

## Załącznik 2

dr inż. Małgorzata Król  
Politechnika Śląska w Gliwicach  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Techniki Odpylania

### Autoreferat

#### 1. Imię i nazwisko.

Małgorzata Król

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

Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Środowiska – 2004

Politechnika Śląska w Gliwicach

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Tytuł rozprawy doktorskiej: *Optymalizacja parametrów termicznych wybranych typów okien*

Promotor: Profesor dr hab. inż. Ryszard Białecki

Ukończenie studiów podyplomowych w zakresie: Audyting energetyczny w budownictwie na potrzeby termomodernizacji oraz oceny energetycznej budynków – 2010

Politechnika Śląska w Gliwicach

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Ukończenie studiów podyplomowych w zakresie: Rachunkowość – 2000

Akademia Ekonomiczna w Katowicach

Kolegium Zarządzania

Tytuł magistra inżyniera – 1995

Politechnika Śląska w Gliwicach

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Kierunek studiów: Inżynieria i ochrona środowiska

Specjalność: Urządzenia ciepłotne zdrowotne i ochrona powietrza

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

2005 - obecnie	adiunkt	Politechnika Śląska w Gliwicach Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Techniki Odpylania
1994 - 2005	asystent doktorant	Politechnika Śląska w Gliwicach Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Techniki Odpylania
1993 - 1994	stażysta	Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, Katowice

#### **4. Wskazanie osiągnięcia naukowego**

wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule 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 efektywności oddymiania grawitacyjnego budynków w warunkach działania wiatru

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

Król M., *Analiza efektywności oddymiania grawitacyjnego budynków w warunkach działania wiatru*. Monografia, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2018. (udział habilitanta 100%)

Recenzenci wydawniczy:

Prof. dr hab. inż. Robert Sekret

dr hab inż. Mariusz Adamski

Król M., 2016. *Numerical studies on the wind effects on natural smoke venting of atria*. International Journal of Ventilation 15 (1), 67–78. doi.org/10.1080/14733315.2016.1173293. (udział habilitanta 100%)

Król M., Król A., 2017. *Wind influence on a building with the natural smoke removal system*. ACEE Archit. Civ. Eng. Environ. 10 (3), s. 119-126. (udział habilitanta 80%)

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

#### **Wprowadzenie**

Rozwój pożaru w budynku powoduje pojawienie się płomieni, wysokiej temperatury oraz dymu, który może być przenoszony na duże odległości. Dym stanowi ogromne zagrożenie dla ludzi, ponieważ zawiera w swoim składzie wiele trujących substancji, powoduje zmniejszenie widoczności oraz w konsekwencji utratę orientacji. Dym utrudnia też zdecydowanie prace ekipom ratowniczym. Zapewnienie ludziom właściwych warunków ewakuacji oraz ochrona konstrukcji budynków powoduje, że niektóre budynki, zgodnie z przepisami powinny być wyposażone w systemy usuwania dymu. Działanie systemu usuwania dymu polega na odprowadzeniu gorącego dymu i ciepła przez otwory oddymiające usytuowane w górnej części budynku oraz na doprowadzeniu powietrza kompensacyjnego w jego dolnej części. Systemy usuwania dymu mogą działać jako systemy grawitacyjne bądź mechaniczne.

W systemach grawitacyjnych, gorące dymy pożarowe usuwane są przez klapy dymowe umieszczone na dachu budynku lub okna oddymiające umieszczone na fasadach zewnętrznych w pobliżu dachu, natomiast powietrze kompensacyjne doprowadzane jest przez drzwi wejściowe bądź inne otwory napowietrzające umieszczone w dolnej części budynku. Zasadniczym mechanizmem powodującym przepływ gorących dymów w kierunku klap dymowych lub okien oddymiających jest wypór termiczny. Wielkość tego wyporu uzależniona jest od różnicy między temperaturą dymu a temperaturą otoczenia.

Badania pokazują, że oddymianie grawitacyjne jest procesem, który może być zakłócony przez wiele czynników. Zaburzenie w prawidłowym przebiegu procesu oddymiania może spowodować na przykład niska temperatura dymów pożarowych spowodowana pożarem małej mocy lub długą drogą, jaką musi przepłynąć dym, aby dostać się do otworów oddymiających. Jednocześnie badania te wskazują, że największe zakłócenie dla procesu grawitacyjnego oddymiania budynku będzie stanowić wiatr, który wywiera ciśnienie na fasady budynku. Ono z kolei oddziałuje na przepływy powietrza wewnątrz budynku. Jeśli w budynku zachodzi oddymianie grawitacyjne to proces ten również znajdzie się pod wpływem działania wiatru.

### **Cel naukowy**

Podstawowym celem pracy było poszerzenie wiedzy dotyczącej wpływu wiatru na działanie systemów grawitacyjnego oddymiania budynków oraz wskazanie warunków, w których system oddymiania grawitacyjnego budynków może pracować nieprawidłowo. Cel został osiągnięty poprzez realizację szeregu zadań cząstkowych takich jak:

- analizy numeryczne przepływu powietrza wokół budynku, na który napływa wiatr,
- analizy numeryczne rozkładu ciśnień generowanych przez wiatr na fasadach budynku,
- badania *in situ* efektywności oddymiania grawitacyjnego budynku dziewięciokondygnacyjnego z wykorzystaniem prób z gorącym dymem,
- porównanie wyników badań z danymi meteorologicznymi dotyczącymi wiatru i wskazanie warunków, w czasie których system oddymiania grawitacyjnego pracował nieprawidłowo,
- analizy numeryczne efektywności oddymiania grawitacyjnego budynku dziewięciokondygnacyjnego w warunkach napływu wiatru na każdą z fasad budynku,
- analizy numeryczne oddziaływania wiatru na grawitacyjny proces oddymiania budynku wielkokubaturowego.

### **Omówienie osiągniętych wyników**

Wykorzystując obliczenia numeryczne pokazano, jak wygląda rozkład prędkości powietrza wokół budynku, na który napływa wiatr. Powietrze przepływające wokół budynku generuje na jego fasadach ciśnienie. W analizach pokazano, że na bezwzględną wartość ciśnienia ma wpływ prędkość wiatru. Czym prędkość wiatru większa, tym nadciśnienie lub podciśnienie powstające na ścianach budynku jest większe. W analizowanych przedziałach wartości prędkości wiatru, nie miała ona wpływu na rozmieszczenie stref nadciśnienia i podciśnienia na fasadach budynku. Na rozmieszczenie tych stref wpływał jedynie kierunek napływu wiatru, to on determinował czy na ścianie pojawiło się nadciśnienie czy podciśnienie.

Wyjątek stanowi ściana nawietrzna, na której zawsze generowane jest nadciśnienie. Prawdziwe jest również stwierdzenie, że to kształt budynku ma znaczenie dla rozkładu stref nadciśnienia i podciśnienia na fasadach. Przetworzone obliczenia numeryczne pokazały jak trudne do określenia jest rozmieszczenie stref podciśnienia i nadciśnienia na fasadach budynku oraz jak duże są wartości ciśnień generowanych na poszczególnych ścianach. Oba zagadnienia mają istotne znaczenie dla procesu grawitacyjnego usuwania dymu z budynku. Jednakże największe znaczenie będą miały dla efektywności pracy wszelkich urządzeń fasadowych, takich jak bramy napowietrzające, kłapy upustowe czy okna oddymiające.

Praca badawcza autorki obejmowała również fragment badań przeprowadzonych w ramach projektu *Bezpieczna ewakuacja* realizowanego wspólnie przez firmę Smay, Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwożarowej, firmę Ardor, Politechnikę Warszawską oraz Politechnikę Śląską. Poligonem badawczym w tym projekcie był budynek dziewięciokondygnacyjny, w którym zostało specjalnie przygotowane pomieszczenie testowe oraz została obudowana klatka schodowa. W budynku przeprowadzono prawie 60 prób z gorącym dymem oraz 5 kontrolowanych pożarów rzeczywistych. Próby przeprowadzane były w różnych warunkach zewnętrznych, od warunków prawie zimowych do warunków całkowicie letnich. Testowano system naturalnego oddymiania budynków, jak i system z nawiewem mechanicznym. Dla obu systemów doprowadzania powietrza kompensacyjnego sprawdzano oddymianie przez kłapy stanowiące odpowiednio 5% powierzchni rzutu klatki schodowej oraz 7,5% powierzchni rzutu klatki schodowej. Oba systemy doprowadzenia powietrza kompensacyjnego zostały również sprawdzone w połączeniu z oknami oddymiającymi. Za pomocą kilku drzew termopar mierzono rozkład temperatury w pomieszczeniu testowym i w kilku miejscach klatki schodowej. W czterech miejscach na klatce schodowej dokonywano pomiaru transmitancji, co pozwoliło na określenie widzialności w tych punktach. Przeprowadzono pomiary strumienia objętości przepływającego dymu przez kłapy oddymiające i okna oddymiające. Za pomocą systemu telewizji przemysłowej śledzono i rejestrowano przebieg wydarzeń w pomieszczeniu testowym oraz na klatce schodowej w czasie każdej próby. Omawiany fragment projektu dotyczył jedynie analiz efektywności oddymiania klatki schodowej przez okna oddymiające oraz kłapę dymową w czasie prób z gorącym dymem. Prezentowane w pracy wyniki uzupełniono danymi meteorologicznymi dotyczącymi wiatru pochodzącymi z Stacji Meteorologicznej Katedry Klimatologii, Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego.

Badania w obiekcie rzeczywistym pokazały duży wpływ wiatru na skuteczność działania systemu oddymiania przez okna umieszczone na jednej fasadzie budynku. W przypadku kłapy dymowej, trudno jednoznacznie stwierdzić, że wiatr wpływa na proces odprowadzania przez nią dymu. Jednakże można było zaobserwować oddziaływanie wiatru na proces napowietrzania klatki schodowej. Gdy wiatr wiał na fasadę z drzwiami wejściowymi do budynku to efektywność procesu oddymiania przez kłapy była większa. W tym kontekście działanie wiatru miało pozytywny wpływ. Należy jednak zauważyć, że oddziaływanie to, jest całkowicie pozbawione kontroli i przypadkowe, co wynika z samej natury wiatru.

W Polsce systemy oddymiania z oknami oddymiającymi umieszczonymi na jednej fasadzie są często spotykane, mimo że nie jest to zgodne z normą, według której przeprowadza się

certyfikacje okien oddymiających. Zgodnie z tą normą powierzchnie czynną okien oddymiających wyznacza się bez wpływu wiatru. Oznacza to, że okna powinny pracować w warunkach bezwietrznych, a wtedy ich powierzchnia czynna będzie zgodna z tą wyznaczoną w czasie badań certyfikacyjnych. Jako rozwiązanie norma podaje, że okna powinny być montowane na dwóch różnych fasadach budynku i sterowane przez system detekcji kierunku wiatru. System detekcji kierunku wiatru oznacza układ przeznaczony do kontroli co najmniej dwóch sekcji urządzeń wentylacyjnych rozmieszczonych na oddzielnych elewacjach, aby w przypadku pożaru powodować otwarcie tylko tych okien, które nie będą poddane ciśnieniu wiatru.

Prowadzone badania pokazały jak duży wpływ na system oddymiania ma wiatr, szczególnie w przypadku, gdy napływ powietrza kompensującego odbywa się grawitacyjnie. Tak duża zależność grawitacyjnego systemu oddymiania od warunków zewnętrznych powoduje, że trudno ten system, w przypadku stosowania nawiewu grawitacyjnego, traktować jako system zapewniający szybkie usunięcie dymu z klatki schodowej. Wypór termiczny, który pojawiał się na klatce schodowej w czasie badań z gorącym dymem był mniejszy niż ciśnienie wywierane przez wiatr na fasadzie budynku. Prawdopodobnie pożar rzeczywisty generowałby większy wypór termiczny, jednak tendencja do wtłaczania powietrza przez okna oddymiające, przy napływie wiatru na fasadę z oknami była tak duża, że wypływ dymu przez te okna byłby prawdopodobnie bardzo utrudniony lub nawet niemożliwy.

Analiza danych meteorologicznych pokazała jak bardzo niestabilne są warunki meteorologiczne panujące szczególnie na większych wysokościach. Wiatr zmienia gwałtownie nie tylko prędkość, ale również kierunek. Wykorzystanie w takiej sytuacji okien oddymiających umieszczonych na dwóch fasadach może nadal nie rozwiązać problemu efektywnego oddymiania klatki schodowej. Istota takiego rozwiązania oparta jest na działaniu systemu identyfikującego kierunek wiatru tak, aby zostały otwarte okna na fasadzie, na którą nie napływa wiatr. Analiza danych meteorologicznych pokazuje, że jednoznaczna identyfikacja fasady bezwietrznej może stanowić problem. Powoduje to, że oparcie funkcjonowania systemu oddymiania jedynie na działaniu wyporu termicznego może nie zapewnić budynkom skutecznego sposobu oddymienia klatki schodowej, która jest podstawową drogą ewakuacji z budynku wielokondygnacyjnego.

Rozszerzenie badań w obiekcie rzeczywistym o analizy numeryczne pozwoliło sprawdzić jak będzie zachowywał się system przy napływie wiatru z innych kierunków. Analizy pokazały, że system oddymiania przez okna oddymiające z nawiewem grawitacyjnym powinien w tych warunkach pracować prawidłowo.

Rozpatrując systemy oddymiania przez urządzenia fasadowe należy zwrócić również uwagę na elementy systemu nadciśnieniowego, których praca może być zaburzona przez działanie wiatru. System, który powoduje zwiększenie ciśnienia w przestrzeni klatki schodowej tak, aby nie przepłynął na tę klatkę dym zakłada równocześnie, że to ciśnienie nie będzie większe niż 50 Pa, aby nie uniemożliwić otwarcia drzwi na klatkę schodową. Jednym ze sposobów ochrony klatki schodowej przed nadmiernym wzrostem ciśnienia jest instalowanie na fasadach zewnętrznych klatki klapy upustowej. Przy wzroście ciśnienia powyżej zadanej

wartości kłapa uchyla się i nadmiar powietrza powinien być z klatki usunięty. Jeśli w trakcie tego procesu na fasadę z klapą upustową będzie napływał wiatr, to nadmiar powietrza nie będzie nią usunięty. Klapą tą może nawet zostać doprowadzone dodatkowe powietrze, które spowoduje znaczący wzrost ciśnienia na klatce schodowej i może uniemożliwić wejście ewakuujących się ludzi na klatkę schodową. Warto w takim systemie zastosować klapę nadmiarowo-upustową instalowaną na dachu klatki schodowej. Takie rozwiązanie spowoduje, że oddziaływanie wiatru na odprowadzenie nadmiaru powietrza z klatki schodowej będzie mniejsze.

Kolejnym rozwiązaniem, dla którego wiatr może stanowić zagrożenie jest odprowadzanie dymu na kondygnacji, na której rozwija się pożar. Norma PN-EN 12102-6 przy zastosowaniu systemu nadciśnieniowego na klatce schodowej wskazuje konieczność zaprojektowania systemu odprowadzenia dymu z kondygnacji, na której rozwija się pożar. Odprowadzenie dymu z kondygnacji może być rozwiązane w różny sposób, znajdują tutaj też zastosowanie urządzenia fasadowe. Jednak jak zauważono powyżej takie rozwiązanie może nie działać zgodnie z projektem. Zastosowanie urządzenia fasadowego może doprowadzić do powtórnego wtłoczenia dymu do przestrzeni, gdzie rozwija się pożar. Może to nawet doprowadzić do takiego wzrostu ciśnienia w pomieszczeniu, gdzie rozwija się pożar, że dym pomimo zastosowanego systemu nadciśnieniowego podczas otwarcia drzwi zacznie wypływać na klatkę schodową. Rozwiązaniem może być wyprowadzenie dymu przewodami na dach budynku lub stosowanie wyrzutni fasadowych.

W ramach badań przeprowadzono również analizy numeryczne oddziaływania wiatru na proces oddymiania budynku wielkokubaturowego. Analizy wykonano dla różnych konfiguracji drzwi napowietrzających oraz dla czterech kierunków napływu wiatru. Badania te pokazały, że wiatr w istotny sposób zaburza proces oddymiania naturalnego budynków wielkokubaturowych. Rozkład ciśnienia, który formuje się na ścianach budynku determinuje sposób napływu powietrza kompensacyjnego do jego wnętrza. Decyduje też o ilości wymienianego powietrza. Na podstawie prezentowanych analiz można określić optymalne, z punktu widzenia uniezależnienia się od działania wiatru, rozmieszczenie drzwi napowietrzających. Jednak duża zmienność wiatru, może zaburzyć założony schemat działania systemu oddymiania grawitacyjnego.

Oczywistym jest, że napływ wiatru na fasadę z drzwiami napowietrzającymi spowoduje większą wymianę powietrza w budynku. Wypływ przez klapy dymowe będzie wtedy również większy. Przy mniejszych prędkościach wiatru ta sytuacja nie będzie niepożądana. Jednak przy większych prędkościach wiatru spowoduje to napływ powietrza do budynku ze zbyt dużą prędkością, co będzie skutkowało porywaniem cząstek dymu z warstwy podsufitowej i zadymienie całego obiektu.

Rozmieszczenie drzwi napowietrzających na ścianie równoległej do kierunku napływu wiatru spowoduje stosunkowo równomierny napływ powietrza do budynku. Strumień objętości napływającego powietrza będzie mniejszy niż przy drzwiach usytuowanych na fasadzie nawietrznej. Przy większych prędkościach wiatru wymieniane będą większe ilości powietrza i prędkość powietrza w przekroju drzwi napowietrzających będzie większa. Przy takiej

konfiguracji otworów napowietrzających warto zwrócić uwagę na pracę drzwi położonych blisko krawędzi ściany, na którą napływa wiatr. Drzwi napowietrzające położone blisko krawędzi ściany, na którą napływa wiatr nie pracują nigdy prawidłowo. Przy małej prędkości wiatru początkowo wypływa przez nie dym, ale dopiero później zaczynają pracować jako otwory napowietrzające. Natomiast przy dużej prędkości wiatru przez cały czas trwania obliczeń dym wypływał przez te drzwi na zewnątrz budynku. Zjawisko to jest związane z odrywaniem się strugi powietrza na krawędzi ściany i tworzącym się obszarem podciśnienia. W większej odległości od krawędzi struga przykleja się z powrotem do ściany budynku. Dlatego otwory napowietrzające usytuowane dalej od krawędzi ściany pracują poprawnie.

Drzwi napowietrzające umieszczone na fasadzie zawietrznej będą pracowały podobnie jak te umieszczone na ścianie nawietrznej. Prędkość napływu powietrza będzie mniejsza i w konsekwencji strumienie objętości dostarczanego powietrza będą mniejsze. Jednak żadne z drzwi napowietrzających nie będą pracowały odwrotnie.

Na uwagę zasługuje również nierównomierny wypływ dymu przez klapy oddymiające. Jednakże mała liczba przebadanych konfiguracji klap utrudnia formułowanie jednoznacznych opinii na temat pracy poszczególnych klap.

Grawitacyjne oddymianie budynków wielkokubaturowych jest silnie uzależnione od warunków meteorologicznych dotyczących wiatru. Duża powierzchnia drzwi napowietrzających powoduje, że tak naprawdę to wiatr decyduje o ilości powietrza, które jest doprowadzane do budynku. Idealne warunki do ewakuacji i działania ekip ratowniczych, kiedy to pod sufitem utrzymuje się warstwa dymu pożarowego, kształtują się tylko w czasie działania wiatru o małych prędkościach.

## **Wnioski**

Przeprowadzone badania w obiekcie rzeczywistym oraz wykonane analizy numeryczne pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- Napływ wiatru na budynek generuje na jego fasadach ciśnienie, na wartość którego ma wpływ prędkość wiatru, jego kierunek oraz kształt budynku;
- Montowanie okien oddymiających na jednej fasadzie budynku może nie zapewnić właściwej efektywności działania systemów grawitacyjnej wentylacji oddymiającej;
- Działanie klap upustowych montowanych na zewnętrznej ścianie klatki schodowej może nie zapewnić oczekiwanej kontroli nadciśnienia w przestrzeni klatki schodowej;
- Działanie klap upustowych montowanych na fasadzie zewnętrznej budynku, których funkcja związana jest z odprowadzeniem dymu z pomieszczeń, w których rozwija się pożar, może być zaburzone z powodu działania wiatru;
- Wiatr oddziałuje nie tylko na proces grawitacyjnego odprowadzenia dymu, ale również na sposób doprowadzenia powietrza kompensacyjnego;

- W obiektach wielkokubaturowych wiatr może spowodować doprowadzanie powietrza kompensacyjnego ze zbyt dużą prędkością, co spowoduje zadymienie całego obiektu;
- Umieszczanie drzwi napowietrzających w budynkach wielkokubaturowych blisko krawędzi ściany może spowodować, że drzwi te nie będą pracować poprawnie, będzie przez nie wypływać dym na zewnątrz budynku.

Przedstawione w monografii badania i analizy numeryczne, uwzględniające aktualny stan wiedzy, wskazały na dużą zależność efektywności działania systemów oddymiania grawitacyjnego od działania wiatru. Wyniki oraz sformułowane wnioski mogą zostać wykorzystane przez inżynierów i projektantów systemów oddymiania. W pracy zaproponowano również kierunki dalszych badań.

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych).**

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

### **Badania działania wentylacji pożarowej w tunelach drogowych**

Badania obejmowały pomiary w tunelach rzeczywistych oraz szereg analiz numerycznych. Na potrzeby badań powstał nieformalny zespół badawczy, do którego poza mną weszli pracownicy Wydziału Transportu, Wydziału Górniczego oraz mojej macierzystej Katedry. Byłam współ-liderem tego zespołu. Planowałam badania w tunelach rzeczywistych, aktywnie w nich uczestniczyłam oraz koordynowałam współpracę z firmami zewnętrznymi, które wsparły badania, z Państwową Strażą Pożarną oraz Generalną Dyрекcją Dróg Krajowych i Autostrad.

W październiku 2016 roku przeprowadziliśmy badania w tunelu drogowym Laliki w ciągu drogi S1. Tunel został okresowo zamknięty dla ruchu drogowego. W czasie badań mierzona była prędkość przepływu powietrza w kilku przekrojach tunelu, zakładając pracę instalacji wentylacyjnej zgodnie z matrycą zadziałania na wypadek wybuchu pożaru. Wykonano cztery serie pomiarowe, dwie dla właściwego kierunku pracy wentylatorów osiowych a dwie dla rewersyjnego. W badaniach wykorzystano 14 anemometrów firmy Sensor, rozmieszczonych na dwóch statywach. Statywy przesuwano w czasie pomiarów tak by pokryć cały przekrój tunelu. Pozwoliło to otrzymać 76 punktów pomiarowych. W czasie badań rejestrowane były warunki meteorologiczne na obu portalach, do czego wykorzystane były: stacja meteorologiczna Kestrel 4500 (portal południowy) oraz anemometr ultradźwiękowy WindMaster Pro firmy Gill Instruments (portal północny). Wyniki badań pozwoliły ocenić czy praca wentylatorów oraz ich schemat działania zapewnią właściwą pracę tych urządzeń na wypadek wybuchu pożaru. Efektem badań są publikacje (Załącznik 2, II A 2, II A 5, II E 2). W tunelu przeprowadzono również próby z gorącym dymem. Badania te pozwoliły na ocenę systemu detekcji oraz późniejszej pracy wentylatorów przy zadymieniu. W badaniach wykorzystano pięć wytwornic dymu firmy Vulcan oraz dwie lub cztery tace z alkoholem. Taka konfiguracja urządzeń pozwoliła na symulację pożaru o mocy 1,5 MW. W trakcie badań rejestrowano temperaturę za pomocą termopar rozmieszczonych na dwóch statywach.



Dodatkowo obserwowano przebieg prób z gorącym dymem za pomocą kamery termowizyjnej. Efektem tych badań jest publikacja (Załącznik 2, II A 2).

Badania przeprowadzone w tunelu Laliki zwróciły naszą uwagę na naturalne przepływy, które pojawiają się w tunelu na skutek działania wiatru na portale oraz na skutek nachylenia tunelu. Przepływy te stanowią tło dla działania systemów wentylacji w tunelu oraz dla przepływu zanieczyszczeń i dymu w początkowej fazie pożaru. Ich określenie powinno mieć miejsce na etapie projektowania systemów wentylacji pożarowej dla tunelu.

Kolejne badania zostały przeprowadzone w tunelu pod Martwą Wisłą w Gdańsku. W badaniach wykorzystano tą samą aparaturę badawczą. Dodatkowo, aby otrzymać pełny obraz przepływu powietrza w tunelu posłużono się zapisami urządzeń będących na wyposażeniu tunelu. Urządzenia te stale monitorują przepływy w tunelu oraz warunki meteorologiczne na portalach. Wykonano pięć serii pomiarowych w jednym przekroju, dla różnych konfiguracji pracujących wentylatorów oraz dla stanu, gdy nie pracował żaden wentylator. Pozwoliło to zmierzyć ciąg naturalny dla tego tunelu. Efektem badań jest publikacja *The influence of natural draught on the air flow in a tunnel with longitudinal ventilation* (artykuł po pierwszych recenzjach w *Tunnelling and Underground Space Technology*) oraz publikacja (Załącznik 2, II A 4).

Wyniki otrzymane w czasie pomiarów pozwoliły również na walidację modeli numerycznych. W czasie analiz zostały stworzone modele przepływu powietrza w obu tunelach oraz model rozwoju pożaru w tunelu w oparciu o próby z gorącym dymem. Modele numeryczne zostały zaprezentowane we wspomnianych wcześniej artykułach oraz w publikacji *Numerical modeling of air velocity distribution in a road tunnel with a longitudinal ventilation system* (artykuł w recenzjach w *Tunnelling and Underground Space Technology*).

### **Diagnostyka instalacji wentylacji i klimatyzacji**

Zagadnieniami dotyczącymi inspekcji i diagnostyki instalacji wentylacji i klimatyzacji zajmowałam się w związku z uczestnictwem w projekcie strategicznym *Zintegrowany system zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków* finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Moja macierzysta Katedra była liderem zadania nr 4 *Rozwój diagnostyki cieplnej budynków*. Projekt realizowany był w latach 2010 – 2013. Brałam czynny udział w opracowaniu nowej, szybkiej metody diagnostyki cieplnej *in situ* obiektów ze szczególnym uwzględnieniem elementów systemu wentylacji. Byłam odpowiedzialna za kompleksową diagnostykę wybranego budynku biurowego. Pomiar efektywności działania instalacji wentylacji mechanicznej były wykonane w kilku budynkach biurowych. Badania obejmowały kompleksową inspekcję systemu wentylacji mechanicznej, pomiary strumienia objętości powietrza wentylacyjnego oraz pomiary parametrów czynnika grzewczego zasilającego nagrzewnicę. Inspekcje pokazały znaczne różnice pomiędzy projektem a stanem istniejącym instalacji. Natomiast pomiary w rzeczywistych budynkach biurowych ujawniły wiele problemów, na które można natknąć się wykonując takie badania. Dotyczyły one między innymi trudności z dostępem do przewodów, czy kłopotów ze znalezieniem odpowiedniego fragmentu przewodu umożliwiającego zainstalowanie na przykład przepływomierza ultradźwiękowego. W czasie trwania projektu powstało szereg publikacji:

(Załącznik 2, II E 16, II E 26, II E 14, II E 15). Ostatecznym efektem projektu było wydanie poradnika *Poradnik diagnostyki cieplnej budynków*. Jestem autorem lub współautorem następujących rozdziałów (Załącznik 2, II E 9, II E 10, II E 11, II E 12).

### **Przepływ ciepła przez elementy powłoki zewnętrznej budynku**

W latach 2000 – 2005, pod opieką Profesora Ryszarda Białeckiego, zajmowałam się badaniem strat ciepła przez powłokę zewnętrzną budynku, ze szczególnym uwzględnieniem strat ciepła przez okna. Okna jako przegrody przezroczyste są źródłem dużych strat ciepła budynków, więc zwiększenie ich izolacyjności powinno skutkować znacznymi oszczędnościami w zużyciu energii na ogrzewanie budynków. W badaniach osobno rozważałam szklane wkłady okienne oraz plastikowe ramy. Szklane wkłady okienne analizowałam pod kątem zmniejszenia strat ciepła na drodze konwekcji. Rozpatrywałam wprowadzenie folii do wkładu okiennego, która spowodowałaby zmniejszenie przepływu ciepła przez ten wkład na drodze konwekcji. Badania były prowadzone na drodze teoretycznej oraz z wykorzystaniem metod numerycznych. Plastikowe ramy okienne w swoich komorach wewnętrznych posiadają stalowe wzmocnienia. Analizowałam zmiany kształtu stalowego wzmocnienia tak, aby osiągnąć możliwie najmniejsze straty ciepła przez ramy przy zachowaniu wymaganej sztywności. Zmiany kształtu stalowego wzmocnienia były kontrolowane przez algorytm genetyczny, zaś funkcją celu był strumień ciepła przez badaną domenę wyznaczany metodą elementów brzegowych przez program BETTI. W czasie badań powstało szereg publikacji, między innymi (Załącznik 2, II A 8, II L 7, II L 10). Prezentowane badania były wsparte grantem promotorskim o numerze 4T10B02323 a ostatecznym ich efektem była praca doktorska *Optymalizacja parametrów termicznych wybranych typów okien*.

### **Badania migracji zanieczyszczeń w budynkach mieszkalnych**

Zwiększenie izolacyjności cieplnej przegród budowlanych pod koniec lat dziewięćdziesiątych skutkowało zmniejszeniem strumienia powietrza wentylacyjnego napływającego do budynków mieszkalnych z wentylacją naturalną. Zjawisko to powodowało wzrost stężenia zanieczyszczeń pochodzących między innymi ze spalania gazu w urządzeniach domowych. Podejmowałam próby opisu zjawiska migracji zanieczyszczeń między pomieszczeniami w budynku mieszkalnym z wykorzystaniem programu CONTAM. Efektem tych prac były publikacje (Załącznik 2, II E 30, II E 31, II E 32).

