zostały wykonane w trakcie pracy na Politechnice Świętokrzyskiej

### 5.1.1. Charakterystyka dorobku przed uzyskaniem stopnia doktora

W początkowym okresie mojej działalności naukowej podjąłem się zadania oceny wpływu, jaki wywierają woski syntetyczne F-T na właściwości mma. Wówczas do badań wykorzystany został asfalt modyfikowany polimerem z dodatkiem wosku syntetycznego pod nazwą „Oleksobit”. Badania z zastosowaniem wosków syntetycznych do mma były w tamtym okresie bardzo innowacyjne z faktu, że technologia WMA (ang. Warm Mix Asphalt) była w polskich warunkach rozwiązaniem pionierskim. W późniejszym okresie do badań wykorzystywany był asfalt 35/50 i 50/70 modyfikowany woskiem syntetycznym według własnej procedury i metodyki. W rezultacie wykonanych badań z użyciem kilku mieszanek betonu asfaltowego uzyskano obiecujące rezultaty, wskazujące na wysoką skuteczność wosku syntetycznego z punktu widzenia jego wpływu na: wzrost urabialności mma, wzrost jej wskaźnika zagęszczenia oraz istotny wzrost jej sztywności w wysokich temperaturach eksploatacyjnych. Pierwszą publikacją z tego zakresu był materiał współautorski referat wygłoszony na konferencji w Krynicy w 2008 r.

- Iwański M., Mazurek G., *Wpływ temperatury zagęszczania na właściwości betonu asfaltowego*, 54 Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica, 21-26 września, pp. 39-46, 2008.

Zainteresowanie i dyskusja, jaką wywoła prezentacja podczas konferencji zorganizowanej w Krynicy była dla mnie motywacją do dalszego rozwoju badań nad technologią WMA, szczególnie na polu modyfikacji asfaltu za pomocą wosków syntetycznych. W rezultacie został opracowany szereg publikacji autorskich i we współpracy z prof. Markiem Iwańskim związany z rozwojem badań nad wspomnianą technologią WMA, wśród nich:

- Iwański M., Mazurek G., *Temperatura zagęszczania a właściwości betonu asfaltowego*, Drogi, 12, pp. 20-34, 2008.
- Mazurek G., *Wpływ starzenia na właściwości betonu asfaltowego z asfaltem nisko-temperaturowym*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Budownictwo, z. 1799, pp. 161-169, 2008.
- Iwański M., Mazurek G., *Wpływ temperatury zagęszczania na właściwości betonu asfaltowego*, Drogi, z. 12, pp. 57-65, 2008.
- Iwański M., Mazurek G., *Wpływ modyfikatora niskowiskozowego na zagęszczanie mieszanki mineralno-asfaltowej*, Autostrady, z.7, pp. 24-28, 2011
- Mazurek G., *Wpływ temperatury zagęszczania oraz ilości modyfikatora nisko-wiskozowego na zmiany cech fizyko mechanicznych betonu asfaltowego*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Budownictwo, Tom 1, pp. 453-463, 2009.



W okresie przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora rezultaty badań i analiz jakie uzyskiwałem w punktu widzenia ewaluacji wpływu wosków syntetycznych na mieszanki mineralno-asfaltowe systematycznie publikowałem i prezentowałem na konferencjach w Polsce oraz, w języku angielskim, poza granicą Polski. W ramach rezultatów, jakie uzyskiwałem zostały przygotowane publikacje konferencyjne:

- Iwański M., Mazurek G., *Beton asfaltowy z modyfikowanym nisko-wiskozowym*, Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Ochrona środowiska i estetyka a rozwój infrastruktury drogowej", Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej, Kazimierz Dolny, Polska, Tom 1, pp. 379-389, 2009.
- Iwański M., Mazurek G., *The impact of aging on water and frost resistance of asphalt concrete with low – viscosity bitumen*, MAIREPAV6 – 6-th International Conference Maintenance Rehabilitation Of Pavements And Technological Control, (Politecnico di Torino), Turyn, Włochy, Tom 1, pp. 306-314, 2009.
- Iwański M., Mazurek G., *The impact of the low – viscosity modifier on the properties of asphalt concrete*, „TRANSCOM 2009” – 8-th EUROPEAN CONFERENCE OF YOUNG RESEARCH AND SCIENTIFIC WORKERS, University of Zilina, Słowacja, pp. 89-92, 2009.
- Iwański M., Mazurek G., *Zależność temperatury zagęszczania betonu asfaltowego w aspekcie modyfikatora nisko-wiskozowego*, IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "NOWOCZESNE TECHNOLOGIE W BUDOWNICTWIE DROGOWYM" Tom 1, pp. 94-103, 2009.

Zakres tematyczny wykonywanych przeze mnie badań dotyczył nie tylko badań podstawowych właściwości fizycznych i mechanicznych betonu asfaltowego, ale i również wpływu wosku syntetycznego na efekt starzenia asfaltu i wpływu, jaki wywiera na poprawę efektywności zagęszczania mma. W rezultacie, przygotowano publikacje i ogłoszono je na konferencjach:

- Iwański M., Mazurek G., *Odporność na działanie wody i mrozu betonu asfaltowego z asfaltem nisko-wiskozowym*, 56 Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica, Tom 1, pp. 295-302, 2010.
- Iwański M., Mazurek G., *Water and frost resistance of asphalt concrete produced in warm technology* 10-th International Conference of Modern Buildings Materials, Structures and Techniques, Vilnius, Lithuania, Tom 1, pp. 200-206, 2010.

W okresie poprzedzającym uzyskanie stopnia doktora wykonano również wstępną optymalizację składu ilości wosku syntetycznego oraz temperatury zagęszczania z punktu widzenia uzyskania obszaru rozwiązań zapewniającego najwyższą efektywność potencjalnej mma. W tamtym czasie realizowałem spójną z badaniami pracę własną nr 2.33/8.51 *"Optymalizacja właściwości betonu asfaltowego w aspekcie temperatury zagęszczenia"*, 2008-2010 (kierownik). W efekcie opracowano referat do wygłoszenia na konferencji w Sao Paulo:

- Iwański M., Mazurek G., *Asphalt concrete of low-viscosity modifier*, 2nd International Conference on Transport Infrastructures in Sao Paulo Tom 1, pp.: 167-176, 2010.

Kolejnym obszarem zainteresowań, jaki został zainicjowany w trakcie badań nad obecnością wosków syntetycznych w mma były niezwykle istotne aspekty reologiczne. Było to związane z faktem, że tematyka, jaką podejmowałem do 2011 roku związana była z badaniami o charakterze *ad-hoc*. Ograniczenia jakie napotykałem przy wyjaśnieniu zjawisk mma przy pomocy standardowych badań normowych z woskiem syntetycznym zwróciły moją uwagę na zjawiska reologiczne, jakie mają miejsce w mma. Przystudiowane liczne publikacje oraz wykonane symulacje spowodowały, że uznałem, iż ocena materiałów drogowych wykorzystująca fenomenologiczne podejście z zastosowaniem reologii ma wysoki walor naukowy i prognozuje wysoką skuteczność w analizach naukowych. Z tym zagadnieniem spójnie realizowano pracę własną nr. 2.33/8.55 pt. „Ocena odporności na deformacje plastyczne asfaltów poddanych modyfikacji w aspekcie analizy reologii lepiszcza”, 2010-2012



(kierownik). W rezultacie zostały wykonane bardziej zaawansowane reologiczne badania i ich efekty znalazły swoje miejsce w materiałach konferencyjnych:

- Mazurek G., Iwański M., *The influence of rheological properties of bitumen with synthetic wax on changing modulus of elasticity of asphalt concrete*, "5th Euroasphalt & Eurobitume Congress", 13-15 June 2012, Istanbul, article P5EE-353, 2012.
- Mazurek G., *The influence of operational temperature on changing of resilient modulus of elasticity of the Asphalt Concrete with low-viscosity modifier*, 9-th European Conference Of Young Research and Scientific Workers, Transcom 2011, Tom 7, pp. 95-90, 2011.
- Iwański M., Mazurek G., *The influence of the low-viscosity modifier on selected rheological properties of bitumen*, 5th International Conference Bituminous Mixtures and Pavements, Thessaloniki, Greece, 2011.

W tym samym czasie wykonywane były innowacyjne, w roku 2012, badania z wykorzystaniem procedury MSCR, wobec której nie istniały w Polsce żadne zalecenia ani rekomendacje. Wyniki te połączono z aplikacją modelu Maxwella i zastosowano w treści własnej dysertacji. **Efektom wykonanych badań było przygotowanie i obrona w 2012 roku pracy doktorskiej** pt. „*Optymalizacja składu betonu asfaltowego modyfikowanego woskiem syntetycznym F-T w zakresie deformacji trwałych*”. W pracy dokonano optymalizacji wielokryterialnej składu betonu asfaltowego w aspekcie uzyskania obszaru o najlepszych właściwościach fizyczone mechanicznych z wykorzystaniem asfaltu 35/50 i 50/70. Optymalizacja została wykonana w oparciu o uogólnioną funkcję Harringtona. Plan eksperymentu opierał się na planie eksperymentu dwuczynnikowego wielowartościowego. Zastosowane narzędzia były bardzo zaawansowane, w związku z tym analiza została wsparta oprogramowaniem SAS. **Decyzją Rady Budownictwa i Inżynierii Środowiska przygotowana przeze mnie praca uzyskała wyróżnienie**. Zwieńczeniem rezultatów pracy i wykorzystanych metod analitycznych było, zbiegające się w czasie z obroną pracy doktorskiej, **uzyskanie I miejsca w konkursie na najlepszy referat młodego naukowca** pt. „*Odporność betonu asfaltowego modyfikowanego woskiem syntetycznym na deformacje*” podczas 58 Konferencji Naukowej Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN:

- Mazurek G., *Odporność betonu asfaltowego modyfikowanego woskiem syntetycznym na deformacje trwałe*, 58 Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica, 16-21 września 2012, pp. 283-302.

Dopełnieniem działalności naukowej w tym okresie było przyznanie nagrody Rektora Politechniki Świętokrzyskiej, którą otrzymałem w 2013 roku.

### 5.1.2. Charakterystyka dorobku po uzyskaniu stopnia doktora

Problemy jakie napotkałem podczas realizacji pracy doktorskiej oraz wnikliwe dalsze studiowanie literatury, głównie zagranicznej, stanowiły podstawę do kontynuowania tematyki związanej z głównym nurtem badań, które skupiały się przede wszystkim na zastosowaniu reologii do fenomenologicznego opisu właściwości materiałów drogowych. W pierwszym okresie po uzyskaniu stopnia naukowego doktora kontynuowałem prace nad **zagadnieniami związanymi z reologią kompozycji asfaltu i wosku syntetycznego**. W porównaniu do okresu przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora były one o wiele bardziej zaawansowane. Moim głównym celem było głębsze zrozumienie zjawisk, jakie towarzyszą interakcji pomiędzy asfaltem a woskiem syntetycznym. W treści pracy doktorskiej zastosowałem model Maxwella do opisu odkształcalności betonu asfaltowego. W okresie po uzyskaniu stopnia naukowego doktora konsekwentnie rozwijałem idee opisu charakterystyki lepkosprężystej materiałów drogowych poprzez wykorzystywanie osiągnięć reologii. W rezultacie tego działania powstał szereg publikacji. Poniżej przedstawiono zbiór najważniejszych współautorskich pozycji opublikowanych w czasopiśmie punktowanych z **listy B** według MNiSW:



- Mazurek G., *Ocena reologicznych zmian w strukturze asfaltu spowodowanych dodatkiem wosku syntetycznego F-T*, Drogownictwo, Z. 6, pp. 200-204, 2015.
- Iwański M., Mazurek G., *Wpływ dodatku wosku syntetycznego Fischera-Tropscha na właściwości funkcjonalne asfaltu*, Polimery, T. 60, Z. 4, pp. 272-278, 2015.
- Iwański M., Cholewińska M., Mazurek G., *Właściwości asfaltu z dodatkami modyfikującymi po procesie starzenia krótkoterminowego*, Budownictwo i Architektura t. 13, z. 1, pp. 15-27, 2014.
- Mazurek G., Iwański M., *Rheological characteristics of synthetic wax-modified asphalt binders*, Polimery, T. 57, Z. 9, pp. 661-664, 2012.
- Iwański M., Mazurek G., *Wpływ wybranego modyfikatora na właściwości asfaltu*, Drogownictwo Zeszyt: 10, pp. 313-317, 2011.

Ponadto w ten obszar tematyczny można zaliczyć współautorskie artykuły opublikowane z listy **JCR zaliczanych do listy A:**

- Iwański M., Mazurek G., *Wpływ dodatku wosku syntetycznego Fischera-Tropscha na właściwości funkcjonalne asfaltu*, Polimery, T. 60, Z. 4, pp. 272-278, 2015.
- Iwański M., Mazurek G., *Structuring role of F-T synthetic wax in bitumen*, Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences, T: 62, Z. 3, pp. 525-534, 2014.
- Iwański M., Mazurek G., *Rheological characteristics of synthetic wax-modified asphalt binders*, Polimery, T. 57, Z. 9, pp. 661-664, 2012.

Należy dodać, że artykuł napisany we współautorstwie z prof. Markiem Iwańskim oraz z Małgorzatą Cholewińską został wyróżniony na konferencji "Environmental Engineering", 10th International Conference Vilnius Gediminas Technical University w 2017 r. i decyzją Rady Programowej przekazany do opublikowania w czasopiśmie The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering z **listy JCR:**

- Cholewińska M., Iwański M., Mazurek G., *The impact of ageing on the bitumen stiffness modulus using the CAM model*, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, T.13, Z.1, pp. 34-39, 2018.

Oprócz publikacji współautorskich, które zostały wymienione powyżej, wyniki badań były popularyzowane na licznych konferencjach **indeksowanych przez bazę WoS** (ang. *Web of Science*) m.in.:

- Iwański M., Cholewińska M., Mazurek G., *Impact of the Ageing on Viscoelastic Properties of Bitumen with the Liquid Surface Active Agent at Operating Temperatures*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 245, 2017.
- Mazurek G., Iwański M., *Relaxation modulus of SMA with polymer modified and highly polymer modified bitumen*, MODERN BUILDING MATERIALS, STRUCTURES AND TECHNIQUES, Tom: 172, pp. 731-738, 2017.
- Iwański M., Cholewińska M., Mazurek G., *Viscoelastic properties of polymer modified bitumen in Warm Mix Asphalt technology in terms of ageing*, Procedia Engineering, t. 172, pp. 401-408, 2017.
- Mazurek G., Iwański M., *Estimation of Zero Shear Viscosity Versus Rutting Resistance Parameters of Asphalt Concrete*, World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium 2016, WMCAUS 2016, t. 161, pp. 30-35, 2016.
- Iwański M., Mazurek G., *Analysis of the effect of aging process on selected F-T wax modified bitumen*, The 9th International Conference "ENVIRONMENTAL ENGINEERING", 22-23 May 2014, Vilnius, Lithuania, t. 153, pp. 1-9, 2014.
- Iwański M., Mazurek G., *Optimization of the Synthetic Wax Content on Example of Bitumen 35/50*, MODERN BUILDING MATERIALS, STRUCTURES AND TECHNIQUES Book Series: Procedia Engineering, t. 57, pp. 414-423, 2013.



Kolejny zakres tematyczny, w ramach którego podejmowałem działania naukowe dotyczył analizy **charakterystyki reologicznej kompozytów mineralno-asfaltowych takich jak: beton asfaltowy czy SMA w technologii WMA**. Był to krok w przód z punktu widzenia możliwości prognozowania odkształcalności warstw asfaltowych znajdujących się w konstrukcji nawierzchni w oparciu o wykorzystanie modeli mechanicznych. W tym zakresie tematycznym szczególnie nacisk położyłem na liniową relację  $\sigma$ - $\epsilon$ , w której moduł sztywności ulegał zmianę w zależności od czasu obciążenia i temperatury (zakres LVE). W efekcie tego działania zostały przygotowane artykuły, które zostały opublikowane w czasopismach z listy JCR (Lista A):

- Mazurek G., Iwański M., *Applying of 2S2PID model for assessing viscoelastic properties of bituminous binder extracted from SMA mixture with hydrated lime addition*, CEMENT WAPNO BETON t. 23, z. 2, 2018.
- Iwański M., Mazurek G., *Rheological Properties of the bituminous binder extracted from SMA pavement with hydrated lime*, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, t. 11, z. 2, pp. 93-101, 2016.

Ponadto baza publikacji w tym zakresie tematycznym obejmowała również pozycje autorskie i współautorskie opublikowane w czasopismach z listy B:

- Mazurek G., *Implementation of the generalized viscoelastic Huet-Sayegh and Burgers model to determine the stiffness modulus of asphalt concrete*, Structure and Environment, t. 8, z. 4, pp. 237-242, 2017.
- Iwański M., Mazurek G., *Influence of F-T Synthetic Wax on Asphalt Concrete Permanent Deformation*, Archives of Civil Engineering, t. 59, z. 3, pp. 295-312, 2013.
- Iwański M., Mazurek G., *Synthetic Wax Effect on the Resilient Stiffness Modulus of Asphalt Concrete*, Drogi i Mosty, T. 11, Z. 3, pp. 233-248, 2012.

Na szczególną uwagę zasługują artykuły, które **dotyczyły oceny wpływu wapna hydratyzowanego** na właściwości asfaltu oraz mieszanek mineralno-asfaltowych. Koncepcja aplikacji wapna hydratyzowanego nie jest nowa. Nie mniej jednak mechanizm oddziaływania wapna hydratyzowanego na reologię materiałów drogowych zawierających asfalt jako spoiwo nie został do końca poznany. Jego korzystny wpływ na wzrost sztywności masyksu został również uwzględniony w monografii autora. Przebudowa ulicy Żelaznej w Kielcach w 2011 r. pozwoliła na dokonanie analizy porównawczej wpływu wapna hydratyzowanego na asfalt oraz na warstwę SMA wykonaną w 1999 roku. W ciągu 12 lat eksploatacji nawierzchnia SMA była bez przerwy obserwowana zgodnie z wymaganiami SOSN. Stwierdzono bardzo korzystny wpływ dodatku wapna jako hydratu na właściwości jej powierzchni, nie wykazywała ona wyluszczeń ziaren kruszywa, ubytków masyksu lub uszkodzeń spowodowanych oddziaływaniem wody i mrozu. Mieszanka mineralno-asfaltowa została zaprojektowana jako SMA 0/12,8 przeznaczona na ruch KR4 zgodnie z wymaganiami wytycznych IBDiM. W ramach projektu badawczego, w którym byłem uczestnikiem, zatytułowanego *Effect of hydrated lime on the properties of SMA pavement (mixture) at Żelazna street Kielce* wspólnie z konsorcjum European Lime Association in Brussels został zrealizowany projekt badawczy w 2011 roku, mający na celu określenie długotrwałego wpływu wapna hydratyzowanego na właściwości asfaltu. Badania wykonane w oparciu o materiał pozyskany w trakcie przebudowy ulicy został również poddany analizie mającej na celu aplikację zmodyfikowanego modelu Huet-Sayegh (2S2PID). W rezultacie wykonanych badań powstało kilka publikacji naukowych, które tematycznie związane były z **oceną wpływu wapna hydratyzowanego na właściwości asfaltu i mieszanki SMA**. Poniżej przedstawiono zbiór artykułów dotyczący tego zakresu tematycznego z listy A (JCR) i listy B:

- Mazurek G., Iwański M., *Applying of 2S2PID model for assessing viscoelastic properties of bituminous binder extracted from SMA mixture with hydrated lime addition*, CEMENT WAPNO BETON t. 23, z. 2, 2018 (lista A).
- Mazurek G., Iwański M., *Wpływ wapna hydratyzowanego na właściwości reologiczne lepiszcza odzyskanego z asfaltowej mieszanki masyksowo-grysowej*, Cement Wapno Beton, t. 19/81, z.: 6, pp. 376-383, 2014 (lista A).



- Iwański M., Mazurek G., *Hydrated Lime Effect on Rutting Resistance of SMA Pavements, Roads and Bridges*, t. 12, z. 4, pp. 361-383, 2013 (**lista B**).

W ramach badań nad reologią mieszanek mineralno-asfaltowych z wykorzystaniem w ich składzie wapna hydratyzowanego powstał szereg publikacji, których byłem współautorem, wygłoszonych w języku angielski na kilku konferencjach międzynarodowych. Wśród nich można wyróżnić:

- Mazurek G., Nowakowski K., *The Evaluation of SMA Mixture Properties with the Surface-active Agent in WMA Technology*, 7th Scientific-Technical Conference on Material Problems in Civil Engineering MATBUD, t. 108, pp. 22-29, 2015.
- Iwański M., Mazurek G., *Hydrated Lime as the Anti-aging Bitumen Agent*, 11th International Conference on Modern Building Materials, Structure and Techniques, Vilnius, MBMST 2013, ELSEVIER, t. 57, pp. 424-432; 2013.

**Recykling głęboki „na zimno” z asfaltem spienionym** jest technologią, w rozwój której Katedra Inżynierii Komunikacyjnej pod kierownictwem prof. Marka Iwańskiego w Politechnice Świętokrzyskiej ma w Polsce największy wkład oraz dorobek naukowy. W ramach działań związanych z badaniem reologii asfaltu z woskiem syntetycznym F-T poddanego procesowi spieniania doprowadziło do uzyskania patentu, którego jestem współautorem:

- Iwański M., Chomicz-Kowalska A., Mazurek G., *Sposób wytwarzania betonu asfaltowego w technologii obniżonej temperatury*, **Patent Nr. 219042**, 2014.

W ramach rozwoju technologii recyklingu głębokiego brałem udział w wielu pracach badawczych, jako członek zespołu odpowiedzialny za badania i analizę reologii mieszanek recyklowanych. Jako współautor przyczyniłem się do powstania kilku publikacji naukowych z tego zakresu, które zostały opublikowane w prestiżowych czasopismach z **listy A**, ale i również z **listy B**:

- Iwański M., Buczyński P., Mazurek G., *Optimization of the road binder used in the base layer in the road construction*, Construction and Building Materials, t. 125, pp. 1044-1054, 2016 (**Lista A**).
- Iwański M., Buczyński P., Mazurek G., *The use of gabbro dust in the cold recycling of asphalt paving mixes with foamed bitumen*, Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences, t. 64, z. 4, pp. 763-773, 2016 (**Lista A**).
- Buczyński P., Mazurek G., Wodoodporność recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym w aspekcie składu spoiwa drogowego, Budownictwo i Architektura, t. 15, z. 1, pp. 19-29, 2016 (**lista B**).
- Buczyński P., Iwański M., Mazurek G., *Charakterystyka zmęczenia recyklowanej podbudowy w aspekcie kontrolowanych naprężeń metodą IT-FT*, Budownictwo i architektura, t. 13, z. 4, pp. 109-116, 2014 (**lista B**).

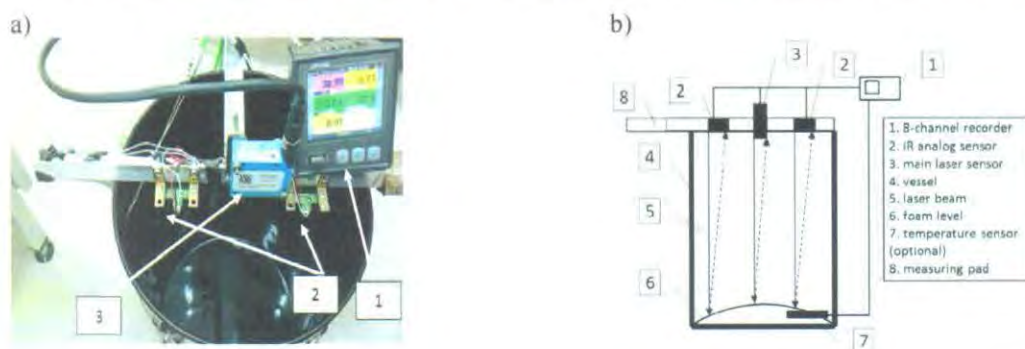
Artykuły tematycznie związane z recyklingiem głębokim z asfaltem spienionym zostały również zaprezentowane na konferencjach zagranicznych:

- Iwański M., Buczyński P., Mazurek G., *Evaluation of the impact of waste materials and recycled materials on the properties recycled cold mix with foamed bitumen*, International Anniversary Scientific and Technical Conference - "Highways: Safety and Reliability", t. 2, pp. 68-80, 2018.
- Iwański M., Buczyński P., Mazurek G., *The water resistance recycled base with the foamed bitumen in the aspect of hydraulic road binder*, Eurasphalt & Eurobitume Congress, 2016.
- Iwański M., Buczyński P., Mazurek G., *Statistical evaluation of water and frost resistance of deep cold recycled bases with foamed bitumen, hydrophobic activators and fines*, 3rd International Conference on Transportation Infrastructure. Pisa, ITALY, pp. 203-212, 2014 (**WoS**).

Na uwagę zasługują badania, które odnosiły się bezpośrednio do **badan reologicznych asfaltu poddanego procesowi spieniania**. Uwzględniając liczne publikacje, autorzy podjęli się zadania zmodyfikowania metody badawczej współczynnika ekspansji (ER). Znakomita większość badań dostępnych w literaturze opierała się na pomiarze piany asfaltowej za pomocą pręta pomiarowego.



W propozycji zawartej w artykule pomiar zmiany objętości piany asfaltowej wykonano za pomocą zestawu czujników pomiarowych. Prototyp urządzenia pomiarowego przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Prototyp urządzenia pomiarowego parametrów asfaltu spienionego: a) widok urządzenia; b) schemat ideowy

Jako członek zespołu badawczego miałem za zadanie ocenę parametrów spieniania po procesie spieniania. Uwzględnienie zjawiska starzenia w procesie spieniania asfaltu było podejściem innowacyjnym i wynikającym z badań własnych wykonanych na Politechnice Świętokrzyskiej. Ponadto cyfrowy układ pomiarowy pozwolił mi na sformułowanie koncepcji modelu matematycznego pozwalającego na predykcję parametrów procesu spieniania asfaltu, czyli  $ER_{max}$  (maksymalna ekspansja) oraz HL (czas półtrwania). Model ten miał postać (14):

$$ER(t) = 1 + \frac{ER_{max}}{1 + \left(\frac{t}{HL}\right)^c} \quad (14)$$

Charakterystyka rozwiązania oraz wszystkie szczegółowe informacje i wnioski zostały opublikowane w prestiżowym czasopiśmie *Materials* (**Lista A**):

- Iwański M., Mazurek G., Buczyński P., *Bitumen Foaming Optimization Process on the Basis of Rheological Properties*, *Materials*, t. 11, z. 10, pp. 1-20, 2018.

Należy mocno podkreślić, że analizy wyników badań były zawsze oparte na technikach i metodach wnioskowania statystycznego. Wiedza z zakresu wykorzystywania wnioskowania statystycznego, będąca obiektem moich zainteresowań, była ustawicznie poszerzana poprzez liczne warsztaty i szkolenia doskonalące z zakresu wykorzystania pakietu „Statistica” (załącznik 4). Na szczególną uwagę zasługują podejmowane przeze mnie działania, mające na celu aplikację zagadnień statystyki, w całym okresie mojej działalności naukowej, w zakresie:

- eksploracje danych (Data Mining, PCA),
- planowanie eksperymentu,
- sieci neuronowe.

Ponadto, wielokrotnie zarówno w monografii jak i artykułach wykorzystywano zaawansowane metody estymacji parametrów modeli nieliniowych, gdzie funkcja obiektu badań nie była liniowa względem jego parametrów. Często w swoich badaniach dla uzyskania założonego efektu i skuteczności rozwiązania w postaci oczekiwanych właściwości materiału wykorzystywałem zaawansowane techniki optymalizacji, a w szczególności w trakcie planowania eksperymentu. W rezultacie, zastosowanie technik wnioskowania statystycznego owocowało powstaniem kilku publikacji autorskich oraz współautorskich, gdzie byłem odpowiedzialny za przygotowanie części analitycznej:

- Mazurek G., Iwański M., *Multidimensional Analysis of the Effects of Waste Materials on Physical and Mechanical Properties of Recycled Mixtures with Foamed Bitumen*, *APPLIED SCIENCES-BASEL*, Tom: 8, z. 2, pp. 1-19, 2018 (**lista A**).



- Mazurek G., Stępień M., *Modelowanie poziomu hałasu drogowego na podstawie długookresowych pomiarów ciągłych*, Drogownictwo, z. 4, pp. 111-117, 2016 (**Lista B**).
- Mazurek G., *Zastosowanie sztucznej sieci neuronowej Kohonena przy monitorowaniu stanu infrastruktury drogowej*, Logistyka, z. 4, 2015.

Zaprezentowany do tej pory dorobek naukowy był czynnikiem, który zainicjował główny nurt prowadzonych przeze mnie badań nad asfaltami i mieszankami mineralno-asfaltowymi. Od roku 2016 tematyka jaką podejmowałem w swojej pracy naukowej koncentrowała się głównie na **modelowaniu właściwości materiałów drogowych za pomocą różnych funkcji lepkości**. W początkowej części mojej pracy naukowej skupiałem się nad zakresem liniowej lepkości. Identyfikacja parametrów funkcji lepkości na podstawie modeli matematycznych, a w szczególności mechanicznych przyczyniła się do zakończonych sukcesem prób aplikacji jej rezultatów w programie numerycznym ABAQUS. W efekcie zostały przygotowane współautorskie artykuły w języku angielskim i zaprezentowane na indeksowanych konferencjach w bazie **WoS**:

- Mazurek G., Iwański M., *Structural strength assessment of the reconstructed road structure in terms of the loading time and yield criterion*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, t. 568, 2018 (**WoS**).
- Mazurek G., Iwański M., *Modelling of Asphalt Concrete Stiffness in the Linear Viscoelastic Region*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, t. 245, 2017 (**WoS**).

Ponadto, rezultaty jakie uzyskano miały również wydźwięk praktycznego wykorzystania w zastosowaniach inżynierskich. Rezultaty były prezentowane co roku na konferencji „*Krakowskie Dni Nawierzchni*” w latach 2016-2018. Należy dodać, że identyfikacja parametrów funkcji lepkości na podstawie badań wykonywanych w urządzeniu UTM 25 pozwalała mi na implementację właściwości reologicznych do interpretacji przyczyn awarii konstrukcji drogowej, będących przedmiotem wielu zleceń przekazywanych do zrealizowania w Katedrze Inżynierii Komunikacyjnej.

W zasadniczym okresie mojego rozwoju naukowego, szczególną uwagę zwróciłem na aspekty wpływu **mastyksu asfaltowego** na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych. Powodem tego działania były liczne obserwacje i badania materiałów drogowych, w których zakres liniowej lepkości pod względem granicznej wartości naprężeń lub odkształceń był wielokrotnie przekraczany. Potrzeba analizy mastyksu wynikała z doświadczeń jakie uzyskałem na podstawie badań różnych pyłów w zakresie badań materiałów stosowanych do technologii recyklingu głębokiego. Nie mniej jednak badania asfaltu i jego wpływ na predykcję mma szczególnie w zakresie wysokich temperatur okazały się niewystarczające. Ponadto przewidywanie zachowania mma na podstawie pomiaru właściwości asfaltu jak i mastyksu w zakresie LVE nie zawsze było zbieżne z wynikami, jakie uzyskiwano w rzeczywistych warunkach. W związku z tym moją uwagę przyciągnęły liczne teorie na temat modelowania właściwości materiałów z wykorzystaniem modelu **nieliniowej lepkości**. W okresie od 2017 prowadziłem badania z wykorzystaniem różnych wypełniaczy w celu uzyskania kompozycji mastyksu. W rezultacie tych działań powstały publikacje w języku angielskim wygłoszone na międzynarodowych konferencjach naukowo-technicznych indeksowanych przez bazę **WoS**:

- Mazurek G., Iwański M., *Modelling the critical concentration of mixed filler in mastic with synthetic wax*, MATEC Web of Conferences, t. 262, 2019.
- Mazurek G., *Rheological Properties of Mastic with the Addition of Synthetic Wax and Hydrated Lime within the Viscoelastic Region*, IOP Materials Science and Engineering, t. 471, z. 032035, 2019.

W tym nurcie tematycznym wykorzystano również do badań mieszanki betonu asfaltowego i poddano je dużym naprężeniom osiowym w zakresie nieliniowej relacji  $\sigma$ - $\epsilon$ . Aby zidentyfikować stan nieliniowy wykorzystano rzadko stosowaną w Polsce zasadę sprężysto-lepkości opartą na przedstawieniu wyników w przestrzeni naprężenia-pseudoodkształcenia. Identyfikacja nieliniowego zakresu była punktem wyjścia do kontynuowania badań nad mastyksem. Powodem tego było



spostrzeżenie, że stan graniczny w mma w wysokiej temperaturze jest wywołany przede wszystkim przekroczeniem zakresu LVE w mastyksie. Niniejsza zasada wykorzystująca pseudoodkształcenia jest zastosowana w prognozowaniu trwałości w ujęciu modelu VEPCD (ang. viscoelstioelastic continuum damage model), opartego na sumie dwóch typów równań wynikających z: teorii sprężystości z wykorzystaniem pseudoodkształceń i modelu umocnienia odkształceniowego opartego na teorii *Work Potential Theory*. Aplikacja niniejszego podejścia w prognozowaniu mma skutkowałą powstaniem publikacji:

- Mazurek G., Pszczoła M., Szydłowski M., Nieliniowa charakterystyka mastyksu na podstawie zmodyfikowanej metody MSCR, *Structure and Environment*, z. 2, 2019 (**lista B**).
- Mazurek G., Iwański M., *Analysis of selected properties of asphalt concrete with synthetic wax*, *BULLETIN OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES-TECHNICAL SCIENCES*, t. 66, z. 2, pp. 217-228, 2018 (**lista A**).

Należy podkreślić, że moja aktywność naukowa wciąż ewoluuje. Wszystkie działania, mające na celu wykonanie szeregu badań i analiz materiałów drogowych w zakresie nieliniowej lepkości sprężystości, w ostatecznej formie doprowadziły do sformułowania celów i następnie sprzyjały realizacji zadania przedstawionego jako główne osiągnięcie naukowe w formie związanej monografii pt. „*Liniowa i nieliniowa lepkość sprężysta charakterystyka mastyksu asfaltowego w zakresie wysokich temperatur eksploatacyjnych nawierzchni*”.

### 5.1.3. Podsumowanie osiągnięć naukowo-badawczych oraz charakterystyka osiągnięć organizatorskich i dydaktycznych

Podsumowanie mojego dorobku naukowego oraz działalności zawodowej chciałbym przedstawić z dwóch perspektyw: *jakościowej i ilościowej*. Pierwsza z nich to wskazanie zrealizowanych osiągnięć a druga to sposób ich realizacji, co można utożsamić z liczbą artykułów, które jako autor/współautor zrealizowałem.

Badania prowadzone w tym zakresie tematycznym pozwoliły mi na konsolidację zainteresowań naukowych, w których mogłem efektywnie połączyć wiedzę i doświadczenia z zakresu reologii materiałów drogowych oraz zaawansowanych technik statystycznych. Dzięki temu mogłem się wpisać w dyskurs prowadzony w świecie, dotyczący roli jaką spełnia mastyks w mma. Artykuły opracowane w zakresie tematycznym związanym z aspektami:

- reologii asfaltów,
- reologii mieszanek mineralno-asfaltowych w technologii WMA, w tym z dodatkiem wapna hydratyzowanego,
- technologii recyklingu głębokiego,
- modelowania właściwości materiałów drogowych w zakresie liniowej i nieliniowej lepkości sprężystości,

były wielokrotnie cytowane w artykułach innych autorów w Polsce i na świecie. Sumarycznie liczba cytowań moich prac autorskich i współautorskich zgodnie z *Cited Reference Index* według bazy **Web of Science (WoS)**<sup>1</sup> wynosiła **75**. Natomiast według bibliograficznej bazy **Scopus**<sup>2</sup> wynosi **114** natomiast

<sup>1</sup> Zestawienie dostępne pod adresem:

[https://apps.webofknowledge.com/CitationReport.do?product=WOS&search\\_mode=CitationReport&SID=D4x bdPQLzefrnf2Cded&page=1&cr\\_pqid=5&viewType=summary&colName=WOS](https://apps.webofknowledge.com/CitationReport.do?product=WOS&search_mode=CitationReport&SID=D4x bdPQLzefrnf2Cded&page=1&cr_pqid=5&viewType=summary&colName=WOS) (z dn. 15.04.2019)

<sup>2</sup> Zestawienie dostępne pod adresem:

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55360853500&eid=2-s2.0-85050679875> (z dn. 15.04.2019)



według **Google Scholar**<sup>3</sup> wynosi **170**. **Indeks Hirscha** opublikowanych prac, w których jestem autorem/współautorem wynosił:

- według bazy WoS: h-indeks = 6,
- według bazy Scopus: h-indeks = 6,
- według bazy Google Scholar: h-indeks = 7.

Dotychczasowy dorobek naukowo-badawczy obejmuje **66 publikacji**<sup>4</sup>, w których byłem autorem lub współautorem. Szczegółowe ich zestawienie zamieszczono w załączniku 4. W ich skład wchodzi **12 publikacji znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)**. Wśród nich jestem autorem **1 samodzielnej publikacji z listy JCR zgłoszonej i wstępnie przyjętej przez redakcję czasopisma „Materials”**.

Zgromadzona przeze mnie liczba punktów za publikacje brane pod uwagę do parametryzacji według listy **MNiSW**<sup>5</sup> wynosi **545**, natomiast uwzględniając udział innych autorów sumaryczna liczba punktów wynosi 268,84.

Mój dorobek, poza publikacjami indeksowanymi przez JCR, to szeregów artykułów wygłoszonych na konferencjach w języku polskim oraz angielskim. W ich zakres można zaliczyć **13 pozycji indeksowanych przez bazę WoS (w tym jedna zgłoszona w roku 2019)**, oraz 16 na niepunktowanych lecz znaczących konferencjach w Polsce i za granicą (m.in. Brazylia, Litwa, Turcja, Grecja, Włochy). Ponadto znaczną część dorobku obejmują publikacje z **listy B, których liczba wynosi 11**. Ponadto dwa artykuły zostały zamieszczone w monografiach.

**Sumaryczny Impact Factor publikacji naukowych według listy Journal Citation Report (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania, będący efektem mojego autorstwa i współautorstwa wynosi IF = 12,410.**

W okresie mojej pracy dotyczącej sfery naukowo-badawczej brałem udział w realizacji kilku projektów, które były finansowane ze środków krajowych oraz Unii Europejskiej. Zasadniczym celem była implementacja rezultatów badań nad materiałami drogowymi w ujęciu nowoczesnych rozwiązań lub racjonalizacja obecnych technologii stosowanych w drogownictwie. Moja działalność popularyzatorska była łączona z moją aktywnością naukową przejawiającą się poprzez aktywny udział w konferencjach krajowych i co najważniejsze na konferencjach i seminariach zagranicznych. Mój udział w krajowych i zagranicznych konferencjach naukowo-technicznych nie ograniczał się wyłącznie na publikacji treści naukowych w indeksowanych bazach czasopism naukowych. W moim dorobku znajdują się również liczne wystąpienia na konferencjach naukowo-technicznych mające na celu popularyzację rezultatów działalności naukowej realizowanej na Politechnice Świętokrzyskiej. Wśród nich jest udział od 2016 roku w konferencjach pt. „Krakowskie Dni Nawierzchni”, ponadto brałem udział w konferencjach organizowanych przez związek SITK w Kielcach i w Białymstoku, PSWNA oraz udział podczas organizacji seminarium naukowego w 2018 roku Sekcji Inżynierii Materiałów Budowlanych Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN odbywającego się na terenie Politechniki Świętokrzyskiej. W czasie odbywania się dwóch konferencji organizowanych przez SITK pełniłem funkcję przewodniczącego/wiceprzewodniczącego sesji tematycznej.

<sup>3</sup> Zestawienie dostępne pod adresem:

[https://scholar.google.com/citations?hl=pl&user=QIm\\_oikAAAAJ&view\\_op=list\\_works&gmla=AJsN-F5QCvWpAYI\\_QEFP9j1NurEoWuLqsqYNkfnXjc2aC1wEr7hAfFcdkdc-yhOxYgvXVu4rgzezAUvjUd9V0E3M7997BxsQFZxBbyNLukOzyxtlQzgryl](https://scholar.google.com/citations?hl=pl&user=QIm_oikAAAAJ&view_op=list_works&gmla=AJsN-F5QCvWpAYI_QEFP9j1NurEoWuLqsqYNkfnXjc2aC1wEr7hAfFcdkdc-yhOxYgvXVu4rgzezAUvjUd9V0E3M7997BxsQFZxBbyNLukOzyxtlQzgryl) (z dn. 01.04.2019)

<sup>4</sup> Zestawienie dostępne pod adresem:

<http://www.dorobek.tu.kielce.pl/publikacje/publikacje.php?nazwisko=Mazurek&imie=Grzegorz>

<sup>5</sup> Według punktacji MNiSW z dnia 01.04.2019



Od roku 2011 byłem członkiem zespołu, mającego za zadanie realizować trzy projekty badawcze. Pierwszy z nich został zakończony w 2012 roku. Liderem tego konsorcjum naukowego była Politechnika Łódzka. Projekt zatytułowany: „*Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju*” był realizowany w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. Zadaniem Politechniki Świętokrzyskiej była realizacja zadania TB 4.3 pt. „*Recykling na zimno konstrukcji nawierzchni drogi z zastosowaniem technologii asfaltu spienionego*”. W efekcie tego projektu zostały zainicjowane i realizowane zadania związane z badaniami nad reologią asfaltów. W roku 2016 zostały rozpoczęte prace badawcze w ramach programu Rozwój Innowacji Drogowej (RID) zatytułowanego „*Wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu*”, finansowanego przez NCBiR oraz GDDKiA. W skład konsorcjum naukowego wchodziły cztery instytucje naukowo-badawcze. W ramach tego projektu zespół Politechniki Świętokrzyskiej, w którego byłem członkiem, realizował dwa zadania. Pierwsze z nich oznaczone nr 5 było zatytułowane: „*Wykorzystanie materiałów z recyklingu w mieszankach mineralno-asfaltowych na zimno i półciepło z asfaltem spienionym*”. Niniejsze zadanie było realizowane samodzielnie przez zespół Politechniki Świętokrzyskiej. Natomiast drugie zadanie oznaczone nr 7 zatytułowane „*Recykling materiałów odpadowych z przemysłu hutniczego, stalowego, włókienniczego*” było realizowane wspólnie w innych konsorcjach. Projekt ten został zakończony w pierwszym kwartale 2018 roku. W ramach tego projektu, w którym brałem udział, zdefiniowano cztery grupy podobieństw pod względem cech fizyczno-mechanicznych mieszanek recyklowanych z materiałami odpadowymi. Opracowany model empiryczny pozwala na zakwalifikowanie dowolnej mieszanki recyklowanej do jednej z grup ustalonych w eksperymencie i dokonania oceny jej przydatności do wykorzystania. W rezultacie na podstawie modelu, będącego efektem zastosowania statystycznych technik eksploracji danych, można określić trwałość dowolnej innej mieszanki w konfrontacji z relacjami ustalonymi w badaniach. Zaproponowany model i metodyka zostały opisane w artykule:

- Mazurek G., Iwański M., *Multidimensional Analysis of the Effects of Waste Materials on Physical and Mechanical Properties of Recycled Mixtures with Foamed Bitumen*, APPLIED SCIENCES-BASEL, Tom: 8, z. 2, pp. 1-19, 2018 (lista A).

Trzeci projekt, którego jestem członkiem, jest obecnie realizowany. Projekt ten jest zatytułowany „*Innowacyjna technologia wykorzystująca optymalizację środka wiążącego przeznaczonego do recyklingu głębokiego na zimno konstrukcji nawierzchni zapewniając jej trwałość zmęczeniową*” i jest realizowany w ramach programu „*Nowoczesne technologie materiałowe – TECHMATSTRATEG I*”. Liderem konsorcjum naukowego w niniejszym projekcie, finansowanym przez NCBiR, jest Politechnika Świętokrzyska. Planowany okres trwania projektu wynosi 36 miesięcy. Należy dodać, że jestem również członkiem zespołu mającego za zadanie realizować kolejny projekt finansowany przez NCBiR w ramach programu TECHMATSTRATEG II pt. „*Nowoczesne Technologie Materiałowe*” - *Technologia wytwarzania innowacyjnych wysokowytrzymałych kompozytów asfaltowych zbrojonych włóknami, z przeznaczeniem do budowy nowych i modernizacji istniejących dróg o zwiększonej trwałości eksploatacyjnej*”. Planowany termin rozpoczęcia projektu jest przewidywany na II kwartał 2019 roku.

W całym okresie mojej pracy na Politechnice Świętokrzyskiej brałem udział w **5 projektach badawczych o charakterze prac statutowych/własnych tematycznie związane z moją działalnością naukowo-badawczą** na Politechnice Świętokrzyskiej. W czterech z nich byłem kierownikiem. Ich zakres był ściśle związany z tematem realizowanej przeze mnie pracy doktorskiej. Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora środki przyznane mi na realizację celów naukowych, ściśle związanych działalnością naukową przyczyniły się do napisania monografii habilitacyjnej. W obszarze tematycznym realizowanych celów naukowych prace te przyczyniły się do publikacji szeregu artykułów z zakresu modelowania właściwości materiałów drogowych za pomocą liniowych i nieliniowych modeli



lepkosprężystych. Szczegółowy wykaz niniejszych projektów badawczych zamieszczono w załączniku 4.

Oprócz projektów badawczych moja działalność naukowa łączona jest również ze współpracą z przemysłem. Współpraca z przemysłem pozwala mi na unikatową możliwość implementacji moich rozwiązań oraz doświadczeń w zakresie drogowej inżynierii materiałowej w branży drogowej w wymiarze praktycznym. Efektem takich działań było moje uczestnictwo, w ramach wygranego konkursu, w projekcie współfinansowanym przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego i zorganizowanego przez Świętokrzyską Izbę Przemysłowo-Handlową w Kielcach na podstawie umowy ze Świętokrzyskim Biurem Rozwoju Regionalnego w Kielcach w 2012 roku na okres 6 miesięcy. Projekt był zatytułowany *Świętokrzyski Transfer Wiedzy – wiedza i praktyka dla rozwoju gospodarki*. Rezultaty jakie uzyskano w ramach prac nad technologią mas na zimno dotyczyły optymalizacji nowej mieszanki w technologii na zimno. Główną koncepcją, jaka przyświecała przystąpieniu do tego programu była możliwość zastosowania estrów kwasów tłuszczowych do asfaltu w mieszance na zimno. Należy dodać, że proces estryfikacji oleju rzepakowego wykonałem samodzielnie. Uzyskany w ten sposób asfalt fluksowany, po zastosowaniu zaawansowanych i wielokrotnie przeze mnie stosowanych technik optymalizacji, pozwalał na obniżenie kosztów wytwarzania mieszanki na zimno w stosunku do obecnych na rynku produktów. Produkt ten pozwalał na podniesienie konkurencyjności firmy, czyniąc jej działania innowacyjne. Informacje na temat rozwiązania racjonalizatorskiego zostały zamieszczone w formie wywiadu w *Biuletynie Świętokrzyskim* 4/2014, *ŚOIIB*. Prace te były realizowane wspólnie z przedsiębiorstwem na terenie województwa świętokrzyskiego. Efekty uzyskane w fazie I niniejszego projektu były podstawą do przedłużenia stażu i realizacji zadania II (objętego jako nowa oddzielna umowa). Jego celem było efektywne wdrożenie technologii mieszanki na zimno z estrami kwasów tłuszczowych wraz z uwzględnieniem destruktu asfaltowego. Okres realizacji tego stażu został określony na okres kolejnych 3 miesięcy.

W 2010 roku byłem członkiem zespołu realizującego projekt o charakterze rozwojowy. W ramach prac badawczo-rozwojowych POIR: Działanie 1.4-4.1 „Wsparcie projektów celowych oraz wsparcie wyników prac B+R” zostało zrealizowane działanie pozwalające na wprowadzenie do oferty firmy nowej technologii podnoszącej jej konkurencyjność na rynku. W rezultacie opracowano sprawozdanie pt. *„Badania i ocena stabilizacji gruntu za pomocą technologii asfaltu spienionego oraz spoiw kontrolnych”*.

W 2017 roku byłem odpowiedzialny za prowadzenie działań badawczo-rozwojowych mających na celu sporządzenie opracowania pt. *„Opracowanie wyników badań mających na celu zastosowanie wynalazku „Sposób wytwarzania betonu asfaltowego w technologii obniżonej temperatury” dla przedsiębiorstwa w województwie lubelskim*. W ramach tej pracy badawczej pełniłem funkcję kierownika.

Moja praca naukowa nie była zorientowana wyłącznie na uzyskanie efektów realizowanych w miejscu zatrudnienia na Politechnice Świętokrzyskiej. W roku 2015 odbyłem kilkudniowy wyjazd seminaryjny do Szwecji pn.: *„Energooszczędne budownictwo przyjazne dla środowiska – szansa na zdobycie przewagi konkurencyjnej”*, w ramach projektu *„Perspektywy RSI Świętokrzyskie – IV Etap”*. Wyjazd był realizowany w ramach programu Erasmus+, którego beneficjentem jest Politechnika Świętokrzyska. Wspólnie z jednostkami samorządowymi odbyły się liczne spotkania i seminaria w zakresie technologii proekologicznych, w której Katedra Inżynierii Komunikacyjnej ma liczne doświadczenia i sukcesy. Wyjazd ten pozwolił na wymianę doświadczeń na temat technologii wykorzystywanych w Polsce i w Szwecji. Poziom rozwiązań innowacyjnych w zakresie technologii przyjaznych środowisku w Polsce oraz duże doświadczenia na tym polu zrealizowane w Szwecji są czynnikiem, który pozwala na osiągnięcie wielu realnych korzyści wynikających z potencjalnej współpracy. Ponadto w 2017 roku byłem beneficjentem tygodniowego stażu na Uniwersytecie w Żylinie w ramach programu Erasmus+ w celu prowadzenia zajęć (Staff Mobility for Teaching). W ramach stażu na Katedrze Inżynierii Drogowej Uniwersytetu w Żylinie miałem niepowtarzalną okazję wymiany



doświadczeń na polu naukowym oraz możliwość zainicjowania przyszłej współpracy na polu badawczo-naukowym. Prowadzone zajęcia w języku angielskim z zakresu nowoczesnych technologii WMA spotkały się z dużym zainteresowaniem studentów w trakcie serii wykładów na Uniwersytecie w Żylinie.

W ramach pracy na Politechnice Świętokrzyskiej kierowałem lub byłem wykonawcą wielu opracowań technicznych, projektów badawczych, opinii i ekspertyz na zlecenie jednostek samorządowych. Beneficjentami zawiązanej współpracy były jednostki GDDKiA oddział w Kielcach, ŚZDW w Kielcach, MZD Kielce, PZD Kielce, UM Tarnobrzeg, UM Kielce, ZDW Kraków. Ponadto licząc grupę beneficjentów stanowiły przedsiębiorstwa drogowe w województwach: świętokrzyskim, śląskim, małopolskim, wielkopolskim, łódzkim, lubelskim, dolnośląskim.

Od roku 2015 wykonałem 26 recenzji artykułów naukowych nadesłanych przez redakcje naukowe prestiżowych czasopism posiadających Impact Factor, takich jak:

- Materials – 14;
- Applied Science – 1;
- Construction and Building Materials – 8;
- Materials & Design – 1;
- Coatings – 1;
- Buildings – 1.

Moje zaangażowanie oraz uznany poziom recenzji wykonanych dla czasopisma Materials została doceniony i w 2019 roku zostałem zaproszony do ściślejszej współpracy z czasopismem. Skutkiem tego jest status **Stalego Członka Rady Naukowej Recenzentów czasopisma Materials<sup>6</sup>**. Ponadto w mojej bazie osiągnięć znajduje się **wyróżnienie w postaci certyfikatu potwierdzającego wkład w zapewnienie wysokiej jakości merytorycznej czasopisma „Construction and Building Materials”**.

W 2014 roku zostałem powołany do sprawowania funkcji promotora pomocniczego dwóch przewodów doktorskich: mgr inż. Karola Nowakowskiego pt. „*Optymalizacja właściwości mieszanki SMA z dodatkiem THPP wykonywanej w obniżonej temperaturze*” oraz mgr inż. Małgorzaty Cholewińskiej pt. „*Wpływ procesu starzenia na właściwości lepiszcza asfaltowego stosowanego w technologii WMA*”. Realizowane wspólnie z doktorantami prace oraz działania naukowo-badawcze zaowocowały powstaniem 5 wspólnych publikacji. Cztery z nich zostały indeksowane w bazie WoS oraz Scopus jako materiały konferencyjne natomiast jedna została opublikowana w czasopiśmie z listy JCR. Należy dodać, że praca mgr inż. Karola Nowakowskiego została przekazana do publicznej obrony i obroniona na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej w 2017 roku. Natomiast praca doktorska mgr inż. Małgorzaty Cholewińskiej jest na etapie przekazywania do recenzentów.

W mojej pracy naukowej nie skupiałem się wyłącznie do podejmowaniu i realizowaniu ambitnych celów naukowych. Pewną część uwagi staram się poświęcać sprawom dydaktycznym i opiece nad studentami. Od roku 2012 roku sprawowałem funkcję promotora 46 prac magisterskich oraz 52 prac inżynierskich. Ponadto sprawowałem funkcję konsultanta stażu studentki Anny Ivanowej w 2017 z Moscow Automobile And Road Construction State Technical University (MADI), Faculty of Road and Technological Machines w zakresie metod mechanistycznych w analizie konstrukcji nawierzchni. Ponadto w ramach porozumienia wchodzącego w zakres akcji „Partnerstwo – Szkoła – Politechnika Świętokrzyska” w 2013 roku zostałem powołany jako opiekun Zespołu Szkół im. Stanisława Staszica w Staszowie. Celem akcji jest popularyzacja nowoczesnej wiedzy technicznej wśród uczniów szkoły

<sup>6</sup> Szczegółową listę recenzentów zamieszczono na stronie:

[https://www.mdpi.com/journal/materials/submission\\_reviewers](https://www.mdpi.com/journal/materials/submission_reviewers) (z dn. 15.04.2019)





średniej. Ponadto występowałem jako obserwator w czasie odbywających się egzaminów maturalnych. Należy zaznaczyć, że moja praca ze studentami nie ogranicza się wyłącznie do studentów zamieszkałych na terenie Polski. Pewną grupę stanowili również studenci z zagranicy: Hiszpani, Portugalii, Włoch i Turcji. Powierzenie mi opieki naukowej nad tymi osobami wynikało z mojej bardzo dobrej znajomości języka angielskiego, pozwalającej mi na zrozumiałe prowadzenie zajęć w języku angielskim. W obecnym czasie prowadzę zajęcia dla studentów z Polski i z zagranicy z następujących przedmiotów:

- Modern Bituminous Composites;
- Innovative Solutions for Road Technology.

Moje umiejętności są wciąż doskonałe, czego rezultatem jest zakwalifikowanie mojej kandydatury do specjalistycznego kursu „*Język angielski dla nauczycieli prowadzących zajęcia w języku angielskim*” w ramach projektu POWER 3.5. pt. „Politechnika Świętokrzyska nowoczesną uczelnią w europejskiej przestrzeni gospodarczej”.

Należy również zaznaczyć, że jestem współautorem i koordynatorem modułów nowej oferty przedmiotów, wprowadzonych do systemu kształcenia na Politechnice Świętokrzyskiej, w języku angielskim takich jak: *Modern Bituminous Composites* oraz w języku polskim: *Statystyka matematyczna dla Inżynierów* oraz *Reologia Materiałów Budowlanych dla studentów III stopnia studiów*, które osobiście prowadzę. W rezultacie za działalność naukową oraz na rzecz podnoszenia jakości kształcenia i działalność organizacyjną na rzecz Wydziału Budownictwa i Architektury w czasie swojej pracy naukowej zostałem nagrodzony trzykrotnie **nagrodami Rektora Politechniki Świętokrzyskiej** w 2012, 2016, oraz 2018.

Moje zadania związane z kwestiami dydaktycznym są łączone z działaniami na rzecz uczelni. W latach 2012-2016 zostałem powołany na pełnomocnika Dziekana ds. Współpracy z Zagranicą w funkcji **Koordynatora ds. Erasmus+ Wydziału Budownictwa i Architektury w Dziale Współpracy z Zagranicą**. Do moich obowiązków należało weryfikowanie podań osób zgłaszających wnioski wyjazdowe zarówno w grupie studentów jak i pracowników dydaktyczno-naukowych. Ponadto do moich zadań należało weryfikacja umów bilateralnych pomiędzy Politechniką Świętokrzyską a uczelniami takich krajów jak: Włochy, Wielka Brytania, Portugalia, Hiszpania, Turcja. Od roku 2016 jestem **członkiem Senackiej Komisji Współpracy Międzynarodowej**, której celem jest dbanie o jakość współpracy naukowej nawiązywanej przez Politechnikę Świętokrzyską.

Obecnie jestem członkiem Akredytowanego Laboratorium Materiałów Drogowych o numerze AB 1580 znajdującego się w strukturze Katedry Inżynierii Komunikacyjnej Wydziału Budownictwa i Architektury. Zakres laboratorium dotyczy, zgodnie z przyznaną akredytacją Polskiego Centrum Akredytacyjnego, oznaczeń parametrów mieszanek mineralno-asfaltowych oraz właściwości kruszyw. Z faktu posiadanych przeze mnie kwalifikacji, zostałem nominowany do pełnienia funkcji **Starszego Specjalisty ds. Szacowania Niepewności Pomiaru** w laboratorium akredytowanym. Moim zasadniczym zadaniem jest nadzór nad spójnością pomiarową urządzeń laboratoryjnych oraz wsparcie metodyczne Kierownika ds. Jakości w zakresie metrologii. Moja wiedza jest wciąż rozwijana w zakresie możliwości kontroli jakości urządzeń pomiarowych poprzez implementację *kart Shewharta* oraz licznych warsztatów w zakresie stosowania normy ISO 13528:2015.

Moją pracę naukową na Politechnice Świętokrzyskiej staram się również łączyć z działalnością inżynierską wykonywaną na rzecz innych podmiotów w branży drogowej. W latach od 2014 do 2017 odbywałem praktykę zawodową mającą na celu ubieganie się o uprawnienia budowlane. Praktykę tą realizowałem na stanowisku inżyniera budowy i byłem odpowiedzialny głównie za organizację procesu budowanego, opracowanie PZJ (Program Zapewnienia Jakości), nadzór nad robotami w zakresie merytorycznym, robót zanikających oraz opracowanie operatów kolaudacyjnych. Udokumentowana praktyka zawodowa została przyjęta przez Okręgową Komisję Kwalifikacyjną Świętokrzyskiej Izby Inżynierów Budownictwa oraz zostałem zakwalifikowany do przystąpienia do egzaminu na



Uprawnienia Zawodowe o specjalności Inżynierskiej Drogowej bez ograniczeń. Ponadto w zakresie działalności inżynierskiej współpracuję przy weryfikacji przyjętych rozwiązań konstrukcji nawierzchni z uwzględnieniem jej właściwości mechanicznych m.in. z firmą „Renowa” (w województwie małopolskim). Mój wkład dotyczy głównie podejścia mechanistycznego w projektowaniu konstrukcji z uwzględnieniem stanów granicznych w podłożu, wobec budowli drogowych posadowionych na terenach o złożonych warunków gruntowych. Pewna część mojej działalności dotyczy również optymalizacji rozwiązań związanych z materiałami drogowymi w zakresie ich właściwości fizykomechanicznych. Wśród ciekawych opracowań związanych również z moją pracą naukową była współpraca przy projekcie dwóch konstrukcji i wzmocnienia dwóch dróg na terenie Cementowni należącej do Grupy Ożarów S.A. we współpracy z firmą PGA Diag&Proj, DROKAR. Ponadto stale współpracuję z *Polskim Związkiem Producentów Kruszyw* w zakresie tłumaczeń technicznych anglojęzycznych dokumentów prawnych promowanych i wykorzystywanych przez członków PZPK. W aspekcie popularyzatorskim byłem współorganizatorem szkolenia wykonanego dla firmy „Konimpex” będącej jednym z największych dystrybutorów polimerów stosowanych do modyfikacji asfaltów.

Szczegółowy wykaz moich wszystkich prac naukowych i zawodowych opublikowanych autorsko/współautorsko w tym osiągnięcia dydaktyczne, współpracy naukowej z innymi jednostkami, popularyzacji nauki, działań na rzecz Politechniki Świętokrzyskiej przedstawiłem w Załączniku 4 stanowiącym część wniosku. Sumarycznie w tablicy 1, tablicy 2, tablicy 3 oraz tablicy 4 przedstawiłem podsumowanie wszystkim moich osiągnięć na polu naukowo-badawczym, popularyzatorskim i organizacyjnym.

Tablica 1 dotyczy podsumowania ilościowego w postaci sumarycznego wskaźnika Imapet Factor. W tablicy 2 i 3 przedstawiono sumaryczną liczbę punktów przypisanych publikacjom w tym publikacjom brany pod uwagę przy ocenie parametryzacji jednostki naukowej według MNiSW. Natomiast w tablicy 4 zostały zestawione efekty dotyczące kryteriów oceny osiągnięć określone przez 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.

Tablica 1. Lista publikacji opublikowanych w czasopismach indeksowanych w bazie JCR.

| Lp.                   | Czasopismo                                                        | Rok  | Impact Factor<br>(zgodnie z rokiem<br>opublikowania) |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------|
| 1                     | Applied Sciences-Basel                                            | 2017 | 1,689                                                |
| 2                     | Baltic Journal of Road and Bridge Engineering                     | 2018 | 0,622                                                |
| 3                     | Baltic Journal of Road and Bridge Engineering                     | 2016 | 0,698                                                |
| 4                     | Bulletin of the Polish Academy of Sciences<br>Technical Sciences  | 2014 | 0,914                                                |
| 5                     | Bulletin of The Polish Academy of Sciences-<br>Technical Sciences | 2018 | 1,361                                                |
| 6                     | CEMENT WAPNO BETON                                                | 2018 | 0,468                                                |
| 7                     | CEMENT WAPNO BETON                                                | 2014 | 0,304                                                |
| 8                     | Construction and Building Materials                               | 2016 | 3,169                                                |
| 9                     | Materials                                                         | 2018 | 2,467                                                |
| 10                    | Materials*                                                        | 2019 |                                                      |
| 11                    | Polimery                                                          | 2015 | 0,718                                                |
| <b>Sumaryczny IF:</b> |                                                                   |      | <b>12,410</b>                                        |



Tablica 2. Lista publikacji z przyporządkowaną punktacją MNiSW po uzyskaniu stopnia naukowego doktora.

| Lp. |                                                                                | Czasopismo/publikacja                                                                | Rok  | Liczba punktów publikacji MNiSW branych pod uwagę przy ocenie parametryzacji jednostki naukowej | Liczba punktów publikacji MNiSW z uwzględnieniem podziału na współautorów |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Artykuły z listy A według MNiSW                                                | Materials*                                                                           | 2019 | 35                                                                                              | 35                                                                        |
| 2   |                                                                                | The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering                                    | 2018 | 20                                                                                              | 6,67                                                                      |
| 3   |                                                                                | Cement Wapno Beton                                                                   | 2018 | 15                                                                                              | 7,5                                                                       |
| 4   |                                                                                | Bulletin Of The Polish Academy Of Sciences-Technical Sciences                        | 2018 | 20                                                                                              | 10                                                                        |
| 5   |                                                                                | Applied Sciences-Basel                                                               | 2018 | 25                                                                                              | 17,5                                                                      |
| 6   |                                                                                | Materials                                                                            | 2018 | 35                                                                                              | 14                                                                        |
| 7   |                                                                                | The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering                                    | 2016 | 20                                                                                              | 10                                                                        |
| 8   |                                                                                | Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences                       | 2016 | 20                                                                                              | 10                                                                        |
| 9   |                                                                                | Construction and Building Materials                                                  | 2016 | 40                                                                                              | 12                                                                        |
| 10  |                                                                                | Polimery                                                                             | 2015 | 15                                                                                              | 7,5                                                                       |
| 11  |                                                                                | Cement Wapno Beton                                                                   | 2014 | 15                                                                                              | 7,5                                                                       |
| 12  |                                                                                | Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences                        | 2014 | 25                                                                                              | 12,5                                                                      |
| 13  |                                                                                | Polimery, tom 57, zeszyt 9, strony 661-664                                           | 2012 | 10                                                                                              | 5                                                                         |
| 14  | Artykuły z listy B według MNiSW                                                | Structure and Environment                                                            | 2019 | 9                                                                                               | 9                                                                         |
| 15  |                                                                                | Autostrady                                                                           | 2019 | 5                                                                                               | 1,67                                                                      |
| 16  |                                                                                | Structure and Environment                                                            | 2017 | 9                                                                                               | 9                                                                         |
| 17  |                                                                                | Drogownictwo                                                                         | 2016 | 5                                                                                               | 2,5                                                                       |
| 18  |                                                                                | Budownictwo i Architektura                                                           | 2016 | 6                                                                                               | 2                                                                         |
| 19  |                                                                                | Drogownictwo                                                                         | 2015 | 5                                                                                               | 5                                                                         |
| 20  |                                                                                | Budownictwo i architektura                                                           | 2014 | 3                                                                                               | 1                                                                         |
| 21  |                                                                                | Budownictwo i Architektura                                                           | 2014 | 3                                                                                               | 1                                                                         |
| 22  |                                                                                | Roads and Bridges                                                                    | 2013 | 4                                                                                               | 2                                                                         |
| 23  |                                                                                | Archives of Civil Engineering                                                        | 2013 | 6                                                                                               | 3                                                                         |
| 24  |                                                                                | Drogi i Mosty                                                                        | 2012 | 5                                                                                               | 2,5                                                                       |
| 25  | Prawa patentowe                                                                | Patent: PL 219042 B1                                                                 | 2014 | 30                                                                                              | 10                                                                        |
| 26  | Recenzowane publikacje konferencji międzynarodowych indeksowane przez bazę WoS | IOP Materials Science and Engineering, WMCAUS*                                       | 2019 | 15                                                                                              | 5                                                                         |
| 27  |                                                                                | MATEC Web of Conferences                                                             | 2019 | 15                                                                                              | 7,5                                                                       |
| 28  |                                                                                | IOP Materials Science and Engineering, WMCAUS                                        | 2019 | 15                                                                                              | 15                                                                        |
| 29  |                                                                                | IOP Conference Series: Conference on Resilient and Safe Road Infrastructure (KIELCE) | 2018 | 15                                                                                              | 7,5                                                                       |
| 30  |                                                                                | Procedia Engineering                                                                 | 2017 | 15                                                                                              | 5                                                                         |
| 31  |                                                                                | Modern Building Materials, Structures And Techniques, MBMST                          | 2017 | 15                                                                                              | 7,5                                                                       |

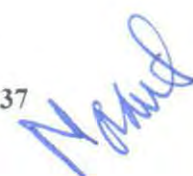


|                                              |                                                                                      |      |            |               |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|---------------|
| 32                                           | IOP Materials Science and Engineering, WMCAUS                                        | 2017 | 15         | 5             |
| 33                                           | IOP Materials Science and Engineering, WMCAUS                                        | 2017 | 15         | 7,5           |
| 34                                           | IOP Materials Science and Engineering, WMCAUS                                        | 2016 | 15         | 7,5           |
| 35                                           | 7th Scientific-Technical Conference on Material Problems in Civil Engineering MATBUD | 2015 | 15         | 10            |
| 36                                           | The 9th International Conference "ENVIRONMENTAL ENGINEERING"                         | 2014 | 15         | 7,5           |
| 37                                           | 3rd International Conference on Transportation Infrastructure in Pisa, ITALY         | 2014 | 15         | 5             |
| 38                                           | Modern Building Materials, Structures And Techniques, MBMST                          | 2013 | 15         | 7,5           |
| 39                                           | Modern Building Materials, Structures And Techniques, MBMST                          | 2013 | 15         | 7,5           |
| Sumaryczna liczba punktów za 39 publikacji : |                                                                                      |      | <b>545</b> | <b>268,84</b> |

\* - publikacje przesłane do redakcji czasopism lub komitetów konferencyjnych i ich punktacja nie była brana pod uwagę przy określaniu sumarycznej liczby punktów habilitanta

Tablica 3. Lista publikacji, bez przyporządkowanej punktacji MNiSW, po uzyskaniu stopnia naukowego doktora.

| Lp. | Czasopismo/publikacja                                                                              | Rok  |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1   | International Anniversary Scientific and Technical Conference - "Highways: Safety and Reliability" | 2018 |
| 2   | Environmental Engineering                                                                          | 2017 |
| 3   | International Scientific and Technical Conference - "Highways: Safety and Reliability"             | 2016 |
| 4   | Eurasphalt & Eurobitume Congress                                                                   | 2016 |
| 5   | Logistyka                                                                                          | 2015 |
| 6   | International Journal of Pavemnets Conference, Sao Paulo                                           | 2013 |
| 7   | International Anniversary Scientific and Technical Conference - "Highways: Safety and Reliability" | 2018 |





Tablica 4. Zestawienie efektów dotyczących kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

| Lp. | Kryterium wynikające 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. 2016 r. poz. 882 ze zm. Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.) zawarte w §3 p.4, §4, §5. | Całkowita liczba osiągniętych rezultatów całkowitych | Liczba osiągniętych rezultatów całkowitych po uzyskaniu stopnia doktora | Odniesienie                                    |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1*  | Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie <b>Journal Citation Reports</b>                                                                                                                                                      | 12                                                   | 12                                                                      | Załącznik 4, pkt. II A.                        |
| 2   | Autorstwo zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowego, konstrukcyjnego lub technologicznego                                                                                                                                            | 3                                                    | 3                                                                       | Załącznik 4, pkt. II B.                        |
| 3   | Udzielone patenty międzynarodowe lub krajowe                                                                                                                                                                                                    | 1                                                    | 1                                                                       | Załącznik 4, pkt. II C.                        |
| 4   | Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazach lub na liście, o których mowa w § 3 niniejszej ustawy                                            | 13                                                   | 11                                                                      | Załącznik 4, pkt. II E.                        |
| 5   | Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych z poza listy, o której jest mowa w § 3 niniejszej ustawy                                                                            | 25                                                   | 6                                                                       | Załącznik 4, pkt. II E.                        |
| 6   | Autorstwo lub współautorstwo odpowiednio dla danego obszaru: opracowań zbiorowych, katalogów zbiorów, dokumentacji prac badawczych, ekspertyz, utworów i dzieł artystycznych                                                                    | 10                                                   | 6                                                                       | Załącznik 4, pkt. II F.                        |
| 7   | Sumaryczny Impact Factor publikacji naukowych według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania                                                                                                                       | 12,410                                               | 12,410                                                                  | Załącznik 4, pkt. II G.                        |
| 8   | Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS)                                                                                                                                                                                      | 75                                                   | 75                                                                      | Załącznik 4, pkt. II H.                        |
| 9   | Indeks Hirscha opublikowanych publikacji według bazy Web of Science (WoS)                                                                                                                                                                       | 6                                                    | 6                                                                       | Załącznik 4, pkt. II I.                        |
| 10  | Kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi lub udział w takich projektach                                                                                                                                                  | 9                                                    | 6                                                                       | Załącznik 4, pkt. II J.                        |
| 11  | Międzynarodowe lub krajowe nagrody za działalność odpowiednio naukową albo artystyczną                                                                                                                                                          | 3                                                    | 3                                                                       | Załącznik 4, pkt. II K.                        |
| 12  | Wygłoszenie referatów na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych indeksowanych przez bazę <b>WoS</b>                                                                                                                          | 13                                                   | 13                                                                      | Załącznik 4, pkt. II L.                        |
| 13  | Uczestnictwo w programach europejskich i innych programach międzynarodowych lub krajowych                                                                                                                                                       | 1                                                    | 1                                                                       | Załącznik 4, pkt. III A.                       |
| 14  | Udział w międzynarodowych lub krajowych konferencjach naukowych lub udział w komitetach organizacyjnych tych konferencji                                                                                                                        | >47                                                  | >25                                                                     | Załącznik 4, pkt. II E, pkt. II L, pkt. III B. |
| 15  | Otrzymane nagrody i wyróżnienia za działalność dydaktyczną i organizacyjną                                                                                                                                                                      | 1                                                    | 1                                                                       | Załącznik 4, pkt. III D.                       |



|      |                                                                                                                                                                              |                  |                  |                          |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|--------------------------|
| 16   | Koordinacja sesji tematycznych podczas odbywających się konferencji naukowo-technicznych                                                                                     | 2                | 2                | Załącznik 4, pkt. III C. |
| 17   | Udział w konsorcjach i sieciach badawczych                                                                                                                                   | 5                | 3                | Załącznik 4, pkt. III E. |
| 18   | Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych, a w przypadku badań stosowanych we współpracy z przedsiębiorcami; | 1                | 1                | Załącznik 4, pkt. III F. |
| 19   | Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism                                                                                                                | 1                | 1                | Załącznik 4, pkt. III G. |
| 20   | Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki                                                                                                          | 4                | 4                | Załącznik 4, pkt. III I. |
| 21   | Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych.                                                                                        | 1                | 1                | Załącznik 4, pkt. III H. |
| 22   | Opieka naukowa nad studentami i stażystami (w tym stażystami z zagranicy)                                                                                                    | 98(1)            | 98(1)            | Załącznik 4, pkt. III J. |
| 23   | Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego, z podaniem tytułów rozpraw doktorskich.                                         | 2                | 2                | Załącznik 4, pkt. III K. |
| 24** | Staż w zagranicznych lub krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich                                                                                                      | 3                | 3                | Załącznik 4, pkt. III L. |
| 25   | Wykonanie ekspertyz lub innych opracowań na zamówienie organów władzy publicznej, samorządu terytorialnego, podmiotów realizujących zadania publiczne lub przedsiębiorców    | >122             | >65              | Załącznik 4, pkt. III M. |
| 26   | Recenzowanie projektów międzynarodowych lub krajowych oraz publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych                                                            | 26               | 26               | Załącznik 4, pkt. III P. |
| 27   | Członkostwo w komitetach, komisjach, stanowiska funkcyjne w strukturze Politechniki Świętokrzyskiej                                                                          | 2                | 2                | Załącznik 4, pkt. III Q  |
| 28   | Członek Laboratorium Akredytowanego                                                                                                                                          | 1                | 1                | Załącznik 4, pkt. III Q  |
| 29   | Szkolenia, warsztaty, kursy                                                                                                                                                  | 15               | 15               | Załącznik 4, pkt. III Q  |
| 30   | Liczba cytowań według bazy Scopus                                                                                                                                            | 114              | -                |                          |
| 31   | Liczba cytowań według bazy GoogleScholar                                                                                                                                     | 170              | -                |                          |
| 32   | Indeks Hirscha według bazy Scopus                                                                                                                                            | 6                | -                |                          |
| 33   | Indeks Hirscha według bazy GoogleScholar                                                                                                                                     | 7                | -                |                          |
| 34   | Sumaryczna liczba zgromadzonych punktów według bazy dorobek.tu.kielce.pl brany pod uwagę przy ocenie parametryzacji jednostki naukowej według MNiSW (dn. 15.04.2019)         | 562<br>276,34*** | 530<br>261,34*** |                          |
| 35   | Liczba autorskich/współautorskich publikacji według bazy dorobek.tu.kielce.pl (dn. 15.04.2019)                                                                               | 66               | 34               |                          |
| 36   | Liczba przeprowadzanych szkoleń naukowo-technicznych                                                                                                                         | 1                | 1                | Załącznik 4, pkt. III Q  |

\* - uwzględnia artykuły nadesłane do czasopism i przyjęte do dalszej ewaluacji

\*\* - uwzględniono okres, w którym staż był kontynuowany na podstawie odrębnej umowy

\*\*\* - punktacja uwzględniająca indywidualny wkład habilitanta