

## **ZAŁĄCZNIK 3**

**Dr inż. Lesław Bichajło**

Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury

# **AUTOREFERAT**

**Dr inż. Lesław Bichajło**

Politechnika Rzeszowska

Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury

Katedra Dróg i Mostów

Rzeszów, 28.08.2023 r.

## **AUTOREFERAT**

### **1. Imię i nazwisko**

Lesław Artur Bichajło

### **2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe**

Stopień naukowy doktora nauk technicznych:

Rok uzyskania 2005

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

Dyscyplina: budownictwo

Tytuł pracy doktorskiej: **„Wpływ ukształtowania i wyposażenia mostu z dojazdami na percepcję wzrokową kierowców”**

Promotor:

dr hab. inż. Tadeusz Sandecki, prof. PW

Recenzenci:

prof. mgr inż. Andrzej Jarominiak, Politechnika Rzeszowska,  
prof. dr inż. Wojciech Suchorzewski, Politechnika Warszawska,  
dr hab. inż. Jan Ober, Polska Akademia Nauk.

Tytuł magistra inżyniera:

Rok uzyskania 1992

Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Kierunek: budownictwo

Tytuł pracy magisterskiej: **„Koncepcja mostu średnicowego w Rzeszowie”**

Promotor: doc. dr inż. Juliusz Cieśla

Recenzent: prof. mgr inż. Andrzej Jarominiak.

Uprawnienia budowlane:

Zakres: uprawnienia do projektowania i kierowania robotami budowlanymi bez ograniczeń w specjalności konstrukcyjno-budowlanej

Numer uprawnień: 108/98

Rok uzyskania: 1998

Organ wydający: Urząd Wojewódzki w Rzeszowie

### **3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych**

1991-1992	asystent stażysta, Katedra Mostów, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Rzeszowska
1993-2005	asystent, Katedra Mostów, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Rzeszowska
2005-2021	adiunkt, Katedra Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska
2021-2022	profesor Uczelni, Katedra Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska
2022- obecnie	adiunkt, Katedra Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska

### **4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).**

Wniosek o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie „Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport” sformułowany na podstawie poniższych osiągnięć:

#### **4.1. Monografia (główne osiągnięcie naukowe)**

Autor: Lesław Bichajło,  
Tytuł: „Percepcja wzrokowa drogi i jej wyposażenia”,  
Wydawnictwo: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2020,  
ISBN 978-83-7934-384-3.  
Punktacja MNiSW: 80 punktów.

Recenzenci wydawniczy:

- prof. dr hab. inż. Piotr Olszewski, prof. PW (Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej,
- prof. dr hab. inż. Andrzej Szarata (Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej).

#### **Tematyka monografii**

W monografii podjąłem temat analizy procesów percepcji wzrokowej drogi i jej wyposażenia, w celu wykorzystania jej wyników w projektowaniu i utrzymaniu infrastruktury drogowej oraz zarządzaniu bezpieczeństwem ruchu drogowego. Zastosowaniem technikę okulograficzną rejestrując położenie gałek ocznych kierowców w czasie przejazdu zróżnicowanymi odcinkami dróg.

Wśród wielu aspektów zarządzania ryzykiem na drogach czynnik ludzki ma szczególne znaczenie, gdyż jemu przypisuje się największy udział w powstawaniu zdarzeń drogowych. Dotychczasowe prace badawcze zmierzające do rozpoznania i opisanie postrzegania wzrokowego drogi koncentrowały się głównie na problematyce dystraktorów uwagi wzrokowej (np. reklamy, obsługa telefonów komórkowych i zainstalowanych w pojazdach nowoczesnych systemów sterowania oraz komunikacji, jak na przykład ekrany dotykowe) oraz zawężania pola widzenia wraz ze wzrostem prędkości jazdy (*widzenie tunelowe*), a także na wybranych elementach lub obiektach w przestrzeni drogi. Statystyki zdarzeń drogowych nie zawierają wielu aspektów niedoskonałości infrastruktury drogowej, w tym oceny wpływu infrastruktury na czynnik ludzki (Szczuraszek, et al., 2016). Uznałem za istotne włączenie zagadnień organizacji postrzeganej przestrzeni drogi do metodyki oceny jakości infrastruktury drogowej, w tym w kontekście zarządzania ryzykiem, opisaną w pracach (Jamroz, 2011), (Budzyński, et al., 2016). Wyszedłem z założenia, iż od ukształtowania i wyposażenia drogi oraz jej otoczenia zależy jakość interakcji kierowcy z drogą, wpływając na prawdopodobieństwo zaistnienia zdarzenia drogowego.

W monografii opisałem aktualny stan wiedzy na temat postrzegania wzrokowego, w zakresie przydatnym w inżynierii drogowej. W ramach przeprowadzonych badań i analiz wykonałem:

- identyfikację kluczowych elementów drogi i jej wyposażenia dla prawidłowej percepcji drogi,

- wskazałem odcinki wymuszonej inatencji w asymilowaniu informacji wzrokowej z oznakowania drogowego, wynikającej z niemożliwości przełączania uwagi między nową sytuacją drogową a statyczną informacją na znakach drogowych,
- określiłem zakres odległości fiksacji wzroku na elementach drogi i jej wyposażenia od oczu kierowcy, charakteryzujący obszar obserwacji drogi oraz zaproponowałem pożądaną odległość widoczności ze względu na percepcję wzrokową drogi,
- opracowałem kryterium doboru promienia krzywizny drogi w planie, uwzględniające wyeliminowanie ruchu głowy w celu obserwacji pasa ruchu, po którym porusza się pojazd.

Wymienione powyżej rezultaty pracy wynikają z przeprowadzonych przeze mnie badań naukowych w rzeczywistych warunkach drogowych, z użyciem mobilnego okulografu rejestrującego przestrzeń drogi i położenie gałek ocznych kierowców. Zastosowanie tej metodyki umożliwiło mi identyfikację punktów fiksacji wzroku kierowców na elementach drogi i jej wyposażenia oraz wykonanie analiz dotyczących wpływu rozwiązania przestrzeni drogi na procesy percepcji wzrokowej. Jest to nowatorskie podejście do określania niektórych parametrów drogi, dotychczas definiowanych głównie na podstawie wiedzy z dziedziny fizyki. Otrzymane wyniki sprowadziłem do aspektów technicznych, stanowiących wkład w obszar wiedzy dotyczącej projektowania bezpiecznej infrastruktury drogowej.

Wyniki prac badawczych opisanych w monografii powinny być przydatne w formułowaniu zasad projektowania dróg, gdyż stanowią uzupełnienie i rozszerzenie wiedzy o czynniku ludzkim w ruchu drogowym. Jest to bardzo istotne, gdyż według statystyk to właśnie czynnik ludzki jest najbardziej zawodny w systemie droga – pojazd – kierowca. Przez zrozumienie i wprowadzenie w życie zarówno wyników badań opisanych w monografii, jak i innych opracowaniach, można zredukować liczbę i jakość błędów w obszarze „czynnika ludzkiego”, do których tenże czynnik bywa prowokowany wskutek niedostosowania drogi i jej wyposażenia możliwości percepcyjnych kierowców.

Pracę podzieliłem na 9 rozdziałów.

Rozdział 1. stanowi wprowadzenie w tematykę monografii oraz przedstawia cel i zakres pracy.

Rozdział 2. zawiera przegląd wiedzy dotyczącej procesów postrzegania wzrokowego u ludzi. Opisałem w nim właściwości zmysłu wzroku: budowę oka, funkcję poszczególnych części aparatu wzrokowego, ze szczególnym uwypukleniem roli siatkówki i plamki żółtej w pozyskiwaniu informacji wzrokowej i w późniejszym jej przetwarzaniu. Scharakteryzowałem stany ruchu oka, których parametry są obecnie wiodącymi w ocenach stanu uwagi wzrokowej. Podałem dwie ścieżki przetwarzania informacji realizowane przez dwie rozłączne funkcjonalnie części mózgu.

W rozdziale 3. opisałem rys historyczny i współczesne metody pomiaru ruchu oka, w tym przykłady inwazyjnych i nieinwazyjnych technik pomiarowych stosowanych w dynamicznie ewoluującej dziedzinie okulografii. Zwróciłem uwagę na współczesne stacjonarne i mobilne systemy okulograficzne, otwierające nową jakość i paletę możliwych zastosowań w wielu dziedzinach nauki – od psychologii po technikę – lecz przede wszystkim tam, gdzie z punktu widzenia bezpieczeństwa realizowanego procesu aspekt czynnika ludzkiego ma szczególnie duże znaczenie. Opisałem metody oceny stanu uwagi wzrokowej i jej rozpraszania, opierające się na okulografii, wywiadzie sytuacyjnym, arkuszach testowych.

Rozdział 4. obejmuje przegląd technik badań uwagi wzrokowej kierowców. Opisałem w nim odmiany badań, w tym szczególnie badań okulograficznych, ich specyfikę oraz zróżnicowanie zastosowań w zależności od kontekstu prowadzonych badań naukowych.

Rozdział 5. zawiera opis metodyki własnych badań okulograficznych. Podstawowym celem badań było zwiększenie bezpieczeństwa ruchu drogowego poprzez poznanie i opisanie powiązania wybranych parametrów charakteryzujących przestrzeń drogi z parametrami opisującymi jakość percepcji wzrokowej drogi oraz sformułowanie zasad dotyczących organizacji przestrzeni drogi zgodnej z możliwościami percepcyjnymi kierowców.

W ramach tego celu wyznaczyłem następujące zagadnienia badawcze:

- ustalenie hierarchii elementów drogi i jej wyposażenia w aspekcie istotności informacji dostarczanej przez nie kierowcy, służącej budowaniu lub aktualizowaniu wypracowanego modelu działania kierowcy, w tym oznakowania poziomego, pionowego i jezdni, jako możliwej lokalizacji komunikatów wizualnych uzupełniających lub zastępujących oznakowanie pionowe,
- określenie odległości fiksacji przestrzeni drogi niezbędnej kierowcy do bezpiecznego prowadzenia pojazdu oraz porównanie jej z odległością widoczności na zatrzymanie i z odległością decyzyjną (stosowaną w niektórych krajach),
- identyfikacja niekorzystnych rozwiązań technicznych w obrębie skrzyżowań i węzłów, w których wskutek nieznamomości zagadnień percepcji dochodzi do zaburzeń postrzegania drogi i obniżenia poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz sformułowanie zaleceń w tym zakresie.

Do przeprowadzenia badań wybrałem metodę okulograficzną (eye trackingu) (Lee, et al., 2013), (Eyesee, 2014), która jest stosowana do: oceny zaangażowania uwagi wzrokowej przez obiekty w polu widzenia kierowcy, strategii przełączania uwagi wzrokowej na różne zadania wzrokowe i bodźce, porównywania strategii i zdolności postrzegania przez doświadczonych i niedoświadczonych kierowców oraz do oceny stopnia zaangażowania uwagi wzrokowej przy rozpraszaniu jej przez urządzenia i osoby w kabinie pojazdu (Crundall, et al., 2012). W tej metodzie stosuje się analizę spojrzeń kierowcy (*glance measurement*) w czasie wykonywania zadania poznawczego. Analiza ta obejmuje aktywność sakadyczno-fiksacyjną wzroku, będącą miarą jakości postrzegania wzrokowego lub/i ocenianie wyłącznie spojrzeń (gdzie, kiedy, jak długo?). Odnoszą się do niej normy ISO 15007-2 (ISO-15007-2, 2014) i SAE J-2396 (SAE J-2396, 2017). Spojrzenia są zdefiniowane jako serie fiksacji wzroku w tym samym obszarze. Analizuje się częstotliwość, średnią i całkowitą długotrwałość sakad lub fiksacji, całkowitą długotrwałość zadania wzrokowego, czas przemieszczania wzroku, czas pozostawiania wzroku poza drogą, prawdopodobieństwo fiksacji, rozmiar średnicy źrenicy, zmiany położenia głowy. Stosowane okulografy (*eyetrackery*) są w postaci okularów lub im podobnych urządzeń montowanych na głowie badanego, albo mogą to być urządzenia montowane w kabinie samochodu. W przypadku okulografów montowanych na głowie badanego układem odniesienia dla pomiaru pozycji oka (przy pomiarze jednoocznym) lub oczu (pomiar dwuoczny) jest sam okulograf. Powiązanie z punktami obserwowanej sceny otrzymuje się poprzez wprowadzanie korekt przez oprogramowanie zainstalowane w jednostce centralnej okulografu, na podstawie pomiarów bezwładnościowych pozyskiwanych z systemów żyroskopowych, akcelerometrów lub im odpowiadających i nałożenie przez oprogramowanie komputerowe trajektorii ruchu gałek ocznych na obraz przestrzeni drogi widziany przez kierowcę, sfilmowany zainstalowaną w urządzeniu kamerą. Taki okulograf używałem w badaniach.

Analizując zalety i wady badań terenowych w stosunku do badań symulatorowych opisane w literaturze, a także własne doświadczenia z badań symulatorowych opisane na przykład w publikacji (Bichajło, 2005), a także nieopublikowane wyniki badań własnych, zdecydowałem się przeprowadzić badania w warunkach polowych. Podstawowymi argumentami przemawiającymi za wyborem tego wariantu badań były: odzwierciedlenie rzeczywistych warunków drogowo-ruchowych, naturalne zachowanie samochodu, lepsza interakcja kierowcy z pojazdem i otoczeniem, uniknięcie możliwości „choroby symulatorowej”, uniemożliwiającej właściwą ocenę odległości przed pojazdem (Fisher, et al., 2017). Jednocześnie wybór tej metody oznaczał większą trudność w organizacji badań oraz obróbce wyników.

Przyjęty cel i zakres badań określił konieczność uwzględnienia różnych klas dróg oraz wynikające z tego zróżnicowane standardy wyposażenia i zagospodarowania ich otoczenia. na drogach krajowych (w tym na odcinku drogi ekspresowej oraz autostrady) oraz samorządowych.

Do badań zakwalifikowałem 30 osób. W tej grupie znalazły się osoby z różnym stażem jako kierowca: w młodym wieku (20-30 lat), w średnim wieku (30-45 lat) oraz w wieku dojrzałym (ponad 45 lat). Przed badaniami docelowymi wykonałem kilka przejazdów pilotażowych (próbnych) z 3 osobami. Osoby te nie brały udziału w późniejszych badaniach. W ten sposób wykluczyłem możliwość zapamiętania drogi i obiektów przydrożnych przez uczestników badań pilotażowych, co mogłoby być przyczyną późniejszego innego postrzegania wzrokowego związanego z realizowaniem zapamiętanego z badania pilotażowego modelu drogi. Podobne podejście zastosowałem w badaniach przedstawionych w pracy doktorskiej i publikacjach (Bichajło, 2005), (Bichajło & Sandecki, 2005).

Na trasie przejazdów badawczych wyznaczyłem cztery poligony badawcze, charakterystyczne dla sytuacji drogowo-ruchowych zaobserwowanych na badanej trasie przejazdu. Wybierając poligony badawcze kierowałem się zasadą, aby wyselekcjonować odcinki dróg z oznakowaniem poziomym i bez tego oznakowania, jedno- i dwujezdniowych, w obszarze zabudowy i poza nim. Charakterystykę wybranych do analizy poligonów badawczych zlokalizowanych w okolicy Rzeszowa, zawiera tabela 1.

*Tabela 1. Ogólna charakterystyka analizowanych poligonów badawczych.*

Oznaczenie	Przekrój poprzeczny
P1	Droga zamiejska bez oznakowania poziomego i reklam
P2	Droga zamiejska wojewódzka z oznakowaniem poziomym
P3	Autostrada 2 x 2
P4	Droga zamiejska krajowa z oznakowaniem i wysepkami

Każdy kierowca był proszony o jazdę w sposób jak najbardziej naturalny, możliwie bez skrępowania osobą pasażera – prowadzącego badania. Kierowca wybierał styl jazdy, który odzwierciedlał zarówno jego wiedzę, doświadczenie, nawyki, jak i sposób dostosowania do reguł ruchu drogowego. Dzięki tak sformułowanym warunkom badania możliwymi było poznanie i ocena jakości percepcji drogi w warunkach jak najbardziej zbliżonych do naturalnych.

Dla ustawienia właściwych parametrów pracy okulo grafu zastosowałem spostrzeżenia i zalecenia podane w publikacjach (Ober, et al., 2001), (Salthouse & Ellis, 1980) oraz przez producenta urządzenia (TobiiPro, 2018).

W rozdziale 6 określiłem, które elementy drogi mają pierwszorzędne znaczenie w procesie pozyskiwania i przetwarzania informacji wzrokowej, koniecznej do bezpiecznego prowadzenia pojazdu. Zidentyfikowane punkty fiksacji wzroku przypisałem do obserwowanych obiektów. Obiektami obserwacji były: pas ruchu przed pojazdem, krawędzie pasa ruchu, oznakowanie poziome, oznakowanie pionowe, reklamy, słupy przy krawędzi pobocza, inne pojazdy (z rozróżnieniem ich kierunku jazdy i pasa - przed pojazdem testowym, na pasie sąsiednim), drzewa (tak pojedyncze, jak i grupy drzew), bariery ochronne oraz pozostałe elementy wyposażenia drogi. Wszelkie obiekty, które nie były związane z drogą i jej wyposażeniem, zostały zakwalifikowane do grupy „inne”. W sumie utworzyłem 48 kategorii obiektów możliwych do obserwowania w przestrzeni drogi. Wykonana przez mnie analiza punktów fiksacji wzroku dotyczyła wszystkich podanych kategorii obiektów. W literaturze przedmiotu nie spotkałem tak szczegółowej klasyfikacji atraktorów uwagi wzrokowej będących w polu widzenia kierowcy.

Wynikiem generalnym opisywanego kontekstu badań jest wniosek, że jezdnia jest podstawowym, najważniejszym obszarem pozyskiwania informacji wzrokowej (około 23-46 % fiksacji). Bardzo istotnymi są krawędzie pasa ruchu lub jezdni, w tym podkreślone przez oznakowanie poziome. Jest ono stałą częścią strategii obserwacji przestrzeni drogi. Jest istotne szczególnie w miejscach zmiany dostępnej przestrzeni drogi – na przykład na długości wysp dzielących lub kryjących. Wówczas obserwacją objęte są linie segregacyjne w pobliżu początku wyspy, w miejscu jej największej szerokości oraz na końcu wyspy.

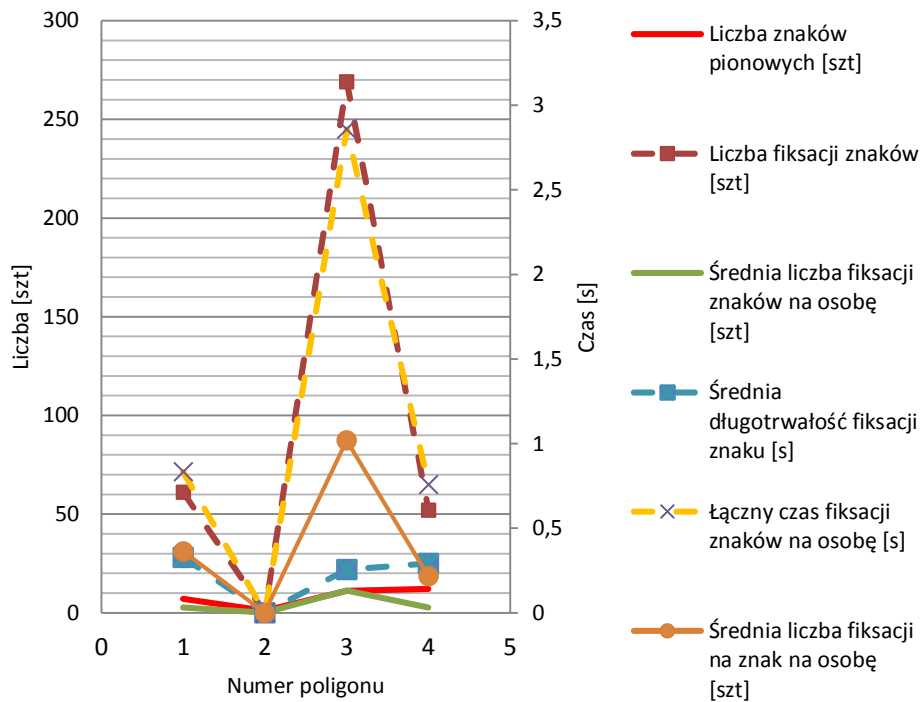
Obserwacje pasa ruchu, po którym porusza się pojazd (łącznie dla obserwacji bliskiej i dalekiej) dają około 29 % wszystkich fiksacji (przy czym udział fiksacji bliskich i dalekich jest na tym samym poziomie). Dwukrotnie mniejsze jest zaangażowanie kierowców w obserwację obiektów nie związanych z drogą i jej wyposażeniem – zaliczanymi do grupy „inne” (około 14 %). Około 5 % fiksacji przypadało na skrajną linię separacyjną po stronie lewej. Pozostałe obiekty i elementy drogi są fiksowane na poziomie 4 % i niższym.

Fiksacje znaków drogowych mają mały udział w ogólnej liczbie fiksacji zarejestrowanych na każdym poligonie. Takie przedstawienie wyniku nie jest jednak miarodajne, ponieważ znaki to obiekty punktowe. Na długości tej samej drogi liczba znaków na jednostkę długości jest zmienna, zatem sprowadzanie wyniku do liby fiksowanych znaków nie jest w pełni miarodajne. W związku z powyższym zaproponowałem w pracy autorskie miary percepcji:

- średnią liczbę fiksacji sprowadzoną do pojedynczego znaku i osoby,
- średni czas fiksacji znaku.

W celu wykonania dalszych analiz zliczyłem znaki drogowe występujące na długości każdego poligonu, liczbę fiksacji na znakach i długość fiksacji. Wyniki obrazuje Rysunek 1.





Rysunek 1 Parametry fiksacji znaków drogowych.

Wyniki analizy wskazały, iż najbardziej dogodny warunki do prawidłowej percepcji oznakowania wystąpiły na poligonie 3 (autostrada), gdzie znaki były dostrzegalne z dużej odległości, a jednocześnie nie występowało ich zagęszczenie. Jest to o tyle interesujący aspekt, iż na odcinku testowym przeważały znaki „kierunku i miejscowości”, rozmiaru wielkiego (nazewnictwo zgodne z warunkami technicznymi dla znaków drogowych), usytuowane nad jezdnią i przy jezdni. Dodatkowo długość fiksacji na drogowskazach i tablicach szlaku drogowego była największa, zatem kierowcy czytali ich treść. Prawdopodobną przyczyną takiego zachowania było zapoznanie się z drogą (większość uczestników nie korzystała wcześniej z tej drogi) oraz obawa przegapienia węzła, na którym należało opuścić autostradę. Większą długość fiksacji, lecz mniejszą ich liczbę zanotowano na poligonie 4, przy czym liczba znaków na tym poligonie była największa. Obliczone wskaźniki percepcji znaków pokazują, iż na tym poligonie kierowcy musieli spędzać więcej czasu odczytując znak przy mniejszej liczbie fiksacji (liczba znaków niemal identyczna jak na poligonie 3). Może to być efektem zbyt dużej liczby znaków, bądź niektóre znaki kierowcy oceniali jako niepotrzebne, nie wnoszące istotnej informacji.

W badaniach uwzględniłem także obszary wymuszonej inatencji znaków drogowych. Obszary te zidentyfikowałem w obrębie wylotów skrzyżowań oraz na łącznicach i ich połączeniach z jezdniami głównymi węzłów drogowych.

Wykonując skręt w lewo na skrzyżowaniu kierowcy musieli obserwować nową przestrzeń drogi, uważając na pieszych na przejściu oraz poznając przebieg drogi na wylocie - aby dostosować prędkość i tor jazdy. Po prawej stronie mijali trzy znaki pionowe, pierwszy tuż przed przejściem dla pieszych i dwa następne za przejściem, ustawione na osobnych słupkach. Z moich badań wynika, że:

- 21 % kierowców skierowało spojrzenie na znak nr 2 bez odwracania głowy,

- 42 % kierowców w ostatniej chwili odwróciło głowę w kierunku znaku nr 2, mając bardzo ograniczone możliwości jego dostrzeżenia spowodowane karoserią pojazdu,
- 32 % kierowców skierowało spojrzenie na kolejny znak nr 3, nie fiksując poprzedzającego go znaku nr 2.

Podobną sytuację wykazałem w przypadku pasów włączenia, gdzie kierowca jest zajęty obserwacją (w lusterku oraz przez okno) ruchu na sąsiednim pasie ruchu znajdującym się po jego lewej stronie, na którym pojazdy mają pierwszeństwo jazdy.

Wśród wielu sytuacji drogowych, szczególne znaczenie ma przekraczanie przez pojazd przejść dla pieszych. Statystyki wypadków z udziałem pieszych pokazują nieustannie duży problem kolizji lub wypadków z pieszymi. Aby zmniejszyć zagrożenie bezpieczeństwa ruchu drogowego w tym rejonie, stosowane są różnorakie środki ostrzegawcze, wymuszające zmniejszenie prędkości. Jednym z nich jest umieszczanie znaku D-6 „Przejście dla pieszych” nie tylko przy jezdni, lecz także nad jezdnią. Wykazałem, iż znaki te są fiksowane głównie wówczas, gdy jazda odbywa się „za poprzednikiem” oraz, że są one dla kierowcy sygnałem z daleka, iż zbliża się do przejścia. Zatem sytuowanie dodatkowych znaków D-6 nad jezdnią można uznać za korzystne. Efekt dobrego wyeksponowania przejścia oraz jego oznakowania, ważny ze względu na bezpieczeństwo jest obniżany poprzez lokalizację w bezpośrednim pobliżu obiektów przyciągających uwagę kierowcy. Reklamy i podobne obiekty nie związane z drogą są tego klasycznym przykładem. Jak wykazałem w pracy, istnieje również zagrożenie bezpieczeństwa ruchu drogowego prowokowane przez urządzenia, mające to bezpieczeństwo podwyższać. Do tej grupy należą fotoradary i tablice zmiennej treści (VMS) zlokalizowane w newralgicznych miejscach drogi, na przykład w pobliżu przejść dla pieszych. We wcześniejszych wrywkowych badaniach stwierdziłem odwracanie uwagi wzrokowej od obserwacji obszaru przejścia, gdy w bezpośrednim pobliżu przejścia był usytuowany fotoradar. Okazał się on być dystraktorem, mimo że intencją jego ustawienia w pokazanej lokalizacji było najprawdopodobniej zmuszenie kierowców do zmniejszenia prędkości i zwiększenie bezpieczeństwa przechodniów. W literaturze problem negatywnego oddziaływania tablic VMS nie jest szczegółowo opisany. W związku z powyższym przeprowadziłem własne badanie w rejonie przejścia dla pieszych na wlocie drogi krajowej do Rzeszowa. Przejście to nie jest obciążone dużym ruchem pieszych. Na dojeździe obowiązuje ograniczenie prędkości do 70 km/h. Tablica zmiennej treści była usytuowana nad przejściem, w jego bezpośrednim sąsiedztwie i była dobrze widoczna z dalekiego dojazdu o prostoliniowej osi. Z zebranych przeze mnie parametrów percepcji wynika, iż kierowcy w różnym stopniu byli podatni na oddziaływanie wzrokowe tablicy zmiennej treści. Najczęściej był na niej wyświetlany komunikat o czasie dojazdu do centrum, bez sugestii trasy alternatywnej do bezpośredniej. Zatem ważność komunikatu można ocenić jako niską. Z grupy 22 badanych osób 9 nie fiksowało tablicy VMS, a 4 nie fiksowały sytuacji na przejściu. Zwraca uwagę niekorzystna konkurencyjność tablicy w stosunku do przejścia – w przypadku 6 osób ważniejsza była obserwacja tablicy niż przejścia, a w jednym przypadku obserwacje te były na zbliżonym poziomie.

Rozdział 6 podsumowałem następującymi wnioskami:

- na wszystkich drogach, bez względu na ich parametry techniczne i wyposażenie głównym celem fiksacji wzroku kierowcy jest pas ruchu, po którym pojazd się porusza,
- obiekty nie będące elementami drogi lub nie stanowiące jej wyposażenia były bardzo istotnym celem obserwacji przede wszystkim na poligonach 1 i 2, gdzie ruch pojazdów był mniejszy niż na

poligonach 3 i 4, co może oznaczać wystarczające luki czasowe dla odwracania uwagi wzrokowej od drogi,

- na drodze bez oznakowania poziomego intensywnie obserwowane były krawędzie jezdni, częściej była to prawa krawędź jezdni,
- środkowa linia separacyjna na poligonie 2 była około dwukrotnie częściej obserwowana niż linia krawędziowa prawostronna; natomiast na poligonach 3 i 4 linia prawostronna i lewostronna miały podobny odsetek fiksacji,
- lepsza orientacja w przestrzeni drogi (krótsze fiksacje) występuje na drogach wyposażonych w oznakowanie poziome,
- na długości pasa włączenia w obrębie skrzyżowania lub węzła znaki drogowe nie powinny być ustawiane, a o ile są konieczne – ich liczbę należy ograniczyć do niezbędnych,
- w strefie wylotu skrzyżowania, a zwłaszcza na długości wysepek dzielących oraz na długości pasa włączenia (także lewostronnego, o ile istnieje) nie powinny być lokalizowane znaki drogowe, gdyż możliwość ich dostrzeżenia i zinterpretowania treści jest bardzo ograniczona,
- tablice zmiennej treści, fotoradary i inne urządzenia mocno angażujące uwagę wzrokową kierowców nie powinny być lokalizowane w sąsiedztwie punktu krytycznego (przejście dla pieszych, skrzyżowanie, przejazd, łącznica, dodatkowy pas ruchu). Dla prędkości 70 km/h sugerowana odległość to 150 m przed i za punktem krytycznym. Potrzebne są także szersze badania, aby szczegółowo opisać oddziaływanie tych urządzeń na kierowców. Mogą one być rozszerzeniem analiz prowadzonych w ramach prac badawczych Szagały, Olszewskiego, Kiecia i innych (Szagała, et al., 2016), (Kieć, 2014).

W rozdziale 7. analizowałem odległości fiksacji w kontekście organizacji przestrzeni drogi (geometria drogi, oznakowanie, otoczenie), prędkości oraz drogi hamowania pojazdów.

Dla każdego przejazdu odcinkiem badawczym obliczałem średnią prędkość pojazdu testowego oraz parametry ruchu oczu. Były one niezbędne dla określenia ewentualnego związku prędkości pojazdu z zasięgiem (odległością) fiksacji wzroku od kierowcy. Zebrane wyniki stały się podstawą do analizy następujących aspektów percepcji drogi:

- jaki jest przedział prędkości w ruchu swobodnym pojazdów testowych, będący odzwierciedleniem zakresu prędkości uważanego przez kierowców za poprawny dla prawidłowego przebiegu percepcji wzrokowej drogi,
- jaka jest minimalna i maksymalna odległość fiksacji wzroku kierowcy,
- czy odległość fiksacji wzroku zależy od prędkości pojazdu, a zatem czy kierowca oceniając przestrzeń drogi kieruje się potrzebnym dystansem wyrażonym w jednostkach długości, czy czasem potrzebnym na przygotowanie swojego modelu działania, wynikającym z warunków ruchu na drodze.

Wyniki analizy odległości fiksacji wskazują, iż odległość od pojazdu, której kierowcy używają najczęściej do zapewnienia sobie wiedzy o drodze i przygotowania adekwatnego trybu sterowania pojazdem można zdefiniować następująco:

- około 7 s lub około 200 m na drodze zaciemnionej bez oznakowania poziomego,

- około 5 s i około 100 m na drodze dwupasowej dwukierunkowej z utwardzonymi pobocznymi i oznakowaniem poziomym,

- około 7,5 s i 230 m na autostradzie,

- około 6 s i 170 m dla drogi jednoprzestrzennej o 2 pasach w tym samym kierunku

- około 28 s i 750 m dla drogi o urozmaiconej niwelecie umożliwiającej daleką obserwację jej ukształtowania, z odcinkami jej samoprzesłania się i przy braku ciągłości jej widzenia. Jest to prawdopodobnie odzwierciedleniem przygotowywania przez kierowcę strategii jazdy i budowanie modelu zachowania dla dłuższego interwału czasu. Zatem nie jest bezpośrednio związana z poziomem działania operacyjnego kierowcy.

Dla zebranych wyników wykonałem obliczenia statystyczne zależności odległości fiksacji od prędkości, obliczając: współczynnik korelacji  $R$ , współczynnik determinacji  $R^2$ , wartość statystyki  $F$  oraz testu  $t$ -Studenta dla prób zależnych, przyjmując poziom istotności 0,05. Wykresy rozrzutu i równania regresji opisujące liniowe modele zależności odległości fiksacji wzroku od prędkości pokazują, iż wpływ prędkości na odległość fiksacji zachodzi na wszystkich poligonach, jednakże współczynniki korelacji liniowej nie osiągają wysokich wartości, a uzyskane wyniki nie są istotne statystycznie. Większość obserwacji na poligonach 1 - 4 dotyczyła obszaru w odległości do około 150 metrów przed pojazdem. W przypadku poligonu numer 5 odległość ta sięgała nawet 500 - 750 m. Jest to najprawdopodobniej efektem urozmaicenia niwelety drogi, gdy droga jest widoczna na długim odcinku, jednakże niektóre jej fragmenty są przesłaniające wypukłymi krzywiznami łuków pionowych. Powyższe obserwacje nawiązują do obserwacji i wniosków prof. Szczuraszka, który stwierdził, iż największy wpływ na średnią prędkość pojazdów osobowych ma pochylenie podłużne drogi (Szczuraszek, 2008), aczkolwiek wpływ poszczególnych cech drogi jest zmienny i wynika głównie z oceny poziomu bezpieczeństwa, komfortu jazdy, trudności właściwej oceny przebiegu drogi czy dodatkowych oporów ruchu. Wpływ tych cech nie był możliwy do opisanego za pomocą prostego modelu matematycznego.

Najmniejsze rozrzuty prędkości i odległości fiksacji wystąpiły na poligonie 1. Można stwierdzić, iż ten odcinek drogi był najbardziej jednorodny percepcyjnie. Jednocześnie wśród dróg jednojezdniowych o płaskim przebiegu niwelety okazał się być wymagającym największej odległości fiksacji dla pozyskiwania informacji wzrokowej o drodze, co może świadczyć o niepewności kierowców co do stanu drogi i możliwości pojawienia się przeszkód na torze ruchu pojazdu. Zatem nie można stwierdzić, iż globalnie droga ta reprezentuje pożądany standard percepcyjny.

Prędkość na drodze dwujezdniowej o parametrach autostrady charakteryzowała się największym rozrzutem wyników. Podobnie zaobserwowałem to w stosunku do odległości fiksacji. Na poligonie autostradowym (poligon nr 3) odległość fiksacji była największa spośród dróg o płaskim przebiegu niwelety. Nie potwierdziło się jednak przypuszczenie, iż odległość fiksacji może być znacznie większa niż w przypadku dróg jednojezdniowych, powszechnie kojarzone z wyższą prędkością pojazdów. Otrzymane wyniki potwierdzają raczej tezę, iż kierowca sięga wzrokiem na tyle daleko, aby móc z wystarczającą dokładnością rozpoznać przebieg drogi, charakter ruchu innych pojazdów i ewentualne przeszkody. Mimo zróżnicowanej prędkości kierowcy wyznaczali zbliżone progi pożądanych odległości widoczności dla poszczególnych poligonów. Wniosek o braku regularnej zależności zasięgu fiksacji od prędkości nawiązuje do wniosku z badań prędkości (Gaca, 2002) stwierdzającego, iż w tych samych przekrojach

pomiarowych i przy porównywalnych warunkach zewnętrznych istnieje duża zmienność prędkości, mająca prawdopodobne źródło w losowych czynnikach oddziałujących na kierowców.

W omawianym rozdziale sporządziłem również analizę wymaganej odległości widoczności na zatrzymanie, wynikającej z czasu reakcji kierowcy dla hamowania oczekiwanego i nieoczekiwanego oraz efektywnej drogi hamowania pojazdów, w celu porównania jej z minimalną odległością fiksacji wzroku, jaką otrzymałem w badaniach okulograficznych. W tym celu zebrałem dane z testów wykonanych przez tygodnik Motor, a opublikowanych na stronie internetowej [wyborkierowcow.pl](http://wyborkierowcow.pl) dla grupy 300 pojazdów różnych marek i modeli. Wyniki wskazały, iż dla prędkości 100 km/h kierowcy maksymalne odległości fiksacji przewyższały odległość widoczności na zatrzymanie, natomiast minimalne odległości były od niej mniejsze. Przeważająca liczba fiksacji była w odległości mniejszej, niż minimalna odległość widoczności dla hamowania oczekiwanego.

Podsumowując, przeprowadzone analizy opisane w rozdziale 7 wykazały, iż kompozycja przestrzenna drogi wpływa na odległość fiksacji zarejestrowaną u kierowców na badanych odcinkach dróg,

- zakres pożądanej odległości widoczności wymaganej z operacyjnego działania kierowcy jest ograniczony do około 230 m na autostradzie i około 100 - 150 m na drodze jednojezdniowej,
- na drodze z przyległym gęstym zadrzewieniem lub innymi obiektami powodującymi zacienienie, gdy nie jest wykonane oznakowanie poziome – kierowcy potrzebują większego zakresu niezbędnej widoczności niż na drogach niezacienionych, co powinno być uwzględniane w projektowaniu dróg,
- dla poszczególnych poligonów stwierdzono słabą korelację między prędkością, a odległością fiksacji, ale zależności korelacyjne nie są statystycznie istotne. Nie stwierdzono liniowej zależności dodatniej między prędkością, a odległością fiksacji,
- na odcinkach z urozmaiconym przebiegiem niwelety, gdzie występuje samo-przesłanianie się drogi, kierowcy wykorzystują dalekie fiksacje dla opracowania strategicznego modelu jazdy, co może być przyczyną zmniejszenia fiksacji w obszarze działania operacyjnego kierowcy w niedalekiej odległości przed pojazdem,
- maksymalna odległość fiksacji przy prędkości rzędu 100 km/h była większa niż droga hamowania samochodów osobowych, natomiast minimalna odległość fiksacji – mniejsza niż droga hamowania, zatem ta część wyników nie powinna być wyznacznikiem pożądanej odległości widoczności na zatrzymanie,
- typowy przedział odległości fiksacji, będącej możliwą miarą wymaganej odległości widoczności przed pojazdem zawiera się między 100 a 230 m.

W rozdziale 8. opisałem wykorzystanie wyników otrzymanych w analizach opisanych w poprzednich rozdziałach dla opracowania uogólnionego modelu odległości fiksacji i porównania go z modelem odległości widoczności zawartym w zasadach projektowania dróg. Sformułowałem także zasady doboru promieni łuków w planie, uwzględniające postulowaną odległość widoczności wynikającą z badań okulograficznych oraz kryterium maksymalnej amplitudy sakad niewymagającej obrotu głowy kierowcy. Uogólnienie otrzymanych wyników i stworzenie modelu matematycznego odległości fiksacji może być użyteczne w projektowaniu dróg i analizach widoczności na istniejących drogach, zwłaszcza w terenie urozmaiconym, wymagającym

ukształtowania geometrycznego drogi z wieloma odcinkami krzywoliniowymi w planie. Określone w moich badaniach odległości fiksacji przybliżyłem matematycznie modelem liniowym. W modelu odrzuciłem te przypadki fiksacji, dla których odległość od kierowcy przekraczała trzykrotność odchylenia standardowego (dla odległości wyrażonej czasem odchylenie standardowe wynosiło 5,362 [s], a wyrażonej odległością 149,392 [m]). Odstające, odległe fiksacje wystąpiły wyłącznie w przypadku poligonów 4 i 5, kiedy to otwierała się daleka przestrzeń przed kierowcą z widocznym z dużej odległości wzniesieniem drogi, umożliwiającą pobieżne rozpoznanie przebiegu drogi z dużej odległości. Z pewnością te fiksacje potwierdzają strategiczne planowanie jazdy. Są to przypadki szczególne, których nie można ignorować jako zjawiska, ale z punktu widzenia uogólnienia wyników można pominąć w modelu.

Obliczenia wykonałem w programie MS Excel oraz Statistica 12 dla dwóch możliwych wariantów – odległości widoczności wynikającej wprost z czasu, jak i z uwzględnieniem prędkości pojazdu i czasu. Zastosowałem metodę regresji liniowej, jako umożliwiającą otrzymanie nieskomplikowanego modelu matematycznego dla obydwu wymienionych powyżej wariantów. Budowę modeli liniowych umożliwił w przybliżeniu normalny rozkład wartości odległości fiksacji.

Wariant modelu odległości fiksacji wyrażonej czasem ma postać:

$$LF_s=5,0639+0,00572*V \quad [s]$$

w którym prędkość jest wyrażona jak we wzorze poprzednim.

Wariant modelu odległości fiksacji wyrażonej w jednostkach odległości ma postać:

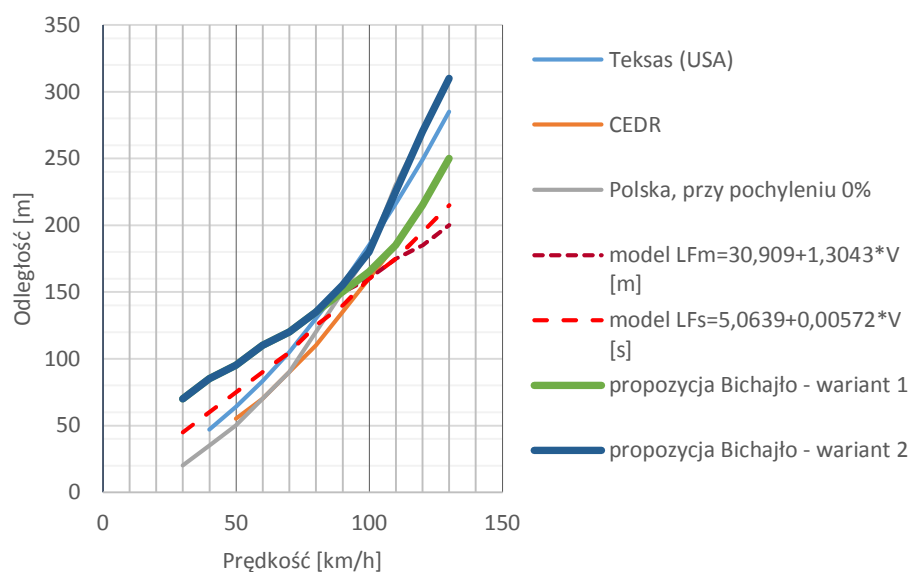
$$LF_m=30,909+1,3043*V \quad [m]$$

w którym prędkość jest wyrażona w kilometrach na godzinę.

Model liniowy zależności liniowej odległości fiksacji jest statystycznie istotny ( $R^2=0,001$ ,  $F=0,061$ ,  $t=0,248$ ).

Korzystając z opracowanego modelu obliczyłem odległości fiksacji wyrażone w jednostkach długości. Na podstawie powyższych wzorów, dla poszczególnych wartości prędkości opracowałem tabelę zawierającą uogólnione odległości fiksacji wzroku kierowców. Odległości fiksacji obliczone na podstawie modeli regresyjnych porównałem z odległościami widoczności na zatrzymanie zawartymi w polskich warunkach technicznych dla dróg publicznych (Obwieszczenie, 2016), amerykańskich (AASHTO, 2011) oraz wytycznych europejskich CEDR (Weber et al., 2016), przy czym należy zauważyć, że podane tam warunki widoczności mają zróżnicowane parametry wejściowe (wysokość oczu kierowcy nad jezdnią, wysokość przeszkody na jezdni). Porównując wyżej wymienione dokumenty zauważyłem, że w przedziale prędkości od 40 do 80/90 km/h odległość fiksacji jest większa niż wymagana odległość widoczności na zatrzymanie określona w polskich warunkach technicznych projektowania dróg publicznych. Powyżej prędkości 90 km/h odległość widoczności według polskich przepisów przekracza odległość fiksacji oraz odległość widoczności według CEDR, a powyżej 100 km/h widoczność według przepisów amerykańskich. Biorąc powyższe pod uwagę zaproponowałem w monografii, by w zakresie prędkości 40-90 km/h polskie wymagania zostały zmodyfikowane. Przede wszystkim pod uwagę powinna być wzięta nie tylko geometryczna odległość widoczności na

zatrzymanie, lecz także odległość fiksacji wynikająca z badań opisanych w tej pracy, a wyrażająca stwierdzony badaniami okulograficznymi zakres niezbędnej przestrzeni pozyskiwania informacji wzrokowej. Własną propozycję wymagań widoczności na zatrzymanie podałem w formie wykresu (rys. 2), podając krzywe dla wartości pożądaných i wymaganych.

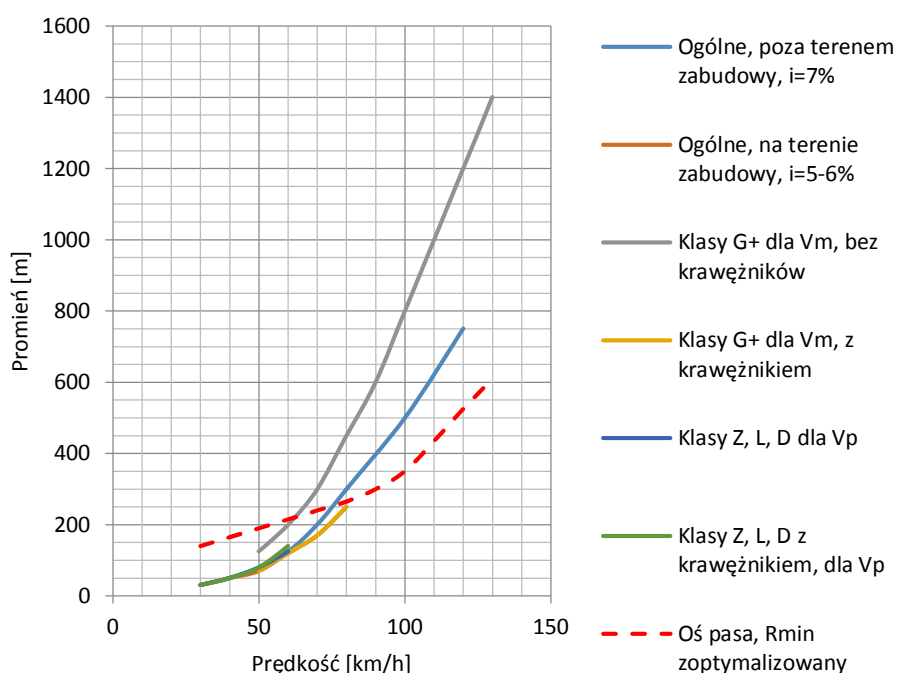


Rysunek 2 Propozycje krzywej odległości widoczności na zatrzymanie: wariant 1 – wymagany, wariant 2 – pożądaný.

Oprócz widoczności na zatrzymanie, w opisywanym rozdziale porównałem wymagane odległości decyzyjne określone w Nowej Zelandii, Stanach Zjednoczonych oraz w pracy McGee (AASHTO, 2011), (Layton, 2012), (McGee, 1979), (RTS6, 2001) z wynikami odległości fiksacji otrzymanymi z moich badań.

Kolejnym wątkiem opisanym w tym rozdziale jest dobór promienia krzywizny drogi w planie, umożliwiającý obserwację powierzchni jezdni bez odwracania głowy. Ten wątek podjąłem ze względu na niekorzystne skutki obrotu głowy w kierunku wewnętrznej części łuku drogi. Wychodząc z założenia, iż kierowca nie wykonując obrotu głową ma lepsze możliwości kontroli sytuacji ruchowej na drodze, gdyż może wykonywać ruchy sakadyczne oczu w przybliżeniu symetrycznie względem głowy w stronę lewą i prawą wysunąłem hipotezę, iż geometria łuku w planie powinna umożliwiać obserwację drogi w odległości niezbędnej widoczności za pomocą ruchów sakadycznych oczu o maksymalnej amplitudzie 15 stopni. Wykorzystując znane związki trygonometryczne określiłem kryterium sakadyczne dla minimalnych wartości promieni osi skrajnego pasa ruchu, gwarantujące nieprzekraczanie amplitudy sakad gałek ocznych, a wyniki

porównałem z wymaganiami warunków technicznych dla dróg publicznych w Polsce (rys. 3).



Rysunek 3. Krzywe wartości promieni osi skrajnego pasa dla kryterium sakad o amplitudzie do 15 stopni.

Z porównania wynika, iż ogólne wymagania dla dróg poza terenem zabudowy spełniają kryterium maksymalnej amplitudy sakad powyżej prędkości 75 km/h, a wymagania dla dróg klasy G i wyższych klas od prędkości 60 km/h. Natomiast drogi z krawężnikiem oraz drogi klasy Z, L i D bez krawężnika nie spełniają tego kryterium. Zaproponowane kryterium powinno być kryterium pomocniczym w projektowaniu geometrii drogi w planie. Zbliżone co do idei kryterium zaproponował profesor Sandecki - jako kryterium względnego odchylenia kąтового (Sandecki, 1976). Jego istota ma jednak inny punkt wyjścia, którego podstawą jest kąt objęty widzeniem dołkowym (widzeniem centralnym). Obszar jednorazowo objęty skanowaniem przez plamkę żółtą jest zamknięty w stożku o kącie wierzchołkowym 56 minut. Sandecki zaproponował, aby przestrzenna zmiana krzywizny wycinka drogi była objęta tą maksymalną wartością kąta. Zasada zaproponowana przeze mnie stanowi odmienne podejście, a jej podstawą jest wielkość amplitudy sakad, a nie kąt dołkowy. Nie oznacza to jednak uznania kryterium Sandeckiego za nieaktualne, a jest komplementarnym kryterium oceny przyjazności percepcyjnej drogi.

W rozdziale 9. podsumowałem wyniki prowadzonych badań i sformułowałem wnioski końcowe:

- droga powinna angażować kierowcę tak, aby dostarczać właściwej porcji informacji – nadmiar lub niefortunne rozmieszczenie wzdłuż drogi blokuje świadomą uwagę, a niedosyt może powodować przechodzenie w stan retrospekcji i planowania,
- głównym źródłem informacji wzrokowej jest obszar jezdni i jej obrys (oznakowany lub nie), zatem obszar ten jest potencjalnie najlepszym do lokalizowania informacji istotnej dla kierowcy (znaki na jezdni),



- obszar jezdni najbardziej eksplorowany wizualnie rozciąga się do około 100 - 230 metrów przed pojazdem, w zależności od ukształtowania i oznakowania drogi,
- na odcinkach przewidywanej zmiany pasa ruchu, powiązanej z udzieleniem pierwszeństwa innemu pojazdowi, wymagającej spojrzeń w lusterka zewnętrzne lub obracania głowy - nie powinno się lokalizować oznakowania pionowego i symboli na jezdni. Informacja wyrażona oznakowaniem powinna być podana przed tymi odcinkami,
- na odcinkach wylotów skrzyżowań, gdzie tor jazdy jest krzywoliniowy, następuje zmiana pasa ruchu, lub na długości wysp dzielących na wylocie z jednym pasem ruchu - nie powinno być lokalizowane oznakowanie pionowe i symbole na jezdni; wynika to z ograniczeń percepcji i zajęcia uwagi aktualizacją informacji o położeniu innych uczestników ruchu (z użyciem lusterek wstecznych włącznie),
- silne atraktory uwagi (w tym tablice aktywne, fotoradary itp.) nie powinny być lokalizowane w miejscach o podwyższonym prawdopodobieństwie kolizji z innymi uczestnikami ruchu, np. w obrębie skrzyżowań, przejść dla pieszych, przejazdów rowerowych, skrzyżowań z drogami szynowymi, a dystans od znaku do takiego miejsca powinien wynosić około 150 m,
- odległość widoczności według krajowych wymagań powinna być zaktualizowana o wyniki badań odległości fiksacyjnej,
- promienie łuków w planie powinny uwzględniać kryterium maksymalnej amplitudy sakad.

W końcowej części pracy określiłem także kierunki dalszych badań.

### **Wkład habilitanta w problematykę kształtowania przestrzeni drogi na podstawie analiz percepcji wzrokowej opisanych w monografii.**

Badania podjęte przeze mnie opierały się na analizie położenia gałek ocznych zarejestrowanego w rzeczywistych warunkach drogowo - ruchowych.

Zarejestrowane parametry opisujące położenie gałek ocznych wykorzystałem w następujących aspektach analiz:

- lokalizacja miejsc fiksacji wzroku, określenie elementów drogi i jej wyposażenia, które niosą kluczową informację dla kierowcy; analiza była detaliczna i obejmowała rozpoznanie każdej fiksacji i indywidualne przypisanie jej do konkretnego elementu drogi, wyposażenia i otoczenia,

- pożądana odległości widoczności (odległość fiksacyjna); odległości fiksacji wzroku otrzymane z analizy obrazu drogi i położenia gałek ocznych porównałem z odległością widoczności wymaganą w warunkach technicznych krajowych i zagranicznych. W analizie uwzględniłem niestosowany w Polsce parametr – odległość decyzyjną. Z analizy odległości fiksacji wzroku wysunięto wniosek, iż określona w krajowych warunkach technicznych projektowania dróg odległość widoczności na zatrzymanie w zakresie niskich prędkości jest mniejsza niż odległość fiksacji wzroku wyznaczająca pożądaną odległość widoczności,

- zaproponowałem autorskie krzywe widoczności na zatrzymanie wynikające z analiz fiksacji, drogi hamowania i dotychczas obowiązujących warunków widoczności,

- wskazałem przykłady stref ograniczonej percepcji pionowych znaków drogowych w obrębie skrzyżowań i węzłów, wymagające szczególnego podejścia w zakresie rozmieszczenia oznakowania. Wynikają one z ograniczeń procesów percepcji i przeładowania uwagi wzrokowej informacjami,

- zaproponowałem kryterium doboru promieni łuków w planie ze względu na właściwości percepcji tak, aby kierowca nie był zmuszany do obrotu głowy w czasie pokonywania łuku w planie i ograniczania obserwowanej przestrzeni drogi, lecz by mógł obserwować jej krzywoliniową przestrzeń wykonując ruchy sakadyczne wzroku ograniczone w zakresie amplitudy do 15 °.

Wymienione powyżej analizy i ich rezultaty zawarte w monografii stanowią mój oryginalny wkład w dotychczasowy stan wiedzy o interakcji organizacji przestrzeni drogi i percepcji wzrokowej. Mogą być przydatne przy ustanawianiu kryteriów projektowania dróg i przestrzeni drogi. Ich uwzględnienie może wpłynąć na komponowanie dróg przyjaznych percepcyjnie, nie wywołujących nadmiernego obciążenia uwagi kierowcy, samoobjaśniających się.

#### **Literatura do rozdziału 4.1:**

AASHTO, 2011. *A Policy on Geometric Design of Highway and Streets*. Washington, DC, American Association of State Highway and Transportation Officials.

Bichajło, L., 2005. *Wpływ ukształtowania i wyposażenia mostu z dojazdami na percepcję wzrokową kierowców*. Rozprawa doktorska red. Warszawa: Politechnika Warszawska.

Bichajło, L. i Sandecki, T., 2005. Analiza wpływu ukształtowania i wyposażenia wybranych mostów z dojazdami na percepcję wzrokową kierowców. *Drogi i Mosty*, Issue 3, pp. 23-44.

Budzyński, M. i inni, 2016. Narzędzia zarządzania bezpieczeństwem infrastruktury drogowej w Polsce. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury JCEEA*, XXXIII(63), pp. 153-160.

Crundall, D. i inni, 2012. Some hazards are more attractive than others: Drivers of varying experience respond differently to different types of hazard.. *Accident Analysis & Prevention*, Issue 45, pp. 600-609.

Eyese, 2014. *Eyese*. [Online]

Available at: <http://eyese-research.com/blog/eye-tracking-history>

[Data uzyskania dostępu: 20 08 2018].

Fisher, D. L., Rizzo, M., Caird, J. i Lee, J., 2017. *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology*. brak miejsca: CRC Press.

Gaca, S., 2002. *Badania prędkości pojazdów i jej wpływu na bezpieczeństwo ruchu drogowego*. Kraków: Politechnika Krakowska.

ISO-15007-2, 2014. *Road vehicles - Measurement of driver visual behaviour with respect to transport information and control systems -- Part 2: Equipment and procedures*. brak miejsca: brak nazwiska

Jamroz, K., 2011. *Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej*. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.

Kieć, M., 2014. Zastosowanie techniki konfliktów ruchowych jako miary pośredniej w ocenie bezpieczeństwa ruchu drogowego. *Logistyka*, Issue 6, pp. 5395-5404.

- Layton, R., 2012. *Decision Sight Distance*. [Online]  
Available at: <https://cce.oregonstate.edu/sites/cce.oregonstate.edu/files/12-3-decision-sight-distance.pdf>  
[Data uzyskania dostępu: 10 10 2018].
- Lee, J. i inni, 2013. *Detection of driver distraction using vision-based algorithms*. Seul, brak nazwiska
- McGee, H., 1979. *Decision Sight Distance for Highway Design and Traffic Requirements*. [Online]  
Available at: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1979/736/736-003.pdf>  
[Data uzyskania dostępu: 02 02 2019].
- Ober, J. i inni, 2001. *Monitorowanie parametrów psychofizycznych operatora systemu - multisensor "Jazz"*. Warszawa, Instytut Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN, pp. 436-441.
- Obwieszczenie, 2016. *Obwieszczenie ministra infrastruktury i budownictwa w sprawie jednolitego tekstu rozporządzenia w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie*. Warszawa: Sejm RP.
- RTS6, 2001. *Guidelines for visibility at driveways RTS 6*, brak miejsca: Land Transport Safety Authority, Nowa Zelandia.
- SAE J-2396, 2017. *Definitions and Experimental Measures Related to the Specification of Driver Visual Behavior Using Video Based Techniques*. [Online]  
Available at: [https://www.sae.org/standards/content/j2396\\_201705/](https://www.sae.org/standards/content/j2396_201705/)  
[Data uzyskania dostępu: 20 03 2019].
- Salthouse, T. i Ellis, C., 1980. Determinants of eye-fixation duration. *American Journal of Psychology*, pp. 207-234.
- Sandecki, T., 1976. *Projektowanie dróg. Kryterium względnego odchylenia kąтового*. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności,.
- Szagała, P., Olszewski, P., Czajewski, W. i Dąbkowski, P., 2016. Ocena bezpieczeństwa na przejściach dla pieszych przy pomocy analizy obrazu video. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury JCEEA*, XXXIII(63), pp. 331-341.
- Szczuraszek, T., 2008. *Prędkość pojazdów w warunkach drogowego ruchu swobodnego*. Warszawa: Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN.
- Szczuraszek, T., Kempa, J. i Olenkiewicz-Trempała, P., 2016. Enhancement of road safety by improving the process of road infrastructure designing. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury JCEEA*, XXXIII(63), pp. 259-366.
- TobiiPro, 2018. [Online]  
Available at: [https://connect.tobii.com/s/article/When-do-I-use-the-I-VT-Attention-filter?language=en\\_US](https://connect.tobii.com/s/article/When-do-I-use-the-I-VT-Attention-filter?language=en_US)  
[Data uzyskania dostępu: 24 06 2018].
- Weber, R. i inni, 2016. *European Sight Distances in perspective – EUSight*, Brussels: CEDR.

#### 4.2. Cykl publikacji pt.: „Zwiększanie odporności na deformacje asfaltu lanego poprzez dodatek asfaltu naturalnego Trinidad Epure”

Cykl obejmuje następujące publikacje (kolejność według daty opublikowania):

1. **Bichajło L.**,

Wpływ temperatury na moduł sztywności mieszanki asfaltu lanego, 2015, TTS TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO, z.12, s.123-125, ISBN/ISSN: 1232-3829, punktacja MNiSW – 5 pkt.,

2. **Bichajło L.**, Kołodziej K.

Wpływ dodatku asfaltu naturalnego TRYNIDAD EPURE na podstawowe cechy asfaltu drogowego  
2015, TTS TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO, z.12, s.126-130  
ISBN/ISSN: 1232-3829  
punktacja MNiSW – 5 pkt.,

3. Kołodziej K., **Bichajło L.**

Lepkość zerowego ścinania asfaltu 35/50 z dodatkiem asfaltu naturalnego Trinidad Epure (TE)  
2017, MATERIAŁY BUDOWLANE, z.8, s.68-70  
ISBN/ISSN: 0137-2971  
punktacja MNiSW – 8 pkt.,

4. Kołodziej K., **Bichajło L.**

Comparison of methods of testing resistance to permanent deformation of mastic asphalt, 2019, CZASOPISMO INŻYNIERII LĄDOWEJ, ŚRODOWISKA I ARCHITEKTURY. JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENT AND ARCHITECTURE, t.XXXVI, z.66 (2/19), s.35-48  
ISBN/ISSN: 2300-5130  
punktacja MNiSW – 5 pkt.,

5. Kołodziej K., **Bichajło L.**, Siwowski T.

Wpływ starzenia krótkoterminowego asfaltu 35/50 z dodatkiem asfaltu naturalnego na modelowanie lepkości zerowego ścinania  
2020, MATERIAŁY BUDOWLANE, z.11, s.54-57  
ISBN/ISSN: 0137-2971  
punktacja MNiSW – 5 pkt.,

6. Kołodziej K., **Bichajło L.**, Siwowski T.

Experimental Study on Physical and Rheological Properties of Trinidad Lake Asphalt Modified Binder  
2021, APPLIED SCIENCES-BASEL, t.11, z.6, s.1-15  
ISBN/ISSN: 2076-3417  
punktacja MNiSW – 70 pkt.,

7. Kołodziej K., **Bichajło L.**, Siwowski T.

Effects of Aging on the Physical and Rheological Properties of Trinidad Lake Asphalt Modified Bitumen

2021, MATERIALS, t.14, z.10, s.1-18  
ISBN/ISSN: 1996-1944  
punktacja MNiSW – 130 pkt.,

8. Kołodziej K., **Bichajło L.**, Siwowski T.

Influence of composition and properties of mastic with natural asphalt on mastic asphalt mixture resistance to permanent deformation  
2021, ROADS AND BRIDGES-DROGI I MOSTY, t.20, z.1, s.57-73  
ISBN/ISSN: 1643-1618  
punktacja MNiSW – 40 pkt.,

9. Kołodziej K., **Bichajło L.**, Siwowski T.

The Influence of Zero Shear Viscosity of TLA-Modified Binder and Mastic Composition on the Permanent Deformation Resistance of Mastic Asphalt Mixture  
2021, MATERIALS, t.14, z.18, s.1-20  
ISBN/ISSN: 1996-1944  
punktacja MNiSW – 130 pkt.

Moje zainteresowanie jakością mieszanek asfaltu lanego wynika z wniosków z wykonanych przeze mnie przeglądów kilkudziesięciu obiektów mostowych oraz opinii i ekspertyz związanych z uszkodzeniami nawierzchni na obiektach mostowych, których część zawiera artykuł:

**Bichajło L.**, Siwowski T., Kołodziej K.: Problemy trwałości nawierzchni mostowych z warstwą ochronną z asfaltu lanego. [w:] Trwałość obiektów mostowych., (pod red.) Jan Biliszcuk, 2012, Wrocław: Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, s.177-184, ISBN/ISSN: 9788371252228.

W wielu kładkach stalowych i mostach lub wiaduktach stwierdzałem spękania, fałdy, koleiny i inne uszkodzenia nawierzchni, świadczące o niedoskonałości mieszanek mineralno-asfaltowych użytych w nawierzchni. W przypadku kładek były to nawierzchnie jednowarstwowe z asfaltu lanego, a w przypadku jezdni – nawierzchnie dwuwarstwowe, z warstwą ochronną izolacji wykonaną z asfaltu lanego. Głównym problemem w tym przypadku były deformacje trwałe spowodowane słabą odpornością mieszanki asfaltu lanego na naprężenia od kół pojazdów. Stało się to przyczyną podjęcia przeze mnie próby zgłębienia tej tematyki, w celu ograniczenia podatności nawierzchni na odkształcenia plastyczne i zwiększenia jej trwałości. Pierwszą publikacją z tej tematyki był artykuł nr 1:

1. **Bichajło L.**, Wpływ temperatury na moduł sztywności mieszanki asfaltu lanego, 2015, TTS  
TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO, z.12, s.123-125, ISBN/ISSN: 1232-3829.

W artykule opisałem wyniki badania modułu sztywności mieszanki asfaltu lanego MA 11 z asfaltem modyfikowanym elastomerem PMB 25/55-60 o zawartości w MMA 7,1% m/m oraz zawartości wolnych przestrzeni 0,5 %. Badania modułu sztywności wykonałem metodą IT-CY, w temperaturze 5, 10 i 20 °C. Wyniki badań wskazały niekorzystne zmniejszanie się wartości modułu sztywności wraz ze wzrostem temperatury, przebiegające według równania kwadratowego. Duża zmiana wartości modułu sztywności powyżej temperatury 10 °C powoduje, iż mieszanka asfaltu lanego szybko traci właściwości sprężyste, co może skutkować jej dużą podatnością na odkształcenia trwałe. Usztywnianie asfaltu lanego poprzez zwiększenie zawartości kruszywa łamanego ma ograniczenia, ponieważ mieszanka asfaltu lanego powinna mieć odpowiednią urabialność i być samozagęszczalna. Zatem poszukiwania zwiększenia sztywności

należało poszukiwać przede wszystkim w zastosowaniu innych lepiszczy i ewentualnie drobnego kruszywa wypełniającego, tworzącego wraz z lepiszczem mastyks usztywniający mieszankę.

Wśród możliwych rozwiązań modyfikacji lepiszcza do rozważenia było zastosowanie dodatku asfaltu naturalnego, którego wpływ na zmiany właściwości użytkowych mieszanek wałowanych był już znany. Natomiast w zakresie wpływu na właściwości mieszanki asfaltu lanego to zagadnienie nie było szeroko i szczegółowo opisane w literaturze. Tą tematyką zainteresowałem mojego współpracownika Krzysztofa Kołodzieja, asystenta w Katedrze Dróg i Mostów Politechniki Rzeszowskiej, z którym wspólnie prowadziliśmy dalsze prace laboratoryjne, wybierając dostępny wówczas asfalt naturalny Trynidad Epure (TE) jako dodatek do lepiszcza bazowego. Głównym celem zastosowania dodatku było zmniejszenie deformacji plastycznych w nawierzchniach jezdni obiektów mostowych, a także rozpoznanie możliwości oceny odporności na odkształcenia trwałe mieszanki asfaltu lanego już na etapie oceny właściwości lepiszcza z dodatkiem TE. W badaniach mieszanki - oprócz standardowego badania stemplem statycznym zastosowaliśmy badania z użyciem stempla dynamicznego, wykorzystując wiedzę zawartą w publikacjach autorów z zagranicy, głównie Austrii, Szwajcarii i Niemiec. W tym celu przystosowaliśmy urządzenie UTM do badań metodą stempla dynamicznego, poprzez wykonanie przystawki i modyfikację parametrów sterowania urządzeniem. Pozytywne doświadczenia z tego etapu stały się podstawą do zainteresowania prof. Tomasza Siwowskiego, który zgodził się zostać promotorem pracy doktorskiej Krzysztofa Kołodzieja, natomiast ja zostałem promotorem pomocniczym. Efektem naszych prac badawczych są publikacje z moim współautorstwem, wymienione poniżej. W wymienionych poniżej publikacjach opisaliśmy wyniki badań zarówno lepiszcza, jak i mastyksu oraz mieszanki asfaltu lanego z dodatkiem TE, wykazując jego korzystny wpływ na odporność asfaltu lanego na deformacje trwałe.

W pierwszej kolejności założonego programu badań ocenie poddany został wpływ dodatku asfaltu naturalnego Trynidad Epuré na podstawowe właściwości asfaltu drogowego: penetrację, temperaturę mięknięcia i temperaturę łamliwości. W badaniach zastosowany został asfalt drogowy 35/50 oraz zmienna ilość dodatku TE od 0 do 50 % w stosunku do asfaltu bazowego. Ilość dodatku zmieniano co 10%. Na podstawie badań został wyznaczony temperaturowy zakres plastyczności oraz indeks penetracji. Analiza wyników badań wskazała pozytywny wpływ dodatku TE na właściwości asfaltu 35/50. Zmniejszenie penetracji oraz wzrost temperatury mięknięcia wskazał usztywniające właściwości dodatku TE. Ilość dodatku powyżej 23% powodowała przejście asfaltu wyjściowego z gatunku 35/50 do gatunku 20/30 (określonego na podstawie penetracji w 25 °C), przy górnej granicy temperatury mięknięcia dla tego asfaltu. Zauważalny był również wpływ dodatku na wartość na temperatury łamliwości. Dodatek TE do 15 % podwyższył temperaturę łamliwości o 1 °C w stosunku do asfaltu bez dodatku TE, przy dodatku 20% temperatura łamliwości podwyższyła się o 2 °C. Dalsze zwiększanie dodatku do asfaltu bazowego powodowało szybkie podwyższanie się temperatury łamliwości. Na podstawie badań uznaliśmy, że właściwym górnym zakresem dodatku TE do asfaltu 35/50 jest 20 %.

Wyniki badań opisaliśmy w artykule nr 2:

## 2. **Bichajło L., Kołodziej K.**

Wpływ dodatku asfaltu naturalnego TRYNIDAD EPURE na podstawowe cechy asfaltu drogowego

2015, TTS TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO, z.12, s.126-130

ISBN/ISSN: 1232-3829

punktacja MNiSW – 5 pkt.,

(mój wkład merytoryczny w przygotowanie badań, ich przeprowadzenie i opracowanie wyników w oceniam na 50 %).

Następnym analizowanym zagadnieniem było sprawdzenie możliwości oceny odporności na odkształcenia plastyczne przyszłej mieszanki asfaltu lanego za pomocą lepkości zerowego ścinania (*Zero Shear Viscosity - ZSV*) lepiszcza modyfikowanego i niemodyfikowanego dodatkiem asfaltu naturalnego TLA, w tym także w aspekcie efektu starzenia lepiszcza.

Wpływ ten był oceniany także za pomocą klasycznych parametrów (zmiana penetracji, temperatury mięknięcia).

Lepkość zerowego ścinania jest jednym z parametrów mogących służyć do oceny odporności na deformacje trwałe mieszanek mineralno-asfaltowych. Do badań został użyty asfalt drogowy 35/50, niemodyfikowany oraz modyfikowany dodatkiem asfaltu naturalnego TE w ilości 10 i 20% w stosunku do masy asfaltu bazowego. Badania zostały przeprowadzone dla trzech temperatur: 40, 50 i 60 °C. Uzyskane wyniki potwierdziły zależność ZSV od temperatury oraz ilości dodatku TE i dobrą zależność między parametrami modelu Crossa, stosowanego do opisu właściwości reologicznych lepiszcza, a konsystencją lepiszcza asfaltowego. Efektem przeprowadzonych badań są publikacje nr 3, 5 - 7:

3. Kołodziej K., **Bichajło L.**

Lepkość zerowego ścinania asfaltu 35/50 z dodatkiem asfaltu naturalnego Trinidad Epure (TE)  
2017, MATERIAŁY BUDOWLANE, z.8, s.68-70  
ISBN/ISSN: 0137-2971  
punktacja MNiSW – 8 pkt.,

(mój wkład merytoryczny w przygotowanie badań, ich przeprowadzenie i opracowanie wyników oceniam na 45 %).

5. Kołodziej K., **Bichajło L.**, Siwowski T.

Wpływ starzenia krótkoterminowego asfaltu 35/50 z dodatkiem asfaltu naturalnego na modelowanie lepkości zerowego ścinania  
2020, MATERIAŁY BUDOWLANE, z.11, s.54-57  
ISBN/ISSN: 0137-2971,

(mój wkład merytoryczny w przygotowanie badań, ich przeprowadzenie i opracowanie wyników oceniam na 40 %).

6. Kołodziej K., **Bichajło L.**, Siwowski T.

Experimental Study on Physical and Rheological Properties of Trinidad Lake Asphalt Modified Binder  
2021, APPLIED SCIENCES-BASEL, t.11, z.6, s.1-15  
ISBN/ISSN: 2076-3417

(mój wkład merytoryczny w przygotowanie badań, ich przeprowadzenie i opracowanie wyników oceniam na 45 %).

7. Kołodziej K., **Bichajło L.**, Siwowski T.

Effects of Aging on the Physical and Rheological Properties of Trinidad Lake Asphalt Modified Bitumen  
2021, MATERIALS, t.14, z.10, s.1-18  
ISBN/ISSN: 1996-1944

(mój wkład merytoryczny w przygotowanie badań, ich przeprowadzenie i opracowanie wyników oceniam na 45 %).

W mieszance asfaltu lanego istotną funkcję w przenoszeniu obciążeń spełnia mastyks, będący połączeniem lepiszcza, wypełniacza i drobnego kruszywa. Ocena, jak proporcja wypełniacz/lepiszcze asfaltowe wpływa na rozwój deformacji plastycznych w mieszance asfaltu lanego, została wykonana poprzez badanie ciągliwości mastyksu. W mieszance asfaltu lanego odporność na deformacje trwale zależy głównie od właściwości mastyksu, ponieważ w mieszance tej ilość kruszywa łamanego (ze względu na urabialność) jest mniejsza niż w innych mieszankach mineralno-asfaltowych. Próbkę do badań zostały wykonane na bazie asfaltu drogowego 35/50 modyfikowanego dodatkiem naturalnego bitumu Trinidad Epuré oraz kruszywa wypełniającego. Celem szczegółowym badań było określenie wpływu stosunku wypełniacz-lepiszcze oraz ilości naturalnego dodatku bitumicznego na energię rozciągania w próbie plastyczności, a także określenie korelacji między właściwościami mastyksu zawierającego lepiszcze modyfikowane a charakterystyki otrzymanej mieszanki asfaltu lanego.

Wyniki badań wskazały, iż:

- dodatek asfaltu naturalnego powoduje usztywnienie mastyksu asfaltowego, o czym świadczy wzrost energii odkształcenia wraz ze zwiększaniem zawartości TLA;
- optymalny wzrost umownej energii odkształcenia  $W_{odk}$  mastyksu, świadczący o jego zwiększonej kohezji, uzyskano przy stosunku w/l = 3,6 oraz 10% ilości dodatku TLA,
- przy stosunku w/l wynoszącym około 2,9 zmienia się charakter mastyksu, tj. ze wzrostem w/l mastyks staje się bardziej sztywny,
- na podstawie badań penetracji statycznej i dynamicznej stwierdzono, że dodatek asfaltu naturalnego do wartości około 10% oraz wzrost stosunku w/l powoduje zwiększenie odporności na odkształcenia trwale.

Opis wyników badań przedstawiliśmy w artykule nr 8:

8. Kołodziej K., **Bichajło L.**, Siwowski T.

Influence of composition and properties of mastic with natural asphalt on mastic asphalt mixture resistance to permanent deformation  
2021, ROADS AND BRIDGES-DROGI I MOSTY, t.20, z.1, s.57-73  
ISBN/ISSN: 1643-1618

(mój wkład merytoryczny w przygotowanie badań, ich przeprowadzenie i opracowanie wyników oceniam na 40 %).

Innym analizowanym aspektem w cyklu badań była ocena wpływu dodatku asfaltu TE na odporność na odkształcenia trwale mieszanki asfaltu lanego. W pierwszej kolejności postawiliśmy pytanie – czy stosowane w Polsce badanie stemplem statycznym jest wystarczającym badaniem dla oceny odporności mieszanki asfaltu lanego na deformacje trwale i czy zachodzi korelacja wyników pomiędzy testem statycznym i dynamicznym? Nie było to oczywiste ze względu na warunki przeprowadzania obydwu badań – zróżnicowane temperatury, inne sposoby wywierania obciążenia na próbkę lepiszcza, a także brak szerszej praktyki wykonywania testu dynamicznego w warunkach polskich. Badania penetracji stemplem statycznym i dynamicznym zostały przeprowadzone dla mieszanki MA 8 z asfaltem drogowym 35/50 w ilości 7 i 8 % oraz z dodatkiem asfaltu naturalnego TE (zawartość 10 i 20 % w masie lepiszcza użytego do mieszanki asfaltu lanego). Badania zostały wykonane przed starzeniem i po symulowanym starzeniu technologicznym RTFOT. Badania stemplem statycznym wykonaliśmy aparatem standardowym,



natomiast w celu wykonania badań stemplem dynamicznym wykonaliśmy przestawkę do urządzenia UTM-25. Wyniki badań zostały opracowane statystycznie. Wartość współczynnika zmienności RSD dla badania statycznego była średnio 1,4 razy większa niż dla testu dynamicznego. Ponadto przeprowadziliśmy sprawdzenie, czy niewielkie różnice w penetracji próbki są wywołane poprzez sposób przygotowania próbki (np. sposób ułożenia kruszywa, różny stopień zagęszczenia), czy też jest to tylko wpływ niedokładności pomiaru. W tym celu wykonaliśmy test jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla 4 mieszanek o zbliżonej wartości penetracji. Test Fishera pokazał, iż na poziomie 0,05 nie można potwierdzić hipotezy o znaczącym wpływie składu MMA na uzyskane wyniki penetracji.

Wnioski z badań były następujące:

- obecnie stosowana metoda penetracji stemplem statycznym niewystarczająco różnicuje mieszanki w zakresie penetracji 1-3 mm,
- metoda dynamiczna w badaniu penetracji asfaltu lanego cechuje się lepszą precyzją badania,
- metoda dynamiczna w większym stopniu różnicuje mieszanki, pozwalając wybrać najbardziej optymalny skład mieszanki asfaltu lanego.

Wyniki badań zaprezentowaliśmy w publikacji nr 4 i 9:

4. Kołodziej K., **Bichajło L.**

Comparison of methods of testing resistance to permanent deformation of mastic asphalt, 2019, CZASOPISMO INŻYNIERII LĄDOWEJ, ŚRODOWISKA I ARCHITEKTURY. JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENT AND ARCHITECTURE, t.XXXVI, z.66 (2/19), s.35-48  
ISBN/ISSN: 2300-5130

(mój wkład merytoryczny w przygotowanie badań, ich przeprowadzenie i opracowanie wyników oceniam na 50 %).

9. Kołodziej K., **Bichajło L.**, Siwowski T.

The Influence of Zero Shear Viscosity of TLA-Modified Binder and Mastic Composition on the Permanent Deformation Resistance of Mastic Asphalt Mixture 2021, MATERIALS, t.14, z.18, s.1-20  
ISBN/ISSN: 1996-1944

(mój wkład merytoryczny w przygotowanie badań, ich przeprowadzenie i opracowanie wyników oceniam na 40 %).

Oświadczenie o wkładzie merytorycznym współautorów każdej z powyższych publikacji znajduje się w Załączniku 4, a kopie wymienionych publikacji znajdują się w Załączniku 5.

### **Wkład habilitanta w opracowanie technologii zwiększania odporności mieszanki asfaltu lanego na odkształcenia trwale za pomocą dodatku asfaltu naturalnego.**

Przeprowadzone badania wykazały pozytywny wpływ dodatku asfaltu naturalnego na właściwości lepiszcza asfaltowego Trynidad Epuré oraz mieszanki asfaltu lanego wytworzonego z udziałem lepiszcza z tym dodatkiem.

Przede wszystkim dzięki zastosowaniu dodatku asfaltu naturalnego zwiększyła się odporność na deformacje plastyczne, co zostało wykazane w naszych badaniach zarówno za pomocą testu statycznego, jak i dynamicznego.

Z badań wynika także, iż na podatność na deformacje plastyczne duży wpływ w przypadku mieszanki asfaltu lanego ma proporcja wypełniacz/lepiszcze. Mastyks składający się z tych składników działa usztywniająco na mieszankę w przypadku większego stosunku wypełniacz/lepiszcze, natomiast dodatek asfaltu naturalnego efekt ten zwiększa.

Ponadto z badań wynika, iż ocenę przyszłej podatności na odkształcenia trwałe asfaltu lanego można wykonać już na etapie badań lepiszcza, poprzez ocenę jego lepkości zerowego ścinania, Metoda jest adekwatna także w przypadku lepiszcza modyfikowanego dodatkiem asfaltu naturalnego. Umożliwia to wczesną korektę przyjętych założeń projektu mieszanki asfaltu lanego, redukując nakłady czasu i koszty w stosunku do próbnich zarobów mieszanki asfaltu lanego.

Mój wkład w opracowanie technologii zwiększania odporności mieszanki asfaltu lanego na odkształcenia trwałe za pomocą dodatku asfaltu naturalnego obejmuje:

- analizę właściwości i zastosowań asfaltu naturalnego,
- pomysł zastosowania asfaltu naturalnego w mieszance asfaltu lanego,
- współpracowanie planu i zakresu badań,
- pozyskanie niezbędnych komponentów mieszanek mineralno-asfaltowych,
- udział w ustaleniu optymalnej ilości dodatku TE do lepiszcza bazowego,
- interpretację wyników badań temperatury mięknięcia, łamliwości, penetracji lepiszcza i mieszanki, energii dyssypacji, lepkości, modułu sztywności, odporności na odkształcenia trwałe,
- dobór metod obróbki statystycznej wyników,
- formułowanie wniosków,
- redagowanie tekstów publikacji.

### 4.3. Oryginalne rozwiązanie projektowe

Tytuł rozwiązania:

**„Zastosowanie czujników oblodzenia nawierzchni na pochyłym wlocie skrzyżowania w celu wykonania sygnalizacji świetlnej dostosowującej się do warunków atmosferycznych”.**

W związku z prowadzoną przeze mnie działalnością projektową (posiadam uprawnienia budowlane projektowe i do kierowania robotami budowlanymi od roku 1998), opracowywałem w roku 2005 projekt przebudowy skrzyżowania drogi krajowej nr 9 (obecnie nr 19) z drogą powiatową i gminną w m. Zwiężczyca (obecnie Rzeszów), pt. „Projekt wykonawczy przebudowy skrzyżowania drogi krajowej nr 9 z ul. Micała i ul. Dolną w Zwiężczy, związany ze zmianą organizacji ruchu wraz z niezbędną przebudową sieci uzbrojenia terenu”.

Ze względu na duże obciążenie ruchem na drodze krajowej, wyjazd z dróg podrzędnych był utrudniony, a oczekiwanie na czas oczekiwania na wjazd na drogę z pierwszeństwem przejazdu sięgał kilkunastu minut. Dochodziło do wymuszeń pierwszeństwa przejazdu oraz do kolizji. Widok istniejącego skrzyżowania przed przebudową pokazują rysunki nr 4 i 5.



*Rysunek 4. Dojazd do skrzyżowania przed przebudową, widok od strony Rzeszowa (fot. własna).*



Rysunek 5. Widok tarczy skrzyżowania od strony ul. Dolnej (wlot podporządkowany „D”, od strony wschodniej, fot. własna)

Istniejący projekt przebudowy drogi krajowej nie przewidywał budowy sygnalizacji świetlnej, a jednocześnie był już realizowany na odcinkach przyległych do skrzyżowania.

W porozumieniu z wykonawcą robót zaproponowałem korekty geometryczne i zainstalowanie sygnalizacji świetlnej acyklicznej, akomodacyjnej, tak aby wszystkie konieczne roboty budowlane nie wykraczały poza obręb pasa drogowego – co umożliwiło ich wykonanie na podstawie zgłoszenia robót, a nie pozwolenia na budowę, a także wykonanie robót w ramach już realizowanego kontraktu.

Zastosowanie sygnalizacji świetlnej było obarczone ryzykiem dużych utrudnień na wlocie południowym drogi krajowej (wlot „B” na rys. 10), o dużym pochyleniu podłużnym (5,9%) – w przypadku śliskiej nawierzchni. Analizując możliwe rozwiązania techniczne zabezpieczające ciągłość ruchu zaproponowałem zainstalowanie dwóch lotniskowych czujników oblodzenia, sprzężonych ze sterownikiem sygnalizacji świetlnej. Zadaniem czujników był pomiar temperatury i wilgotności warstwy ścieralnej nawierzchni, które w przypadku możliwości zaistnienia oblodzenia wysyłały sygnał do sterownika sygnalizacji. Ten powinien zareagować przełączeniem sygnalizacji (poprzez program końcowy) w tryb ostrzegawczy (migający, światło żółte) oraz przywróceniem trybu trójkolorowego (poprzez program startowy) po ustaniu warunków śliskości.

Jako najlepsze rozwiązanie zaproponowałem system AeroTech, stosowany na lotniskach skandynawskich. System składał się z 2 czujników (frensorów) z przewodami i kontrolera mikroprocesorowego. System miał opcję integracji z systemem informacji pogodowej. W momencie zamarzania substancji lub zamiany ze stanu ciekłego w stały, zużywana jest energia w formie ciepła. Element aktywny czujnika Peltiera ochładza i ociepla ciecz lub wilgoć na swojej

powierzchni w 5 minutowych cyklach, kontrolowanych przez mikroprocesor. Jednocześnie mierzona jest temperatura elementu. W ten sposób zostaje wyznaczony punkt zamarzania.

Poprzez odpowiednio zaprojektowaną instalację akwizycji danych sygnał ten był przechwytywany przez sterownik sygnalizacji świetlnej, który w zależności od zidentyfikowanych warunków przełączał tryb działania sygnalizacji z trójkolorowego na ostrzegawczy i odwrotnie. Pomysł został zaakceptowany przez GDDKiA.

Charakterystyka czujnika:

- wysokość: 80 mm,
- szerokość: 60 mm,
- napięcie zasilania: 12 V DC,
- wyjście analogowe: 2-20 mA,
- moc: < 100 mW,
- zakres temperatury pomiar: -30 do +10 °C,
- pomiar możliwy przy wilgotnej i suchej nawierzchni,
- pomiar temperatury punktu zamarzania 0 do -10°C, niezależnie od rodzaju i ilości środków do usuwania oblodzenia.

Frensor spełniał normy: EN 50081, EN 50082. Został opatentowany w Europie, USA i Japonii.

Kolejnym aspektem projektu była organizacja ruchu i schemat pracy sygnalizacji świetlnej. Wykonałem pomiary ruchu drogowego na skrzyżowaniu, analizując także nagrane przeze mnie materiały wideo, dostarczające informacji o:

- długości kolejek na wlotach podporządkowanych,
- czasie oczekiwania na wlotach podporządkowanych,
- czasie oczekiwania i opóźnieniach przy ruszaniu na wlotach z pierwszeństwem przejazdu w sytuacji grzecznościowego ustępowania pierwszeństwa pojazdom oczekującym na wlotach podporządkowanych,
- poruszaniu się pieszych – prędkości pieszych, ich widoczności (rejon szkoły podstawowej).

Na podstawie analiz ruchu zaproponowałem nietypowe relacje skrętne na wlocie od strony Rzeszowa („R”) – wydzieloną relację skrętu w prawo oraz wspólne z pasa środkowego relacje na wprost i w lewo, z krótką „kieszenią” lewoskrętu w obrębie tarczy skrzyżowania. Długość kieszeni dostosowałem do 3 pojazdów osobowych, a jednocześnie skoordynowałem z położeniem wyspy dzielącej na wlocie „R” od strony Rzeszowa. Biorąc pod uwagę znaczący ruch autobusów oraz na relacji „R” – „N” szczegółowo dopracowałem kształt i położenie wspomnianej wyspy dzielącej tak, aby nie stanowiła utrudnień i konieczności hamowania autobusów (rys. 10).

Analizowałem również widoczność przejść dla pieszych, w tym zwłaszcza na wlocie „R”, a także widoczność oznakowania poziomego (linii segregacyjnych w obrębie tarczy skrzyżowania i wylotu „B”), ze względu na nieprostoliniowy przebieg pasa ruchu na relacji „R”-„B”. Wykonałem w tym celu modelowanie trójwymiarowe w programie AutoCad Civil 3D.

Następnie opracowałem programy i algorytmy pracy sygnalizacji świetlnej. Wykorzystałem obserwacje zachowania kierowców opisane powyżej, a także oprogramowanie „a40proj”,



interaktywne oprogramowanie do mikrosymulacji dostępne na stronie internetowej [www.traffic-simulation.de](http://www.traffic-simulation.de)) oraz własne arkusze obliczeniowe sporządzone w programach Mathcad i Excel. Głównym celem analiz było wyznaczenie bezpiecznych czasów międzyzielonych w specyficznym układzie trajektorii i warunków na wlotach. Ponadto, na wlocie „R” od strony Rzeszowa, przewidziałem wydłużenie czasu sygnału zielonego, obliczając niezbędny czas wydłużenia na podstawie literatury opisującej reakcję kierowcy w przypadku hamowania oczekiwanego i nieoczekiwanego, opisane w pracy [Datka, Suchorzewski i Tracz, 1999] oraz obserwacje własne. Wynika on z obliczenia drogi hamowania przy hamowaniu normalnym i panicznym z prędkości 60 km/h. Przy hamowaniu panicznym przyjmuje się 100% wykorzystanie hamulców, a przy hamowaniu normalnym - 70%. Oprócz programu akomodacyjnego opracowałem program stałoczasowy, startowy i końcowy. Wszystkie te uwarunkowania zostały opisane w opracowanej przeze mnie dokumentacji projektowej, a wykonawca wprowadził je do sterownika sygnalizacji świetlnej. Zastosowano sterownik firmy A-ster z Krakowa. Projekt został zrealizowany, a sygnalizacja funkcjonowała w ten sposób do rozbudowy drogi, to jest do roku 2018.

Fotografie skrzyżowania po przebudowie oraz fotografię zainstalowanych czujników pokazałem na rysunkach 6, 7 i 8. Rysunek 9 przedstawia ideę systemu detekcji oblodzenia z materiałów informacyjnych producenta. Rysunki 10 i 11 są kopiami rysunków technicznych z dokumentacji projektowej i przedstawiają ukształtowanie sytuacyjne i wysokościowe skrzyżowania wraz z lokalizacją czujników oblodzenia. Rysunek 12 pokazuje program sygnalizacji świetlnej uwzględniający uwarunkowania hamowania pojazdów ciężkich.



*Rysunek 6. Widok wlotu "B" skrzyżowania po przebudowie skrzyżowania (fot. własna).*

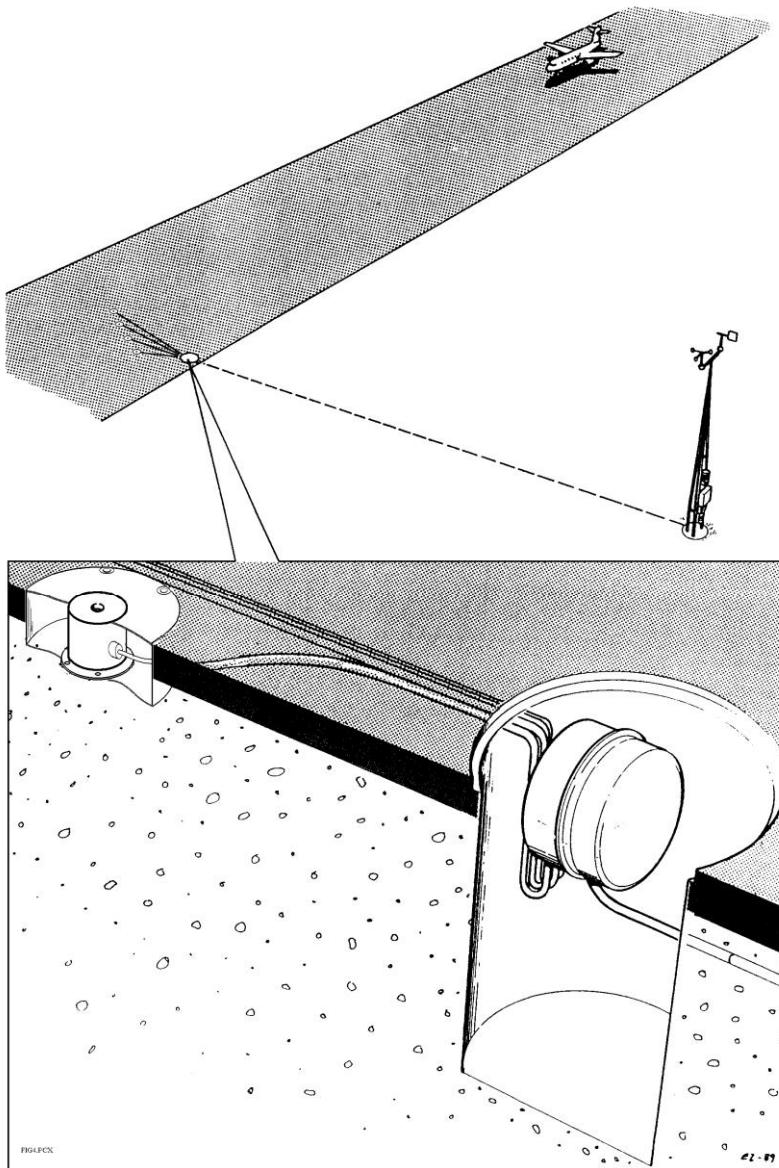


*Rysunek 7. Widok tarczy skrzyżowania po przebudowie (fot. własna).*

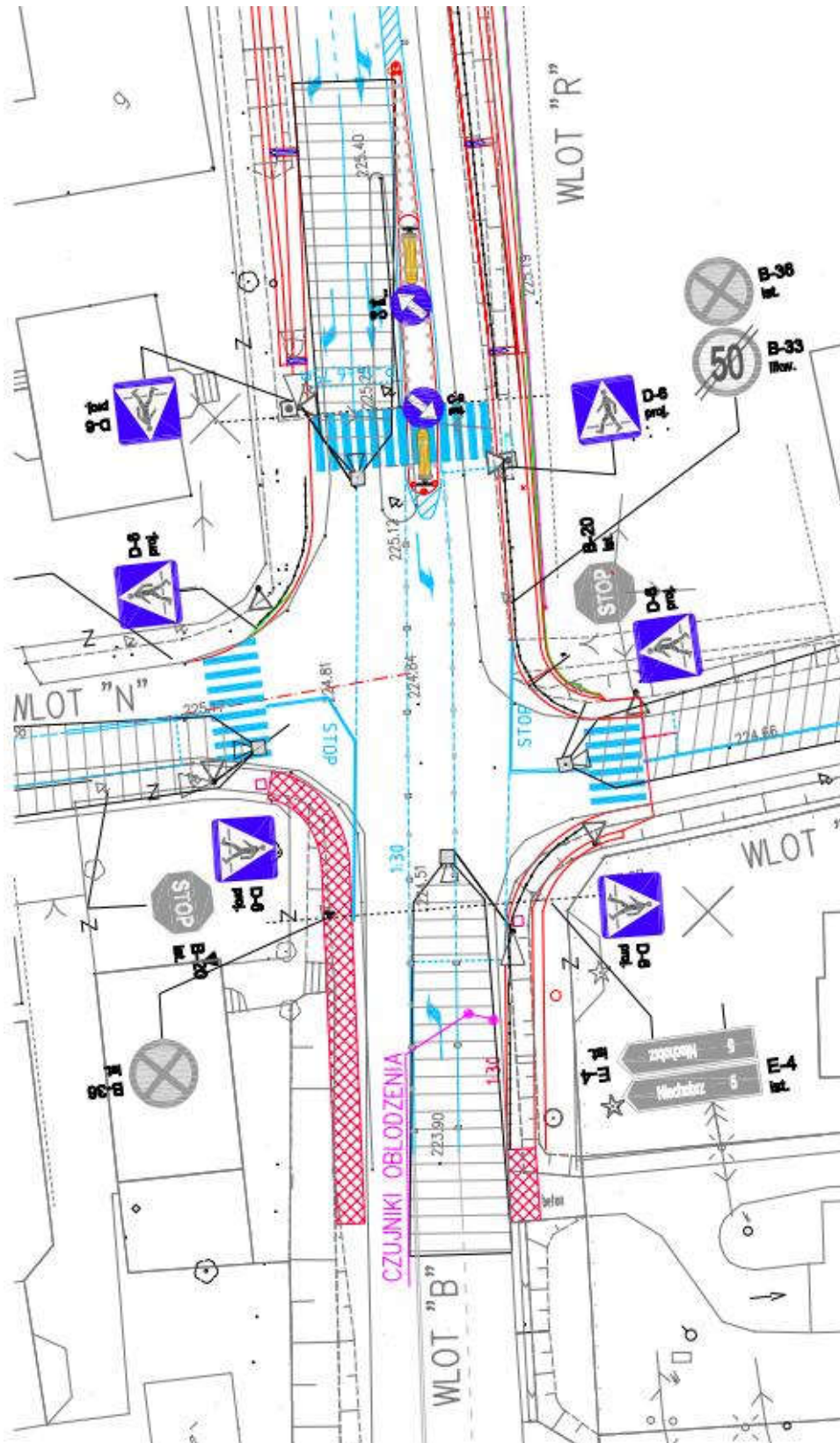


*Rysunek 8. Frensory zainstalowane w nawierzchni wlotu „B” (fot. własna).*

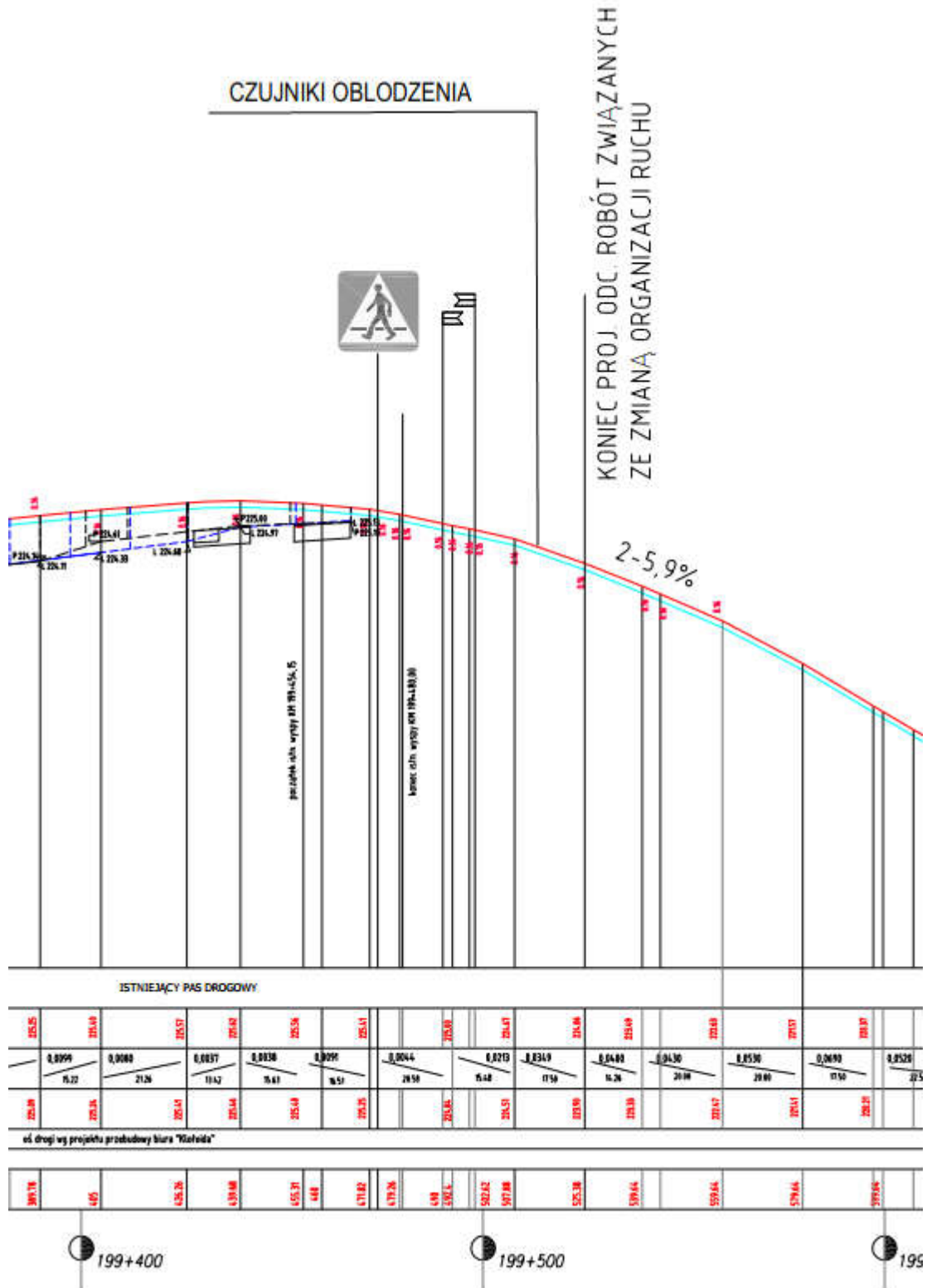




Rysunek 9. Schemat instalacji czujników oblodzenia z instrukcji producenta AerotechTelub AB, Öresund (Dania)



Rysunek 10. Plan sytuacyjny skrzyżowania z lokalizacją czujników oblodzenia.



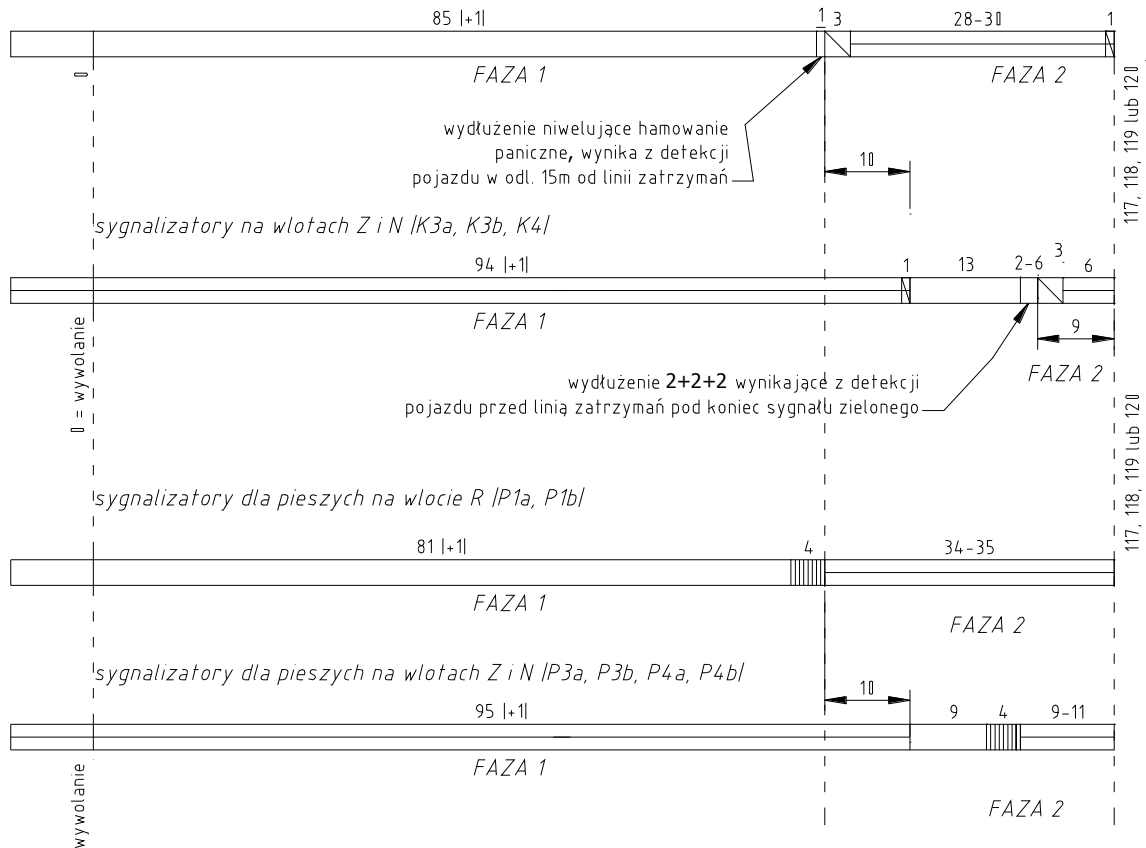
Rysunek 11. Profil podłużny drogi krajowej nr 9 w miejscu skrzyżowania.

## PROGRAM SYGNALIZACJI AKOMODACYJNEJ

### UWAGA

w trybie akomodacyjnym przejście do fazy 2 następuje 95 lub 96 s po wystąpieniu zapotrzebowania na przejściu dla pieszych na wlocie R (przycisk) lub na jezdni ulic Micała i Dolnej (detektory)

sygnalizatory na wlocach B i R (K1a, K1b, K2a, K2b)



Rysunek 12. Autorski program sygnalizacji świetlnej akomodacyjnej, uwzględniający uwarunkowania hamowania pojazdu ciężarowego.

Zastosowanie i realizację powyższego rozwiązania przedstawiłem na konferencji w Poznaniu:

**Bichajło L.** (70%), **Iwański M.** (30%), Zastosowanie czujników oblodzenia nawierzchni w sterowaniu sygnalizacją świetlną na skrzyżowaniu. Konferencja: IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Nowoczesne technologie w budownictwie drogowym", wystąpienie konferencyjne i publikacja w materiałach konferencyjnych, Poznań, 3-4.09.2009, s. 542-548. Treść referatu konsultował prof. Marek Iwański.

### **Wkład habilitanta w rozwój technik sterowania ruchem na skrzyżowaniu w trudnych warunkach terenowych i meteorologicznych.**

Poszukując informacji o podobnych rozwiązaniach, a także przedstawiając rozwiązanie na konferencji, nie znalazłem informacji o podobnym zastosowaniu w Polsce zabezpieczenia sprawności ruchu na skrzyżowaniu w warunkach zimowych. Zastosowanie czujników oblodzenia

w nawierzchni wlotu o dużym pochyleniu podłużnym, sprzężonych ze sterownikiem sygnalizacji świetlnej, poprzez uwzględnienie w algorytmie sterowania pracą sygnalizacji sygnałów o stanie nawierzchni, stanowiło innowacyjne podejście do projektowania i wyposażenia infrastruktury drogowej w trudnych warunkach terenowych i meteorologicznych. W algorytmie sterowania uwzględniono wydłużenie czasu sygnału zielonego wynikające z hamowania oczekiwanego i nieoczekiwanego, co nie jest standardowe w projektowaniu algorytmów działania sygnalizacji. Przebudowa skrzyżowania została poprzedzona szczegółowymi pomiarami, obserwacjami i analizami, a także symulacjami wykraczającymi poza standardowe procedury projektowe, stanowiąc przykład możliwości stosowania rozwiązań indywidualnych, lecz opartych na właściwych podstawach naukowych, wynikających z zastosowania wiedzy technicznej i naukowej. Wdrożenie zostało opublikowane na konferencji naukowej w postaci referatu i artykułu w materiałach pokonferencyjnych.

### **Literatura do rozdziału 4.3**

Datka S., Suchorzewski W., Tracz M., 1999. Inżynieria ruchu drogowego. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.

## **5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.**

- a) współpraca z Politechniką Warszawską (prof. Piotr Olszewski) w zakresie inżynierii ruchu drogowego i usprawnienia ruchu autobusów przy minimalizacji utrudnień dla pozostałych użytkowników ruchu (od 2017), wynikiem której są wspólne publikacje dotyczące dynamicznie wydzielanych pasów autobusowych (DPA). Zainteresowanie dynamicznie wydzielanymi pasami autobusowymi było efektem opracowywania projektów pierwszych pasów autobusowych w Rzeszowie. Będąc kierownikiem tej pracy i projektantem, rozważałem wraz z współpracownikiem – Mateuszem Szarata możliwość zorganizowania takich pasów w Rzeszowie. Studia literaturowe wykazały, że nie jest to rozwiązanie popularne w świecie, a w Europie było wykonane w Lizbonie oraz w Lyonie. Po przeprowadzeniu studiów literaturowych rozpoczęliśmy analizy dotyczące sposobu oznakowania pasów. W wyniku tych studiów opracowaliśmy propozycje oznakowania poziomego i pionowego dynamicznie wydzielanych pasów autobusowych, proponując rozmieszczenie aktywnych pionowych znaków świetlnych o symbolach D-11 i D-12, a także aktywnego oznakowania poziomego w postaci punktowych lamp diodowych aktywowanych w czasie funkcjonowania bus-pasa. Pomysłem zainteresowaliśmy prof. Piotra Olszewskiego, który zasugerował opracowanie metodyki obliczeń przepustowości ulic z dynamicznie wydzielanym bus-pasem. Dla wybranych ulic w Rzeszowie opracowaliśmy wstępną propozycję obliczeń, aczkolwiek stwierdziliśmy konieczność weryfikacji metodyki za pomocą symulacji komputerowych w systemie VISUM. Wyniki otrzymane na tym etapie wykazały potencjalne korzyści z zastosowania DPA. Kolejne, pogłębione analizy były

prowadzone po otwarciu przewodu doktorskiego kol. Mateusza. Promotorem pracy został prof. Olszewski, zaś ja zostałem promotorem pomocniczym (tytuł pracy: „Modelowanie ruchu z dynamicznym uprzywilejowaniem autobusów”). Efektem współpracy była obroniona praca doktorska (2018), a także wspólne publikacje, oznaczone numerami [10 i 18] w punkcie 2.4.2. Załącznika 4. Jako promotor pomocniczy brałem udział w opracowywaniu modelu symulacyjnego i matematycznego DPA, jego oznakowania oraz wykonywałem analizy ekonomiczne.

b) współpraca z Politechniką Krakowską, w ramach realizacji zadania 4 projektu” „Gospostrateg 1/383385/12/NCBIR/2018 - wykonywanie prac obejmujących aktualizację i weryfikację metody szacowania wolumenu zanieczyszczeń emitowanych przez środki transportu. Opracowywanie metodyki szacowania bazującej na wynikach modeli makrosymulacyjnych” (2021). W ramach moich prac analizowałem możliwości wykorzystania istniejącego oprogramowania dla prowadzenia szacowania zanieczyszczeń od pojazdów samochodowych, w celu ich późniejszego użycia wraz z istniejącymi danymi z systemów automatycznych (np. ESPO), danych statystycznych, uzupełniających oraz pozyskanych z banków danych. Spośród możliwych do zanalizowania programów komputerowych (TNO Enviver, INFRAS, PROEKO-RS, COPERT), wybrałem ogólnodostępny i nieodpłatny program COPERT w wersji V. Oprogramowanie to jest honorowane przez instytucje UE. Modele zanieczyszczeń emitowanych przez ruch samochodowy, ze względu na kongestie ruchu drogowego, należą do 3 typów: A, B i C. Modele typu A i B są odpowiednie dla analiz w skali mikro, natomiast modele typu C są odpowiednie dla skali mezo. Oprogramowanie COPERT V jest klasyfikowane jako odpowiednie dla modeli typu C. Z tego powodu może być używane głównie dla analiz regionalnych i obszarów obejmujących teren całego kraju, lecz może być także użyteczne jako model odniesienia względem innych modeli. Oprogramowanie COPERT może pozyskiwać dane do analiz z oprogramowania VISSIM do modelowania ruchu drogowego. Do moich zadań należało sprawdzenie możliwości pozyskiwania i przetwarzania w modelowaniu emisji zanieczyszczeń danych o: pojazdach (masa całkowita, rodzaj paliwa, wiek pojazdu, pojemność skokowa silnika, średnia prędkość, wilgotność powietrza, temperatura), warunkach drogowych (przebieg pionowy, skrzyżowania z udzielaniem pierwszeństwa przejazdu, odcinki z hamowaniem i przyspieszaniem) oraz sytuacje szczególne (przewozy specjalne – mała prędkość, ciężki ładunek, konwoje). W wyniku analiz ustaliłem, iż oprogramowanie COPERT nie ma możliwości deklarowania wskaźnika wykorzystania ładowności pojazdów, przyjmując dane o ładowności maksymalnej z wbudowanej bazy danych pojazdów, a także nie uwzględnia emisji zanieczyszczeń w funkcji zróżnicowanej liczby obrotów silnika przy danej prędkości deklarowanej w programie. Wskazałem, że brak tej funkcji prowadzi do otrzymywania niewłaściwych wyników emisyjności w przypadkach ruszania pod górę na skrzyżowaniach, a także przy wyjeździe z wlotów podporządkowanych. W terenach podgórskich i górskich takich sytuacji jest wiele, a analizy nie uwzględniają zwiększonej emisyjności w takich przypadkach. Może to prowadzić do błędnego szacowania zanieczyszczeń przy porównywaniu przebiegu dróg, np. obwodnic miejscowości. W związku z powyższym zaproponowałem:

- przyjmowanie w analizach innej prędkości niż projektowa, bardziej niekorzystnej ze względu na emisję zanieczyszczeń,



- uwzględnianie współczynnika redukcji prędkości na podstawie udziału odcinków o pochyleniu i długości powodujących redukcję prędkości o więcej niż 20 km/h (takie kryterium jest stosowane przy rozważaniu wykonania dodatkowych pasów ruchu na wzniesieniach autostrad w Polsce), bądź na podstawie badań terenowych z udziałem samochodów ciężarowych i autobusów ustalić wartości redukcji prędkości.

Dokumentację związaną z moją pracą w grantie podałem w Załączniku 7.

c) współpraca z Politechniką Białostocką i Politechniką Lubelską w ramach grantu Ministerstwa Edukacji i Nauki na podstawie umowy nr MEiN/2022/DPI/2578 z dnia 26.10.2022 r., w ramach sieci politechnicznej Via Carpatia, działanie nr 7 „ISKRA – budowanie międzyuczelnianych zespołów badawczych” (realizacja w latach 2023 – 2025):

- a. projekt: „Kompozyty mineralne jako składnik trwałych, bezpiecznych nawierzchni asfaltowych redukujących ujemny wpływ na środowisko” Lider – Politechnika Białostocka, koordynator - prof. dr hab. inż. Władysław Gardziejczyk. Projekt dotyczy opracowania innowacyjnego lepiszcza modyfikowanego zeolitami w celu zastosowania w wybranych mieszankach mineralno-asfaltowych, w tym dla nawierzchni obiektów mostowych. Zadania realizowane przeze mnie obejmują: opracowanie wniosku o finansowanie w zakresie przewidzianym dla Politechniki Rzeszowskiej, opracowanie wytycznych dla lepiszcza przeznaczonego dla mieszanki asfaltu lanego, opracowanie receptury mieszanki, badania mieszanki referencyjnej z lepiszczami klasycznymi, badania mieszanki z lepiszczem opracowanym w przez Politechnikę Lubelską, opracowanie raportów i publikacji;
- b. projekt: „Wykorzystanie odpadów w technologiach produkcji proekologicznych kruszyw sztucznych”. Lider – Politechnika Lubelska, koordynator - dr hab. inż. Małgorzata Franus, prof. PL. Projekt dotyczy wykorzystania substancji odpadowych do wytwarzania nowych produktów - kruszywa dla budownictwa, w myśl idei gospodarki cyrkulacyjnej. Zadania realizowane przeze mnie obejmują: przygotowanie wniosku w części obejmującej prace Politechniki Rzeszowskiej w kontekście zastosowania kruszywa w drogownictwie, opracowanie wytycznych dla kruszywa do warstwy podbudowy i ulepszonych podłoża, badania kruszyw wytworzonych z użyciem odpadów w kontekście wymaganych właściwości fizycznych i wytrzymałościowych dla celów drogowych, opracowanie raportów i publikacji.

Dokumentację związaną z moją pracą w grantach podałem w Załączniku 7.

d) 2022 - członek zespołu badawczego w zadaniu ET3 „Flight Reconfiguration System” w projekcie COAST (Clean Sky Optimised Avionics SysTEm for Small Aircraft Transport). Projekt jest realizowany od 2016 r. w ramach programu Clean Sky 2 przez konsorcjum: Honeywell International (Czechy), CIRA – Italian Aerospace Research Center, Instytut Lotnictwa – Sieć Badawczą Łukasiewicz i Politechnikę Rzeszowską. Jako pilot samolotowy testowałem wstępnie przygotowaną aplikację w

aspekcie zakresu i jakości pozyskiwania danych oraz ich zobrazowania w sposób ergonomiczny dla pilota (liczba i zakres danych, kolorystyka, symbole, częstotliwość odświeżania). Zaproponowałem uwzględnienie niektórych funkcjonalności systemu oraz sposobu prezentowania informacji wspomagającej pilota w wyborze optymalnej trasy i lotniska lądowania (ze względu na warunki geograficzne, ruch lotniczy, warunki meteorologiczne). Zmiany zostały uwzględnione i wypróbowane w lotach testowych w Czechach w 2023 roku. W IV kwartale br. będę wykonywał badania okulograficzne, związane z interfejsem oprogramowania.

Dokumentację związaną z moją pracą w granie podałem w Załączniku 7.

## **6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.**

### **6.1. Osiągnięcia dydaktyczne:**

- roczne obciążenie zajęciami dydaktycznymi – przeciętnie 270 godzin,
- około 13 prac inżynierskich i magisterskich rocznie,
- od roku 2008 do roku 2019 opiekun Koła Naukowego Drogowców w Politechnice Rzeszowskiej,
- redaktor i współautor materiałów pomocniczych (preskryptu) „Podstawy projektowania dróg samochodowych”, s. 87, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2013,
- współpraca z Politechniką Gdańską, Białostocką, Krakowską, Śląską i Lubelską w zakresie organizacji oraz prelekcji „Latającego Uniwersytetu Drogowego” - warsztatów dla studentów specjalizacji drogowej (od 2020 r.), organizator edycji w 2023 roku w Politechnice Rzeszowskiej,
- współpraca z Państwową Wyższą Szkołą Zawodową w Jarosławiu w zakresie zleconych wykładów z przedmiotu „Projektowanie dróg szynowych” (2019-2021).

### **6.2. Osiągnięcia organizacyjne**

Ważniejsze osiągnięcia organizacyjne stanowią:

- odpowiedzialny za specjalizację drogową w zakresie dydaktyki, nauki i spraw organizacyjnych w Katedrze Dróg i Mostów Politechniki Rzeszowskiej,
- organizator i kierownik Laboratorium Technologii i Inżynierii Drogowej (wcześniej Laboratorium Geo-Drogowe) – przygotowanie koncepcji funkcjonalnej i nadzór nad budową i wyposażeniem oraz bieżącą działalnością, w tym: opracowanie listy i specyfikacji aparatury do kompleksowych badań nawierzchni drogowych i inżynierii ruchu (aparatura laboratoryjna, do badań „in situ” materiałów i nawierzchni drogowych, z zakresu inżynierii ruchu - badania oznakowania poziomego i pionowego, szorstkości, opracowanie pracowni i stanowiska



symulatora w Pracowni Okulografii - do badań interakcji wzrokowej kierowcy z drogą), oprogramowania specjalistycznego – przewidzianych do zakupu w ramach RPO, RPW i środków własnych WBIŚiA dla Laboratorium Geo-Drogowego) na kwotę łączną ponad 5 mln zł, praca w zespole ds. budowy budynku laboratorium – opracowanie wymagań co do rozmieszczenia i wyposażenia pomieszczeń w dostosowaniu do zakupionej i perspektywicznej aparatury, konsultacja projektu budynku, udział w naradach technicznych, opracowanie specyfikacji technicznych dla kupowanej aparatury, udział w komisji przetargowej, odbiór sprzętu,

- 2023 - organizator w 2023 roku „Latającego Uniwersytetu Drogowego”, w ramach wspólnych corocznych warsztatów dla studentów drogowictwa z Politechniki Białostockiej, Lubelskiej, Gdańskiej, Krakowskiej, Rzeszowskiej i Śląskiej (udział w przedsięwzięciu od 2020 r., wykład w 2020 r.),
- 2013 – organizacja i prowadzenie sesji poświęconej nawierzchniom drogowym podczas LVI Technicznych Dni Drogowych SITK RP, Raszyn 2013: Sesja IV. Technologia nawierzchni drogowych, z następującymi referatami:
  - Katalog typowych nawierzchni podatnych i półsztywnych (wersja z 11 marca 2013) – dr inż. Piotr Jaskuła, PG,
  - Katalog wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych 2013 – prof. Dariusz Sybilski, IBDiM,
  - Przyjazne dla środowiska mieszanki mineralno-asfaltowe – dr hab. inż. Marek Iwański, prof. PŚw,
  - „Ciche” nawierzchnie – dr inż. Igor Ruttmar (TPA),
  - Przykłady zastosowania techniki FT-IR w badaniu materiałów asfaltowych – dr hab. inż. Adam Zofka, prof. IBDiM,
- 2007 – 2017 – członek komitetu organizacyjnego pięciu edycji Podkarpackich Spotkań Dyskusyjnych organizowanych przez Politechnikę Rzeszowską (szczegółowy wykaz podałem w Załączniku 4, pkt 6).

### **6.3. Osiągnięcia popularyzujące naukę**

Mój wkład w popularyzację nauki obejmuje zarówno platformę medialną, jak i wydarzenia prezentujące osiągnięcia naukowe.

Są to:

- wywiady w Polskim Radio (2017, 2020, 2021), TVP (2019) i serwisach internetowych: Nowiny24.pl (2010, 2019), Wyborcza.pl (2021, 2022, 2022), opisujące działalność Katedry Dróg i Mostów oraz Laboratorium Technologii i Inżynierii Drogowej (m.in. o czynniku ludzkim w ruchu drogowym, badaniach okulograficznych, uszkodzeniach, diagnostyce i naprawach nawierzchni) oraz dotyczące aktualnych problemów drogowictwa i transportu,
- 2012–2023 - organizacja ośmiu seminariów pod nazwą „Czwartki Techniczne” SITK RP O. w Rzeszowie oraz prezentacje osiągnięć naukowych Politechniki Rzeszowskiej z obszaru inżynierii lądowej,

- 2012- obecnie - organizacja konkursu SITK RP O. w Rzeszowie „Budowa Roku Obiektu Komunikacyjnego Podkarpacia” (przewodniczący kapituły konkursu od 2014 roku), w którym przyznawane są nagrody za osiągnięcia w drogownictwie, mostownictwie, kolejnictwie – także za osiągnięcia naukowe, np. za most kompozytowy, za prace badawcze w zakresie wykorzystania sprasowanych opon samochodowych w geoinżynierii; konkurs jest organizowany pod patronatem Podkarpackiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa, wraz z oddziałami w Rzeszowie Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa, Związku Mostowców RP, Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych,
- 2014-2019 – siedem wykładów w czasie pobytu uczniów szkół średnich (klasy maturalne) z Jarosławia, Rzeszowa i Mielca w Laboratorium Technologii i Inżynierii Drogowej PRZ,
- 2017-2018 - prezentacje w ramach corocznej „Nocy Politechniki” – dla osób zwiedzających laboratoria Politechniki Rzeszowskiej,
- 2020– obecnie - organizacja konkursu na najlepsze prace dyplomowe w ramach współpracy SITK RP O. w Rzeszowie, Podkarpackiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa i Politechniki Rzeszowskiej (edycje za lata 2019, 2020, 2021 i 2022),
- 2022–2023 – autor fotografii (w tym lotniczych) na okładkach czasopisma „Drogownictwo”, numery 5, 6 i 9 z roku 2022 oraz numeru 1 z 2023 roku.

## **7. Członkostwo w organizacjach naukowych i wsparcia nauki**

- 2012– obecnie - członek Komitetu Inżynierii Komunikacyjnej PAN, a po reorganizacji członek Zespołu Problemowego Sekcji Inżynieria Komunikacyjna,
- 2018- obecnie - prezes, a wcześniej (w latach 2014-2018) wiceprezes Oddziału w Rzeszowie Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP,
- od 2018- obecnie przedstawiciel SITK RP O. w Rzeszowie w Fundacji Na Rzecz Rozwoju Politechniki Rzeszowskiej,
- 2021 - członek-założyciel Stowarzyszenia Wsparcia Politechniki Rzeszowskiej PRZ – CONNECT.

## **8. Działalność usługowa i współpraca z przemysłem (wybrane pozycje)**

W mojej działalności w Politechnice Rzeszowskiej i poza nią angażuję się w prace projektowe, eksperckie, badawcze i wdrożeniowe, związane z techniką i technologią drogową.

Wykaz wybranych prac kierowanych przeze mnie oraz innych wybranych prac zespołowych i indywidualnych podałem w Załączniku 4, punkt III.

## 9. Udział w pozostałych projektach badawczych

2020-2021 - wykonawca badań (członek zespołu) w ramach grantu finansowanego przez Podkarpackie Centrum Innowacji: „Monitorowanie potoków pasażerskich w transporcie publicznym”, projekt finansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Osi Priorytetowej nr I "Konkurencyjna i innowacyjna gospodarka" z Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2014-2020 RPO .RB .21.001 - PCI N2 065.

W ramach grantu brałem udział w opracowaniu metodologii pomiaru liczby pasażerów z wykorzystaniem skanerów wi-fi i bluetooth zainstalowanych w autobusach w Rzeszowie, rejestrujących nawiązanie kontaktu z urządzeniami mobilnymi pasażerów. Mój udział polegał na: planowaniu testów w autobusach komunikacji miejskiej i podmiejskiej, testowaniu najkorzystniejszego rozmieszczenia czytników w autobusach, analizie porównawczej pomiarów w testowanej technologii z pomiarami ręcznymi i pomiarami uzyskanymi z bramek zainstalowanych przez przedsiębiorstwa przewozowe w autobusach,

2018-2020 – ekspert naukowo-badawczy (członek zespołu) w ramach projektu ”Opracowanie innowacyjnej technologii ekranów akustycznych Naturacoustic® służących do ochrony przed hałasem generowanym wokół ciągów komunikacyjnych”, Program Operacyjny Inteligentny Rozwój 2014-2020, Działanie 1.1: Projekty B+R przedsiębiorstw, Poddziałanie 1.1.1.: Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane przez przedsiębiorstwa, współfinansowane ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego. W ramach grantu projektowałem układ konstrukcyjny oraz wykonywałem obliczenia wytrzymałościowe innowacyjnych paneli ekranów akustycznych, a także formułowałem wymagania i konsultowałem wyniki właściwości innowacyjnej pianki wypełniającej panele. Pianka zawierała przetworzone materiały odpadowe. Jestem współtwórcą patentu nr PAT.242585. Informacje uzupełniające o tym projekcie podałem w pkt. III.3. Projekt był realizowany przez przedsiębiorstwo MOLTER Sp. z o.o. oraz zespoły naukowców z Politechniki Rzeszowskiej i Politechniki Warszawskiej.

2016-2018 - wykonawca badań i członek zespołu zarządzającego zakresem prac PRz w ramach projektu INNOTECH-K3/IN3/38/228116/NCBR/2015 „Innowacyjne materiały z recyklingu zwiększające trwałość obiektów mostowych” (projekt współfinansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, konsorcjum: Promost Consulting Sp. z o.o., sp. K, Remost Sp. z o.o., Politechnika Rzeszowska), dotyczącego zagospodarowania zużytych opon samochodowych (w postaci sprasowanych pakietów zużytych opon) w zasypce przyczółków obiektów mostowych i podłożu nawierzchni drogowych. Byłem współautorem rozwiązań stanowiska badawczego. Wykonywałem pomiary i analizy odkształceń nawierzchni z kostki betonowej ułożonej na podsypce i podbudowie, pod którą znajdowały się pakiety opon

stanowiące nasyp (pomiary profilografem laserowym, inklinometryczne, georadarem), a także jestem współautorem raportów z badań i raportu końcowego.

2012–2014 - kierowanie pracą „Badania mieszanek mineralno-asfaltowych z wkładkami zbrojącymi” dla: Mostostal Warszawa S.A., realizującego grant w ramach 7 Programu Ramowego Komisji Europejskiej „Energy Hub for residential and commercial districts and transport” (nr umowy 260165 akronim E-Hub) - projekt ComBridge (mosty kompozytowe). W ramach prowadzonych prac opracowałem program badań i prowadziłem badania koleinowania w małym koleinomierzu oraz badania trwałości zmęczeniowej metodą belki czteropunktowo zginanej próbek nawierzchni z wkładkami z tworzywa sztucznego w postaci rur o średnicy ok. 18 mm, w których miałyby się docelowo znajdować płyn ogrzewający nawierzchnię.

## **10. Pozostała działalność**

- 2005–2023 - zorganizowanie kilku wycieczek naukowo-technicznych dla studentów specjalności „Drogi i mosty”, m.in.: na targi „Autostrada” (trzykrotnie), budowę autostrady A4 (dwukrotnie), obwodnic Jarosławia (jeden wyjazd) i Przemyśla (jeden wyjazd), zabezpieczenia osuwiska w Przemyśle (jeden wyjazd), Muzeum Historii Drogownictwa w Szczucinie (trzykrotnie),
- 2005–2012 - współpraca z Zespołem Szkół Drogowych, Geodezyjnych i Ogólnokształcących w Jarosławiu, w zakresie pokazu sprzętu i aparatury badawczej zgromadzonej w Laboratorium Technologii i Inżynierii Drogowej, a także w celu wznowienia kształcenia techników o specjalności drogowej (2023),
- 2010–2011 - moderator w Festiwalu Przestrzeni Miejskiej m. Rzeszowa.

## **11. Nagrody i wyróżnienia**

- 2022 - nagroda rektora Politechniki Rzeszowskiej za współautorstwo 4 publikacji z listy „A” MNiSW,
- 2022 - członek honorowy SITK RP,
- 2018 - złota odznaka honorowa NOT,
- 2017 - Brązowy Krzyż Zasługi za działalność na rzecz komunikacji, na wniosek SITK RP,
- 2013 - indywidualna nagroda krajowa „Ernest” SITK RP dla „Najaktywniejszego drogowca” za działalność w 2012 r.,
- 2012 - nagroda krajowa „Ernest” dla Klubu SITK przy Zakładzie Dróg i Mostów PRz za działalność w roku 2011 (prezes Klubu),
- 2009 - nagroda indywidualna „Ernest” SITK RP O. Rzeszów, za działalność społeczną na rzecz środowiska drogowców zrzeszonych w stowarzyszeniu oraz złota odznaka honorowa SITK.

## 12. Notka biograficzna

Jestem absolwentem Technikum Drogowo-Geodezyjnego w Jarosławiu, o specjalności technik budowy dróg i mostów kołowych oraz Politechniki Rzeszowskiej, gdzie ukończyłem specjalność „Budowa i utrzymanie mostów”. W czasie ostatniego roku jednolitych studiów magisterskich byłem asystentem-stażystą w Katedrze Mostów. Powierzono mi część zajęć z przedmiotów: „Podstawy drogownictwa” oraz „Podstawy mostownictwa”. W tym czasie brałem udział w pozostałych zadaniach realizowanych przez Katedrę, między innymi w ekspertyzach, przeglądach obiektów mostowych i dojazdów, opracowaniach naukowych i eksperckich. Po ukończeniu studiów, w 1993 roku zostałem zatrudniony na stanowisku asystenta w Katedrze Mostów Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej. Do obrony doktoratu prowadziłem przedmioty „Podstawy drogownictwa” i „Podstawy mostownictwa” na jednolitych studiach magisterskich stacjonarnych i niestacjonarnych. W 2005 roku na Politechnice Warszawskiej obroniłem pracę doktorską „Wpływ ukształtowania i wyposażenia mostu z dojazdami na percepcję wzrokową kierowców”, opracowaną pod kierunkiem dr. hab. inż. Tadeusza Sandeckiego, prof. PW. Odtąd prowadziłem przedmioty drogowe na specjalności „Budowa i utrzymanie dróg i mostów”, a następnie w ramach utworzonej specjalizacji „Budowa i utrzymanie dróg” powierzono mi prowadzenie wykładów z przedmiotów: „Projektowanie geometryczne dróg”, „Inżynieria ruchu drogowego”, „Utrzymanie dróg”. Brałem udział w tworzeniu programu studiów i kart modułów dla specjalizacji drogowej. Wraz z pojawieniem się możliwości utworzenia bazy laboratoryjnej dla dydaktyki i badań w branży drogowej, zaangażowałem się w tworzenie Laboratorium Geo-Drogowego Politechniki Rzeszowskiej w zakresie skompletowania aparatury, opracowania specyfikacji przetargowych, odbioru i jej uruchomienia, a także konsultowania projektu i budowy budynku. Obecnie jestem kierownikiem Laboratorium Technologii i Inżynierii Drogowej, powstałego z Laboratorium Geo-Drogowego. Prowadzę zajęcia z przedmiotów: „Budowa dróg”, „Konstrukcja nawierzchni drogowych”, „Technologia materiałów drogowych”, „Utrzymanie dróg”, „Zarządzanie infrastrukturą drogową”, „Podstawy drogownictwa”, „Budownictwo drogowe”, „Drogi samochodowe”. Byłem opiekunem Koła Naukowego Drogowców. W ramach współpracy z innymi uczelniami uczestniczę wraz ze studentami w „Latającym Uniwersytecie Drogowym” – wspólnie z Politechniką Gdańską, Białostocką, Krakowską, Śląską i Lubelską. Wraz z powstaniem dyscypliny naukowej „Inżynieria lądowa i transport” zaangażowałem się w opracowanie planu i programu studiów dla powstającego na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury PRz kierunku „Transport” (studia I stopnia). Opracowałem kilka kart przedmiotów, a także prowadzę przedmioty: „Drogi samochodowe”, „Technologia robót drogowych”, „Diagnostyka i utrzymanie dróg samochodowych” oraz „Czynnik ludzki w transporcie”.

W pracy naukowej zajmuję się przede wszystkim dostosowaniem organizacji przestrzeni drogi do możliwości percepcyjnych kierowców, w celu ograniczenia błędów kierowców i związanego z tym ryzyka zdarzeń drogowych. Z tego zakresu opracowałem zarówno pracę doktorską, monografię, jak i publikacje w czasopiśmie krajowych i zagranicznych. Wyniki moich badań prezentowałem także na konferencjach naukowych oraz na posiedzeniu Sekcji Inżynierii Komunikacyjnej KILiW PAN. W pracach naukowych prezentowałem możliwości wykorzystania wiedzy z zakresu percepcji wzrokowej, a także urządzeń okulograficznych, do weryfikacji poprawności rozwiązań geometrii drogi (w tym zawierającej obiekt mostowy) w zakresie poprawnej jej percepcji. Swoje prace ukierunkowałem zarówno na analizę podstawowych

stanów uwagi wzrokowej określanej przez ruchy oka w czasie przejazdu przez różnie ukształtowaną przestrzeń drogi, jak i znaczenie poszczególnych elementów drogi i jej wyposażenia dla uwagi wzrokowej kierowców.

Drugi obszar działalności naukowej to zagadnienia usprawniania ruchu drogowego w obrębie miast, w tym także w zakresie transportu zbiorowego. W tym obszarze opracowałem wraz z obecnie dr. inż. Mateuszem Szarata koncepcję Dynamicznego Pasa Autobusowego (DPA), polegającą na dynamicznym wydzielaniu z jezdni za pomocą oznakowania poziomego i pionowego, pasa autobusowego, który umożliwiłby ruch autobusu (autobusów) w określonych przedziałach czasowych, po czym oznakowanie byłoby deaktywowane, przywracając pełną dostępność tego pasa dla pozostałych użytkowników. Prace naukowe w tym zakresie, prowadzone dla wybranych ulic Rzeszowa, zaowocowały opracowaniem metodyki wydzielania z jezdni DPA, wraz z koncepcją oznakowania poziomego i pionowego oraz symulacjami komputerowymi oraz obliczeniami ekonomicznymi. W tym obszarze nawiązaliśmy współpracę z dr. hab. inż. Piotrem Olszewskim, prof. PW. Współpraca naukowa z prof. Olszewskim zaowocowała rozszerzeniem i pogłębieniem analizowanych zagadnień i pozwoliła na opublikowanie kilku artykułów w czasopismach krajowych i zagranicznych oraz opracowanie pracy doktorskiej przez kol. Mateusza Szarata, której promotorem został prof. dr hab. inż. Piotr Olszewski. Zostałem powołany jako promotor pomocniczy tej pracy (tytuł pracy doktorskiej: „Modelowanie ruchu z dynamicznym uprzywilejowaniem autobusów”, praca obroniona).

Trzeci obszar działalności to diagnostyka i trwałość nawierzchni drogowych. W tym obszarze działalności zajmuję się diagnostyką nawierzchni, zwłaszcza w kontekście jej deformacji i trwałości. W tym kontekście prowadzę systematyczne pomiary równości podłużnej i poprzecznej nawierzchni wybranych dróg na Podkarpaciu (m.in. autostrada A4, wybrane drogi wojewódzkie, powiatowe i miejskie). Pomiary realizuję profilografem laserowym RSP oraz georadarem GPR. Celem badań jest wypracowanie modelu matematycznego koleinowania się nawierzchni dostosowanego do warunków technologicznych i klimatycznych rejonu południowo-wschodniej Polski. Ze względu na posiadane wykształcenie, przeszkolenie oraz wykonywanie przeglądów obiektów mostowych, zaobserwowałem wiele uszkodzeń ich nawierzchni. Było to inspiracją do zainteresowania się problematyką trwałości nawierzchni obiektów mostowych i podjęcia wstępnych badań laboratoryjnych. Zorientowałem je na zastosowanie asfaltu lanego z dodatkiem asfaltu naturalnego. Tematyką tą zainteresowałem również mojego współpracownika, mgr. inż. Krzysztofa Kołodzieja. Wspólnie podjęliśmy badania w kierunku możliwości polepszania właściwości mieszanki asfaltu lanego, głównie poprzez dodatek asfaltu naturalnego. Wyniki prowadzonych prac stały się podstawą do wszczęcia przewodu doktorskiego Krzysztofa Kołodzieja pt. „Odporność na deformacje trwałe asfaltu lanego z lepiszczem modyfikowanym asfaltem naturalnym”. Promotorem został prof. dr hab. inż. Tomasz Siwowski, ja zostałem powołany jako promotor pomocniczy. Praca została obroniona. Z tego obszaru działalności powstały publikacje autorskie i współautorskie.

Od 1998 roku posiadam uprawnienia budowlane do projektowania i kierowania robotami budowlanymi bez ograniczeń. Jestem czynnym projektantem drogowym, tak w zakresie projektowania geometrycznego, jak i konstrukcji nawierzchni oraz oznakowania dróg. Do ważniejszych projektów zaliczam: obwodnicę Przemyśla (projektant), projekt przebudowy DK28 wraz z budową węzła w Krośnie (projektant), projekty nawierzchni odcinków dróg ekspresowych S7 i S8 w rejonie Warszawy (dla firm Salini i Astaldi).

W latach 2000-2001 byłem inspektorem nadzoru robót drogowych na budowie drogi objazdowej wraz z mostem przez Wisłę w Annopolu.

Prowadzę także działalność gospodarczą w branży drogowej – projektowanie dróg, oznakowanie i organizacja ruchu, prognozy ruchu, projekty technologii nawierzchni, opinie i ekspertyzy.

Od 2018 jestem prezesem Oddziału w Rzeszowie Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP. W stowarzyszeniu organizuję coroczne seminaria szefów firm drogowych, mostowych i kolejowych regionu z inwestorami infrastruktury komunikacyjnej Podkarpacia, spotkania techniczne pod nazwą „Czwartki techniczne SITK”, w ramach których poszczególne kluby prezentują wybrane tematy ze swojej działalności profesjonalnej (branża drogowa, kolejowa, mostowa, samochodowa), doroczne spotkania z seniorami Oddziału SITK, od kilkunastu lat przewodniczę kapitule konkursu „Budowa Roku Obiektu Komunikacyjnego Podkarpacia”. Oddział prowadzi również działalność profesjonalną w zakresie projektowania, opinii i ekspertyz, szkoleń, w których biorę udział.

W roku 2017 na wniosek Zarządu Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP zostałem odznaczony Brązowym Krzyżem Zasługi. W 2022 roku otrzymałem godność członka honorowego SITK RP.

W 2020 roku uzyskałem licencję PPL pilota samolotowego i uprawnienie SEPL - i jestem czynnym pilotem. W związku z posiadaną licencją od 2022 roku biorę udział w projekcie COAST (Cost Effective Avionic System), realizowanym w ramach programu Clean Sky 2, gdzie Politechnika Rzeszowska jest jednym z wykonawców. Celem projektu jest stworzenie nowoczesnego systemu wspomagania decyzji nawigacyjnych (Flight Reconfiguration System), w celu automatycznego planowania lotu i wyboru lotnisk awaryjnych oraz sterowania samolotem przez autopilota, gdy pilot nie może samodzielnie kontynuować lotu. Tego typu systemy zostały uznane za rekomendowany element systemu bezpieczeństwa w przypadku wykonywania tzw. Single-Pilot Operations, czyli operacji lotniczych, gdy na pokładzie znajduje się tylko jeden pilot.