

Załącznik 2

dr inż. Aleksander Król
Politechnika Śląska w Gliwicach
Wydział Transportu
Katedra Systemów Transportowych i Inżynierii Ruchu

Autoreferat

1. Imię i nazwisko.

Aleksander Król

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

Stopień doktora nauk fizycznych – 2003

Politechnika Śląska w Gliwicach

Wydział Matematyczno-Fizyczny

Tytuł rozprawy doktorskiej: *Zastosowanie unipolarnego filtru mas do określenia ciśnień cząstkowych gazów resztkowych o zbliżonych masach cząsteczkowych.*

Promotor: Profesor dr hab. inż. Jacek Szuber

Tytuł magistra inżyniera – 1984

Politechnika Śląska w Gliwicach

Wydział Matematyczno-Fizyczny

Kierunek studiów: Podstawowe Problemy Techniki

Specjalność: Fizyka techniczna

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych.

2007 - obecnie	adiunkt	Politechnika Śląska w Gliwicach Wydział Transportu Katedra Systemów Transportowych i Inżynierii Ruchu
1996 - 2000	asystent	Politechnika Śląska w Gliwicach Wydział Matematyczno - Fizyczny Instytut Fizyki
1992 - 1996	asystent	Politechnika Śląska w Gliwicach Wydział Inżynierii Materiałowej, Metalurgii, Transportu i Zarządzania, Instytut Transportu

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego

wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego,

Analiza naturalnych i wymuszonych przepływów powietrza w tunelach drogowych

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy),

Król A., *Analiza naturalnych i wymuszonych przepływów powietrza w tunelach drogowych*. Monografia, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2019. (udział habilitanta 100%)

Recenzenci wydawniczy:

Prof. dr hab. inż. Janusz Wojtkowiak

Dr hab. inż. Anna Bogdan

Król A., Król M., 2018. *Impact of the factors determining the natural stack effect on the safety conditions in a road tunnel*. W: Recent advances in traffic engineering for transport networks and systems. 14th Scientific and Technical Conference "Transport Systems. Theory and Practice 2017". Selected papers. Eds. Elżbieta Macioszek, Grzegorz Sierpiński. Cham: Springer, s. 85-95 (Lecture Notes in Networks and Systems ; vol. 21 2367-3370) (udział habilitanta 80%)

Król A., Król M., 2018. *Study on hot gases flow in case of fire in a road tunnel*. Energies vol. 11 iss. 13, art. no. 590 s. 1-16. Impact Factor 2.262. Punktacja MNiSW 25.000 (udział habilitanta 70%)

Król A., Król M., 2018. *Study on numerical modeling of jet fans*. Tunn. Undergr. Space Technol. vol. 73, s. 222-235. Impact Factor 2.192. Punktacja MNiSW 35.000 (udział habilitanta 80%)

Król A., Król M., 2018. *Transient analyses and energy balance of air flow in road tunnels*. Energies vol. 11 iss. 7, art. no. 1759 s. 1-15. Impact Factor 2.262. Punktacja MNiSW 25.000 (udział habilitanta 80%)

Król M., Król A., Koper P., Wrona P., 2017. *Full scale measurements of the operation of fire ventilation in a road tunnel*. Tunn. Undergr. Space Technol. 2017 vol. 70, s. 204-213. Impact Factor 2.192. Punktacja MNiSW 35.000 (udział habilitanta 40%)

Król A., Król M., 2018. *The choice of the fire ventilation system for a short road tunnel*. W: Contemporary challenges of transport systems and traffic engineering. 13th Scientific and Technical Conference "Transport Systems. Theory and Practice 2016", Katowice, Poland, September 19-21, 2016. Selected papers. Eds. Elżbieta Macioszek, Grzegorz Sierpiński. Cham : Springer, s. 145-155 (Lecture Notes in Networks and Systems ; vol. 2 2367-3370) (udział habilitanta 60%)

Król M., Król A., Koper P., Wrona P., 2019. *The influence of natural draught on the airflow in a tunnel with longitudinal ventilation*. Tunn. Undergr. Space Technol. vol. 85, s. 140-148. Impact Factor 2.192. Punktacja MNiSW 35.000 (udział habilitanta 40%)

c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Wprowadzenie

Tunele drogowe stały się nieodłącznym elementem sieci dróg. Choć biorąc pod uwagę tylko ich długość, tunele stanowią bardzo nieduży fragment całej sieci transportowej, to z ich specyfiki wynikają bardzo istotne zagrożenia dla uczestników ruchu drogowego. Zagrożenia te spowodowane są przede wszystkim ograniczoną przestrzenią, trudnym dostępem dla służb ratowniczych i utrudnioną ewakuacją. Na to nakłada się charakter ruchu drogowego, którego główną cechą jest duża liczba niezależnych uczestników. Zachowania i szczegółowe decyzje niezależnych uczestników ruchu drogowego, choć regulowane przepisami, są w zasadzie nieprzewidywalne. W tunelach pozamiejskich ruch pojazdów jest z reguły ruchem swobodnym, co oznacza niską gęstość pojazdów (liczbę pojazdów na jednostkę długości drogi) i możliwość niezależnego wyboru prędkości pojazdu przez każdego kierującego. W tunelach miejskich, szczególnie w czasie porannego lub popołudniowego szczytu, przeważa ruch nieswobodny, wtedy kierujący muszą uwzględniać obecność innych pojazdów, a często tworzą się zatory.

Zdarzenia drogowe w tunelach są rzadsze niż na innych odcinkach sieci transportowej, z tego względu, że sam tunel stanowi element uspokojenia ruchu drogowego, często występują ograniczenia prędkości, brak jest skrzyżowań i ruchu pieszego, dodatkowo wpływ warunków pogodowych jest nieistotny. Z drugiej jednak strony, gdy do zdarzenia dojdzie, jego skutki są dużo poważniejsze niż w innych miejscach. Zagrożeni są nie tylko bezpośredni uczestnicy zdarzenia, ale wszystkie osoby przebywające wtedy w tunelu. Jest tak głównie ze względu na możliwość wybuchu pożaru, a w wyjątkowych wypadkach oddziaływanie ewentualnego niebezpiecznego ładunku przewożonego przez pojazdy uczestniczące w zdarzeniu.

Po wybuchu pożaru w tunelu drogowym głównym czynnikiem zagrażającym zdrowiu i życiu osób jest dym będący mieszaniną powietrza i toksycznych gazów. Zatrucie dymem szybko może doprowadzić do utraty przytomności, a nawet śmierci. Dodatkowo dym powoduje z reguły znaczne pogorszenie widzialności, co utrudnia szybką ewakuację. W początkowej fazie pożaru wysoka temperatura nie jest najważniejszym zagrożeniem, jest to czynnik istotny tylko w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca wybuchu pożaru. Jeśli pożar znacząco się rozwinie, gorące gazy mogą wypełnić znaczną część tunelu, a wtedy ich wysoka temperatura staje się poważnym zagrożeniem, gdyż może powodować oparzenia skóry i dróg oddechowych.

Tunele drogowe wyposażone są w wiele systemów, które zapewniają bezpieczeństwo ich użytkownikom. Systemy te powinny sprzyjać bezpiecznej, normalnej eksploatacji, a w razie zdarzenia drogowego, w szczególności połączonego z wybuchem pożaru ułatwiać sprawną ewakuację i późniejsze działania służb ratowniczych. Szczególną rolę odgrywa tutaj system

wentylacji. Jego zadaniem jest odprowadzanie zanieczyszczeń komunikacyjnych i zapewnienie wystarczającej przejrzystości powietrza podczas normalnego użytkowania. Po wykryciu pożaru system przełącza się w tryb pożarowy i w pierwszej fazie powinien automatycznie utrzymać jak największą przestrzeń wolną od dymu i gorących gazów pożarowych, umożliwiając ludziom opuszczenie pojazdów i dotarcie do miejsc bezpiecznych. Następnie może być użyty zgodnie z poleceniami kierującego akcją ratunkową do wspomagania pracy ratowników.

Istotą działania systemu wentylacji w tunelu drogowym jest wymuszanie przepływów powietrza w pożądanym sposobie. Wymagana struktura przepływu: kierunek, prędkość średnia i rozkład prędkości powinna być osiągnięta w jak najkrótszym czasie z jak największą pewnością. Organizacja pracy systemu wentylacji musi uwzględniać więc wiele czynników stałych, takich jak struktura tunelu i jego wymiary oraz parametry wentylatorów. Należy oczywiście wziąć pod uwagę także czynniki zmienne, takie jak warunki meteorologiczne na portalach tunelu, parametry powietrza wewnątrz tunelu, miejsce ewentualnego wybuchu pożaru, liczbę i rozmieszczenie pojazdów oraz ludzi.

Tylko dla najkrótszych tuneli dopuszcza się stosowanie wentylacji naturalnej. W pozostałych przypadkach musi być zastosowana wentylacja mechaniczna. Wentylacja mechaniczna może być zrealizowana w systemie wzdłużnym, gdzie powietrze i ewentualnie dym są przetłaczane przez całą długość tunelu i usuwane przez jeden z portali, albo w systemie poprzecznym, gdzie dostawa świeżego powietrza i usuwanie powietrza oraz gazów odbywa się za pomocą dodatkowych kanałów przez otwory rozmieszczone wzdłuż długości tunelu. Wymagania minimalne dla systemów wentylacji tuneli drogowych określa Dyrektywa Parlamentu Europejskiego z 2004 roku.

W pracy przedstawiono rozważania nad strukturą naturalnych i wymuszonych przepływów powietrza w tunelach drogowych. Opisane badania i pomiary, których byłem współpomysłodawcą oraz współorganizatorem przeprowadzono w rzeczywistych tunelach drogowych. W tym celu powstał nieformalny zespół badawczy, do którego poza mną weszli pracownicy Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki oraz Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej. Sprawne przeprowadzenie badań było możliwe dzięki wsparciu Państwowej Straży Pożarnej i Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad oraz firmy Smay.

Uzyskane wyniki pozwoliły na przeprowadzenie szerokich analiz teoretycznych i numerycznych badanych zjawisk, co z kolei zwiększyło poziom zrozumienia natury przepływów w tunelach.

Cel naukowy

Celem pracy jest poszerzenie wiedzy o naturalnych i wymuszonych przepływach powietrza w tunelach drogowych oraz identyfikacja czynników mających wpływ na te przepływy. Przepływy naturalne są istotne, ponieważ stanowią tło działania systemów wentylacyjnych i w ten sposób wpływają na ich efektywność. Przepływy wymuszone determinują rozwój zjawisk, od których bezpośrednio zależy bezpieczeństwo użytkowników tunelu.

Cel pracy został osiągnięty przez:

1. Pomiary statycznych rozkładów prędkości powietrza (za pomocą zestawu termoanemometrów wielokierunkowych) na wybranych przekrojach poprzecznych dla przepływów naturalnych oraz przy różnych konfiguracjach włączonych wentylatorów w dwóch tunelach drogowych (w dwukierunkowym tunelu pozamiejskim w ciągu drogi S69 w pobliżu miejscowości Laliki oraz w jednokierunkowym tunelu miejskim pod Martwą Wisłą w Gdańsku).
2. Analizę zapisów mierników będących na wyposażeniu tunelu pod Martwą Wisłą w Gdańsku, co pozwoliło zbadać zmienność prędkości powietrza w czasie po zmianie konfiguracji włączonych wentylatorów.
3. Przeprowadzenie w tunelu Laliki kilku prób z gorącym dymem zgodnie z normą AS 4391-1999 i rejestrację w sposób ciągły rozkład temperatury za pomocą zestawu termopar.
4. Rejestrację warunków meteorologicznych na portalach tuneli w trakcie wszystkich eksperymentów.
5. Budowę modeli teoretycznych niektórych badanych zjawisk. Modele te, wyprowadzone z podstawowych praw fizyki pozwoliły na lepsze zrozumienie mechanizmów powstawania ciągu naturalnego, dynamiki wymuszonego przepływu powietrza oraz przekazywania energii i pędu ze strugi wentylatora strumieniowego do otaczającego powietrza.
6. Budowę i rozwiązanie modeli numerycznych większości badanych zjawisk. Wykorzystano komercyjne oprogramowanie Ansys-Fluent z dołączeniem własnych modułów napisanych w języku C.

Omówienie osiągniętych wyników

Badania w dwóch rzeczywistych tunelach drogowych obejmowały trzy grupy eksperymentów. Pomiary w pierwszej grupie polegały na wyznaczeniu dokładnych rozkładów prędkości powietrza w wybranych przekrojach pomiarowych dla różnych konfiguracji włączonych wentylatorów oraz dla ciągu naturalnego. Wykazano, że prędkość powietrza jest mocno zróżnicowana, z reguły jest największa w centralnej części przekroju i zdecydowanie maleje pod sklepieniem tunelu, spadek prędkości jest też obserwowany w miarę zbliżania się do ścian i jezdni. W obu tunelach występował silny ciąg naturalny, który znacznie wpływał na działanie systemu wentylacji – w niektórych z badanych konfiguracji wymagana prędkość krytyczna powietrza w tunelu nie została osiągnięta. Wynika stąd potrzeba uwzględnienia ciągu naturalnego w algorytmie działania systemu wentylacji tunelu.

Druga grupa eksperymentów to próby z gorącym dymem, które pozwoliły odtworzyć sytuację w tunelu drogowym przy pożarze o małej mocy lub w bardzo wczesnej fazie pożaru. Również tutaj ciąg naturalny miał duży wpływ na sposób rozchodzenia się dymu, co w efekcie pociągnęło za sobą niewłaściwą detekcję pożaru. Ponieważ o bezpieczeństwie użytkowników tunelu decyduje jak najszybsze wykrycie rozwijającego się pożaru system detekcji pożaru powinien być odporny na zjawiska wywołane ciągiem naturalnym lub pracą systemu wentylacji eksploatacyjnej.

W trzeciej grupie pomiarów badano dynamikę ruchu powietrza w tunelu. Korzystając z zapisów prędkości powietrza rejestrowanych przez czujniki pomiarowe będące na

wyposażeniu tunelu określono czas osiągnięcia docelowej prędkości powietrza dla danej konfiguracji wentylatorów. Czas ten uznano za zbyt długi w świetle zadań stawianych systemom wentylacji tuneli drogowych. Algorytm działania systemu wentylacji powinien to opóźnienie uwzględniać. Można to zrealizować przez włączenie początkowo większej liczby wentylatorów i wyłączenie nadmiarowych przy osiągnięciu wymaganej prędkości przepływu.

Dane pomiarowe uzyskane podczas badań w tunelach drogowych pozwoliły na budowę modeli obserwowanych zjawisk. Przedstawione modele teoretyczne pozwalają lepiej zrozumieć analizowane procesy, natomiast dobrze skonstruowane i zwalidowane modele numeryczne dostarczają wiarygodnych przewidywań ilościowych.

Mimo prostoty przedstawiony model powstawania ciągu naturalnego w tunelu potraktowanym jak maszyna cieplna, przy dodatkowym uwzględnieniu wpływu wiatru pozwolił na uzyskanie wyników jakościowo zgadzających się z pomiarami. Podobną zgodność z wynikami pomiarowymi uzyskano modelując dynamikę ruchu powietrza w tunelu. Jednakże, mając na uwadze wyprowadzenie równań określających prędkość ruchu powietrza z podstawowych zasad fizyki i pominięcie niektórych aspektów procesu przepływu powietrza w tunelu należy uznać osiągniętą zgodność za zadowalającą. Przedstawiony model może służyć w praktyce do szybkiego oszacowania czasów relaksacji przepływu powietrza w tunelu. Znaczenie praktyczne mogą mieć również przedstawione rozważania o przekazywaniu energii kinetycznej i pędu ze strugi wentylatora do powietrza w tunelu. Jak pokazano istnieje możliwość zwiększenia efektywności tego procesu przez właściwy dobór parametrów wentylatorów.

Analizy numeryczne zostały przeprowadzone dla wszystkich opisanych eksperymentów w tunelach drogowych. Zbudowano model numeryczny powstawania ciągu naturalnego jako skutek oddziaływania wiatru na portale tunelu i efektu kominowego. Po walidacji danymi pomiarowymi badania numeryczne rozszerzono na inne przypadki, co doprowadziło do wskazania głównych czynników decydujących o wartości ciągu naturalnego. Dwa kolejne modele numeryczne modelowały przepływy wymuszone pracą wentylatorów. Zarówno rozkład prędkości w warunkach ustalonych na wybranym przekroju poprzecznym, jak i zależność prędkości od czasu po zmianie konfiguracji pracujących wentylatorów dobrze zgadzały się z wynikami pomiarów. Daje to pewność, że można te modele zastosować do wielowariantowych analiz pracy systemu wentylacyjnego tunelu, wychodząc poza przypadki objęte pomiarami.

Tak dobrej zgodności z wynikami pomiarów nie osiągnięto w przypadku modelu numerycznego wczesnej fazy rozwoju pożaru. Choć niektóre obliczone rozkłady temperatur pokrywały się ze zmierzonymi, co sugeruje prawidłowość modelu, większość rozkładów wykazywała tylko jakościową zgodność. Jak jednak wyjaśniano, było to spowodowane głównie niestabilnością warunków, w jakich była przeprowadzana próba z gorącym dymem w rzeczywistym tunelu. Głównym czynnikiem zakłócającym były znaczne fluktuacje ciągu naturalnego i ich wpływ na ruch powietrza powodowany przez niewielkie w początkowej fazie próby siły wyporu.

Osiągnięta wiarygodność modeli numerycznych była efektem sporego nakładu prac wstępnych, które pozwoliły również na określenie specyficznych wymagań dla modelowania przepływów w tunelach.

Podsumowanie i wnioski

Badane zjawiska związane z przepływami powietrza lub gorących gazów mogą mieć wielki wpływ na bezpieczeństwo użytkowników tuneli drogowych, zatem wymagają szczegółowego zrozumienia od strony jakościowej i ilościowej. Zrozumienie oznacza umiejętność zbudowania modelu, który po wprowadzeniu mierzalnych parametrów pozwoli na odtworzenie badanych procesów i dostarczy wiarygodnych przewidywań. Struktura przepływów powietrza lub gorących gazów w różnych warunkach powinna być znana już na etapie projektowania tunelu i jego systemów, a takie modele umożliwią ich analizę na drodze teoretycznej. W pracy przedstawiono kilka uproszczonych modeli teoretycznych pozwalających zrozumieć niektóre aspekty badanych zjawisk. Modele te, mimo swojej prostoty dostarczyły przewidywań jakościowo zgodnych z pomiarami. Oznacza to, że modelowane zjawiska przebiegały w sposób podobny jak w rzeczywistości, ale obliczone wartości wielkości charakteryzujących przepływ widocznie odbiegały od wartości pochodzących z pomiarów.

Większy stopień zgodności z wynikami pomiarów można uzyskać modelując eksperyment na drodze numerycznej, wykorzystując w pełni możliwości współczesnych pakietów oprogramowania implementujących metody numerycznej mechaniki płynów rozszerzone dodatkowo o własne funkcje (UDF). Poprawnie zbudowane modele numeryczne, które przeszły walidację danymi pomiarowymi mogą posłużyć do wielowariantowych analiz, które daleko wykraczają poza możliwości eksperymentu. Wszystkie modele zbudowano i rozwiązano wykorzystując pakiet Ansys-Fluent. Budowa tych modeli została poprzedzona szczegółowymi rozważaniami nad specyfiką modelowania przepływów w tunelach drogowych, co zaowocowało zadowalającą dokładnością uzyskanych wyników. Niewielkie rozbieżności pomiędzy wynikami symulacji numerycznych a danymi pochodzącymi z pomiarów nie mają znaczenia z praktycznego punktu widzenia i mogą być wytłumaczone uproszczeniami przyjętymi przy budowie modelu. Dodatkowym efektem tego etapu prac było opracowanie zestawu wskazówek pomocnych w modelowaniu przepływów w tunelach. Jest to istotne z tego względu, że modele numeryczne mogą być bardzo wrażliwe na przyjęte założenia, co w skrajnie niekorzystnych przypadkach może prowadzić do uzyskania nierealnych wyników.

Ostatecznie, w wyniku przeprowadzonych badań, rozważań teoretycznych oraz wyników analiz numerycznych można sformułować następujące wnioski:

1. Ciąg naturalny wywiera silny wpływ na przepływy w tunelach drogowych, dotyczy to również przepływów wymuszonych pracą wentylatorów strumieniowych.
 - a. Wskutek działania ciągu naturalnego może zdarzyć się, że prędkość krytyczna przepływu nie zostanie osiągnięta.
 - b. Ciąg naturalny może zakłócić prawidłową detekcję pożaru.

- c. Ciąg naturalny powstaje jako kombinacja oddziaływania wiatru i efektu kominowego, przy czym dla tuneli krótkich decydujący wpływ ma wiatr. Na wartość efektu kominowego decydujący wpływ ma różnica wysokości wlotu i wylotu tunelu.
 - d. Rzetelne analizy numeryczne uwzględniające ukształtowanie terenu wokół portali tunelu i różne warunki meteorologiczne mogą dostarczyć wiarygodnych informacji o wartości ciągu naturalnego.
2. Przepływ powietrza w tunelu wymuszony pracą wentylatorów strumieniowych jest zjawiskiem złożonym. Analizy i pomiary jednowymiarowe dostarczające uśrednionych wartości wielkości charakteryzujących przepływ w funkcji odległości od jednego z portali mogą być niewystarczające.
 - a. Rozkład prędkości powietrza na przekroju poprzecznym tunelu jest stosunkowo zróżnicowany, największe prędkości występują z reguły w centralnej części tunelu, na wysokości 2 – 3 m; najmniejsze prędkości, znacznie mniejsze od prędkości krytycznej odnotowano pod sklepieniem tunelu, może to sprzyjać zaistnieniu zjawiska przepływu wstecznego przyściennego, mimo że średnia prędkości jest większa od krytycznej.
 - b. Czas potrzebny na osiągnięcie pożądanego prędkości przepływu w tunelu po zmianie konfiguracji włączonych wentylatorów jest dość znaczny (rzędu 4 – 6 minut), co powinno być uwzględnione w projekcie systemu wentylacji i jego algorytmie działania.
 - c. Efektywność przekazywania energii i pędu ze strugi wentylatora strumieniowego do powietrza w tunelu może zostać poprawiona przez odpowiedni dobór parametrów wentylatorów.
3. Charakter przepływu powietrza i gazów pożarowych w czasie rozwoju pożaru zależy od mocy pożaru i prędkości pierwotnego przepływu.
 - a. Nawet pożar o niewielkiej mocy w stosunkowo krótkim czasie powoduje zapełnienie zawietrznej strony tunelu gorącymi gazami, stwarzając warunki uniemożliwiające przeżycie.
 - b. Wsteczny przepływ przyścienny występuje nawet dla pożaru o małej mocy, jego zasięg szybko wzrasta wraz z mocą pożaru.
 - c. Pożar o niewielkiej mocy nie powoduje znaczącego wzrostu średniej prędkości przepływu przez tunel.
4. Symulacje numeryczne są dogodnym narzędziem do badania przepływów powietrza w tunelach drogowych, dostarczającym wiarygodnych przewidywań.
 - a. Budowa modelu numerycznego musi zostać poprzedzona analizą badanego zjawiska i wyborem podstawowych założeń modelu.
 - b. Wskazane jest przeprowadzenie serii wstępnych obliczeń pozwalających na doskonalenie modelu. W tej fazie bardzo pożądane jest porównanie uzyskanych wyników z danymi pochodzącymi z pomiarów.
 - c. Fluktuujące nieprzewidywalnie wartości wielkości określających warunki początkowe i brzegowe mogą być zastąpione wartościami średnimi, co choć może spowodować rozbieżności z danymi pomiarowymi, jest wystarczające z praktycznego punktu widzenia.

Przeprowadzone badania są również inspiracją do dalszych prac. Szczególnie interesujące wydają się pomiary w tunelach z odgałęzieniami (przykładem może być tunel Drogowej Trasy Średnicowej w Gliwicach). Złożona struktura przepływów w takich tunelach daje szansę na odkrycie nowych zjawisk i zależności. Innym kierunkiem planowanych badań są pomiary przepływu powietrza w tunelu drogowym wywołanym ruchem pojazdów (efekt tłoka), które to zjawisko nie zostało w pracy uwzględnione. Z kolei badanie działania systemu wentylacji w warunkach pożaru o dużej mocy, mimo że z pewnością dostarczyłoby wielu cennych danych wydaje się być trudne do realizacji ze względu na ogromny koszt i wymagania, w tym wymagania formalne stawiane stanowisku badawczemu. W takiej sytuacji wyjściem mogą być badania modelowe i symulacje numeryczne. Budowa rzeczywistego modelu tunelu wraz z systemem wentylacji w zmniejszonej skali byłaby przedsięwzięciem rzadkim, nawet w skali światowej. Stąd można się spodziewać, że uzyskane wyniki z takich badań modelowych byłyby nadzwyczaj cenne pomimo trudności ze skalowaniem obserwowanych zjawisk.

7. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych).

Moja pozostała działalność naukowo - badawcza koncentrowała się wokół kilku zagadnień, które zostaną przedstawione poniżej.

Analizy numeryczne przepływów powietrza i rozwoju pożaru w różnego typu obiektach
Umiejętności i wiedza członków nieformalnego zespołu, który współtworzyłem dla badań przepływów powietrza w tunelach drogowych pozwoliły poszerzyć zakres prac o zbliżone zagadnienia. Badania polegały głównie na analizach numerycznych przeprowadzonych za pomocą pakietów oprogramowania Ansys-Fluent i FDS (Fire Dynamics Simulator). W ramach prac zbadano wpływ wiatru na przepływy wewnątrz budynku wysokościowego oraz na proces oddymiania budynku typu atrium. Wyniki tych badań zostały opublikowane (Załącznik 3, II A 2, II E 10, II E 11). Badaliśmy też skuteczność działania systemów przeciwpożarowych w garażach podziemnych (Załącznik 3, II E 18). Kolejnym analizowanym zagadnieniem była emisja dwutlenku węgla z nieczynnego szybu kopalnianego pod wpływem zmieniającej się tendencji barycznej (Załącznik 3, II A 1).

Zastosowanie metod sztucznej inteligencji do zarządzania transportem

Wiele decyzji przy szeroko pojętym zarządzaniu transportem jest podejmowanych przy użyciu zwyczajowych procedur, na podstawie nawyków lub przeszłych doświadczeń, co nie gwarantuje ich optymalności. Większość problemów związanych z zarządzaniem transportem to zadania na pograniczu wielu dziedzin, gdzie nie wszystkie zależności są precyzyjnie określone, a dane potrzebne do podjęcia decyzji charakteryzują się dużym stopniem niepewności. W takiej sytuacji zaproponowałem użycie metod sztucznej inteligencji do wspierania procesu podejmowania decyzji w zarządzaniu transportem. Takie podejście nie wymaga szczegółowej znajomości wszystkich wewnętrznych zależności problemu, wystarczy możliwość określenia jakości rozwiązania – obliczenia wartości funkcji celu. Moje badania koncentrowały się na dwóch problemach szczegółowych: projektowaniu linii komunikacji publicznej oraz efektywnym wykorzystaniu taboru przedsiębiorstw zajmujących się zbiorczą elektro-śmieciami.

Pierwsze z zagadnień wymagało opracowania modelu podróży uwzględniającego możliwe przesiadki oraz ograniczoną pojemność środków transportu publicznego. Efektem kolejnych etapów pracy było kilka publikacji (Załącznik 3, II E 12, II E 24, II E 27, II E 29). W ostatniej fazie badań korzystając z danych uzyskanych w ramach projektu badawczego NB-148/RT5/2014 „Zintegrowany System Zarządzania Transportem w mieście Bielsko-Biała” zbudowałem model rzeczywistej sieci linii autobusowej w Bielsku-Białej. Stosując opracowane metody pokazałem, że odpowiednio korygując rozkład jazdy oraz przebieg tras można o około 30% skrócić sumaryczny czas jazdy pasażerów bez zwiększania liczby zaangażowanych pojazdów (Załącznik 3, II E 2).

Drugie zagadnienie związane było z koniecznością zwiększenia do roku 2019 poziomu zbiórki elektro-śmieci do 65% wielkości sprzedaży nowych urządzeń. Wymóg ten wynika z dyrektywy 2012/19/EU Parlamentu Europejskiego i Komisji Europejskiej. Zespół, w którym brałem udział zaproponował wprowadzenie nowej usługi polegającej na zbiórce elektro-śmieci na żądanie, co jest szczególnie istotne dla urządzeń o dużych gabarytach i masie. Pokazaliśmy, że przy odpowiednio zaprojektowanych trasach pojazdów zbierających możliwa jest realizacja takiej usługi w sposób satysfakcjonującej mieszkańców danego obszaru oraz opłacalny dla wykonującego ją podmiotu. Trasy pojazdów były planowane na bieżąco dla kolejnych dni na podstawie zarejestrowanych zgłoszeń tak, aby przebywana przez nie sumaryczna odległość była jak najmniejsza, dopuszczalne były pewne opóźnienia w terminowości realizacji usługi. W celu uwzględnienia wielu, w większości sprzecznych i nieprecyzyjnie określonych kryteriów (między innymi poziom satysfakcji klienta) do obliczenia wartości funkcji celu zastosowano aparat logiki rozmytej. W kolejnej fazie badań rozszerzyliśmy model o bieżący dobór pojazdów z heterogenicznej floty będącej w dyspozycji. Procedura optymalizująca uwzględniała sposób upakowania zbieranych urządzeń w przestrzeni ładunkowej pojazdów. Efektem tej sfery badań były dwie wartościowe publikacje (Załącznik 3, II A 4, II A 5).

Makroskopowa analiza czynników wpływających na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Opierając się na szczegółowych danych dotyczących zdarzeń drogowych, pochodzących z kart zdarzenia drogowego (baza SEWIK) i udostępnionych przez Komendę Główną Policji przeprowadziłem różnego rodzaju analizy w poszukiwaniu korelacji pomiędzy okolicznościami zdarzenia drogowego, jego przyczynami i skutkami. W badaniach uwzględniono rodzaj drogi, rodzaj ruchu, miejsce zdarzenia, warunki atmosferyczne, pory dnia i roku, dni tygodnia, rodzaj zdarzeń, ich bezpośrednie przyczyny oraz skutki. Oprócz typowych narzędzi statystycznych zastosowałem również sieci bayesowskie, co pozwoliło na szczegółowe prześledzenie zależności przyczynowo-skutkowych (Załącznik 3, II E 22, II E 23). Wykorzystując dane o natężeniu ruchu drogowego pochodzące z systemu monitoringu wizyjnego podjąłem próbę oszacowania obiektywnego (odniesionego do liczby pojazdów na danym odcinku drogi) prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia drogowego. Istotnym osiągnięciem w tej części badań było wykazanie, że prawdopodobieństwo to nie zależy ogóle, lub zależy bardzo słabo od natężenia ruchu drogowego (Załącznik 3, II E 26).

Zastosowanie metod sztucznej inteligencji do optymalizacji sieci transportowej

Motywacją do podjęcia badań nad optymalizacją sieci transportowej był istotny wzrost komunikacyjnych potrzeb ludności związany z intensyfikacją rozwoju gospodarczego, wzrostem zamożności społeczeństwa oraz urbanizacją nowych terenów. Powstała zatem potrzeba opracowania metody umożliwiającej znalezienie optymalnej struktury sieci transportowej na rozpatrywanym obszarze przy zadanych potrzebach komunikacyjnych.

Ze względu na wielką liczbę zmiennych i spodziewane występowanie wielu optimum lokalnych pełna eksploracja przestrzeni rozwiązań jest niemożliwa, zaproponowałem więc zastosowanie metod sztucznej inteligencji, a w szczególności algorytmu genetycznego i sztucznego systemu immunologicznego. Ponieważ podstawową reprezentacją sieci transportowej jest graf uzupełniony o dodatkowe dane o złożonej strukturze, wprowadziłem specjalne operatory, za pomocą których można dokonywać modyfikacji wszystkich własności tej sieci. Zaprojektowałem taką postać funkcji celu, aby możliwe było jednoczesne uwzględnienie kosztów rozwoju sieci transportowej oraz kosztów jej utrzymania i użytkowania.

W ramach badań opracowano metody pozwalające na:

1. zbudowanie realistycznego modelu sieci transportowej, który zachowując kluczowe jej cechy będzie mógł być łatwo poddawany optymalizacji,
2. wskazanie tych fragmentów istniejącej sieci transportowej, które wymagają modyfikacji lub rozbudowy
3. znalezienie optymalnej struktury sieci transportowej dla prognozowanych potrzeb transportowych na danym obszarze przy jednoczesnej minimalizacji kosztów lub nieprzekroczeniu zadanego budżetu

Opracowane metody zastosowano w pierwszej kolejności do testowych sieci transportowej o małej złożoności. Następnie, po ich udoskonaleniu do sieci w skali regionu i całego kraju. Naukowym efektem tego etapu badań było wiele publikacji (Załącznik 3, II E 27, II E 34, II E 35, II E 39), a w szczególności wystąpienia na uznanych konferencjach międzynarodowych (Załącznik 3, II L 4, II L 8).

Badanie zjawisk zachodzących na powierzchni półprzewodnika w warunkach wysokiej próżni

W latach 1996 – 2000 pracowałem jako asystent w Instytucie Fizyki Wydziału Matematyczno-Fizycznego Politechniki Śląskiej. Pod kierunkiem Profesora Jacka Szubera zajmowałem się badaniem zjawisk zachodzących na powierzchni półprzewodnika w warunkach wysokiej próżni. Szczególną uwagę zwróciłem na wpływ składu atmosfery resztkowej w komorze próżniowej na właściwości elektronowe powierzchni półprzewodnika. Znajomość składu atmosfery resztkowej okazała się kluczowa dla zrozumienia zachodzących procesów, więc w ramach badań opracowałem i zbudowałem spektrometr masowy typu UFM (unipolarny filtr mas). Ponieważ wartość sygnału wyjściowego ze spektrometru jest funkcją tylko masy cząsteczkowej, nie ma bezpośredniej możliwości określenia udziału gazów o zbliżonych lub takich samych masach cząsteczkowych. Dla rozróżnienia takich składników zaproponowałem nową metodę opartą na wykorzystaniu różnic w energii jonizacji. Pozwoliło to na przykład na odróżnienie metanu od tlenu atomowego (masa cząsteczkowa 16). Dodatkowo zbudowałem model numeryczny opisujący zachowanie się cząsteczek emitowanych w trakcie badanego procesu przy obecności gazów resztkowych pod niskim

ciśnieniem. Model ten umożliwiał również symulację procesu pomiaru ciśnień cząstkowych. Opisane narzędzia i procedury wykorzystano w badaniach wpływu adsorpcji gazów reszkowych na stan i własności powierzchni GaAs(100). W czasie badań powstało szereg publikacji, między innymi (Załącznik 3, II A 6). Ostatecznym efektem badań była rozprawa doktorska *Zastosowanie unipolarnego filtra mas do kontroli ciśnień cząstkowych gazów o zbliżonych masach cząsteczkowych w bardzo wysokiej próżni*.

Modelowanie numeryczne naprężeń mechanicznych i termicznych w elementach maszyn

W latach 1992 – 1996 pracując jako asystent w Instytucie Transportu Wydziału Inżynierii Materiałowej, Metalurgii, Transportu i Zarządzania Politechniki Śląskiej zajmowałem się zagadnieniami modelowania numerycznego naprężeń mechanicznych i termicznych w elementach maszyn. W szczególności przy wykorzystaniu metody elementów skończonych analizowałem rozkład naprężeń i temperatur w kolejowych zestawach kołowych. Celem badań było znalezienie optymalnej struktury zestawu w celu minimalizacji generowanych naprężeń i zwiększenia trwałości.

Obecnie jestem autorem lub współautorem 75 publikacji zgodnie z bazą Dorobek Pracowników Politechniki Śląskiej. Mój sumaryczny IF wynosi 26.893. Natomiast sumaryczna liczba punktów MNiSW zgodnie z rokiem publikacji – 611. Indeks Hirscha według bazy Web of Sciences wynosi 3, a według bazy Scopus 4. Liczba cytowań według bazy Web of Sciences wynosi 37, bez autocytowań 30.

Jestem również współautorem skryptu uczelnianego (Załącznik 3, III I 2) oraz podręcznika akademickiego (Załącznik 3, III I 1).

R. Kuci