

dr hab. inż. architekt Jan Styk, prof. PW
Katedra Projektowania Architektonicznego
Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej
sierpień 2019

Recenzja pracy doktorskiej

Optimalizacja systemu ewakuacji z budynków użyteczności publicznej w warunkach zagrożenia pożarowego

wykonanej przez mgr inż. Marcina Ciska

pod kierunkiem promotora prof. dr hab. Jerzego Wolanina

i promotora pomocniczego dr inż. Pawła Sulika

sporządzona na zlecenie Instytutu Techniki Budowlanej w Warszawie

Dążąc do zachowania równowagi w środowisku życia, cywilizacja Zachodu posługiwała się początkowo zasadami sformułowanymi na bazie doświadczeń, prób i błędów. Intelktualne zdobycze ery nowożytnej, metodyka naukowa i wnioskowanie poprzez eksperyment uzupełniły aparat poznawczy o narzędzia przewidujące skutki działań drogą pośrednią. W konsekwencji tworzono regulacje zapobiegające powstawaniu sytuacji niebezpiecznych, które przybierały postać kodów i norm społecznych, a później również przepisów prawnych i systemów regulacji branżowych takich jak katalogi praktyk i podręczniki inżynierskie. Społeczeństwo ery przemysłowej rozbudowało system normatywny do niespotykanych w historii rozmiarów. Każdy detal maszyny i każda procedura medyczna zyskały opis oparty na schematach ideowych, wytycznych i zakazach...

Dziś, stojąc na progu ery informacyjnej dostrzegamy ograniczenia normatywnego systemu regulacji. Gilles Deleuze nazywa to zjawisko przejściem od społeczeństwa dyscyplinarnego do społeczeństwa kontroli. Nie czytamy instrukcji i nie jesteśmy skłonni ufać wiedzy ekspertów przekazywanej drogą instruktazu. Wolimy eksperymentować od momentu pierwszego kontaktu z urządzeniem. Spodziewamy się intuicyjnych interfejsów i sprawdzeń w czasie rzeczywistym.

Praca doktorska mgr inż. Marcina Ciska jest odbiciem tendencji obserwowanych we wszystkich dziedzinach związanych ze współczesną inżynierią. Autor rozumie szanse jakie otwiera technologia cyfrowa. Korzysta z nich by badać możliwości efektywniejszej ochrony ludzkiego życia w warunkach zagrożenia pożarowego.

- Problem pracy, profil badań, wartość naukowa i aplikacyjna

Doktorant formułuje problem badawczy jako dążenie do ...*optymalizacji systemu ewakuacji ludzi w budynku użyteczności publicznej w warunkach pożaru* [s. 20]. Stara się uzyskać rozwiązanie drogą dekompozycji zagadnienia, poprzez rozważanie kolejnych składowych: uwarunkowań przestrzenno– inżynierskich w budynku, zjawisk związanych z pożarem, a wreszcie zachowań ludzkich będących skutkiem procesów psychicznych i społecznych. Jako element klasycznego schematu rozumowania Marcin Cisek stawia również hipotezę starając się zbadać czy *dynamiczne kierowanie ewakuacją ludzi przyczynia się do optymalizacji systemu ewakuacji* [s. 21]. Recenzent nie ma zastrzeżeń do tak sformułowanego zadania. Rozumie, że Doktorant świadomie zawęził ujęcie, by uzyskać miarodajne rezultaty. Pragnie jednak zauważyć, że w istocie, problem postawiony w pracy jest dużo szerszy. Marcin Cisek zauważa, że istniejący w Polsce system regulacji formalnych dotyczących ochrony przeciwpożarowej ma charakter normatywny [s. 42]. Komplikacja struktur budowlanych prowadzi do komplikacji przepisów. W efekcie cel zapewnienia bezpieczeństwa nie musi być, nawet po ich spełnieniu, zachowany. W pracy znajdujemy statystyki potwierdzające, że liczba wniosków o odstępstwa jest znaczna [s.13] i że dotyczą one głównie obiektów dużych i skomplikowanych, czyli tych w których potencjalne zagrożenie jest największe.

Znajdując się w tym kręgu zależności doktorant wybiera najszlachetniejszą możliwą drogę. Stara się przezwyciężyć bariery stosując nową, alternatywną dla normatywnej, metodykę zapewnienia standardu. Korzysta przy tym ze swoich kompetencji w dwóch dziedzinach: wiedzy pożarnej i metodyki algorytmicznej. W efekcie praca doktorska rozwija się w dwóch oddziałujących na siebie wzajemnie warstwach. Pierwszą jest porządkowanie wiedzy i typologia prowadząca do ustalenia kryteriów bezpiecznej ewakuacji oraz mierzalnych wskaźników, które wykorzystać można do ewaluacji rozwiązań. Najbardziej ogólnym efektem tej części jest ustalenie relacji między dostępnym i wymaganym czasem ewakuacji jako miary bezpieczeństwa pożarowego. Drugi wątek rozważań dotyczy algorytmiki modelowania ewakuacji. Korzystając z dostępnych narzędzi, Doktorant tworzy reguły odwzorowania procesu ucieczki ludzi na tle struktury przestrzennej budynku. Jest to zadanie trudne nawet po dokonaniu uproszczeń. Mimo to, przedstawione w pracy modele dobrze obrazują rzeczywistość i pozwalają na przeprowadzenie eksperymentu naukowego.

W odbiorze recenzenta faktyczna hipoteza pracy jest więc szersza. Marcin Cisek starał się uprawdopodobnić, że przyjęcie celowego charakteru normy pozwala elastyczniej dostosować rozwiązania do konkretnej sytuacji projektowej. Środkiem do realizacji takiego scenariusza działania nie są przepisy odnoszące się do fizycznej struktury lecz model symulacyjny i wyniki potwierdzające osiągnięcie celu.

Zdaniem recenzenta, będącego zarówno badaczem środowiska cyfrowego jak i praktykującym architektem, podejście zaprezentowane w pracy jest konsekwentne i odpowiada współczesnym tendencjom. Choć przełożenie wyników na formalne procedury w weryfikacji dokumentacji może się wydawać trudne, to już dziś najbardziej skomplikowane projekty architektoniczne są

realizowane z wykorzystaniem analogicznych narzędzi¹. Wydaje się, że rozwój metodyki zaprezentowanej w pracy będzie przyczyniał się w przyszłości do zwiększenia reprezentatywności interdyscyplinarnych modeli. Ośmieli tym samym do ewaluacji projektów w funkcji celu i do faktycznej poprawy bezpieczeństwa, efektywności, energooszczędności itd.

- Zawartość, konstrukcja wywodu, zagadnienia warsztatu naukowego

Recenzowana praca liczy 183 strony. Składa się z czterech głównych części poprzedzonych wprowadzeniem i opisem metody, podsumowanymi wnioskami. W końcowej części zamieszczono bibliografię, spis aktów prawnych, źródeł internetowych i ilustracji.

Tytuł dobrze syntetyzuje treść pracy. Zawiera istotne sformułowania i słowa kluczowe mogące wpłynąć na łatwiejsze wyszukiwanie w bazach informacji naukowej.

Część wstępna rozprawy składa się ze wstępu i pierwszego rozdziału. Autor rozpoczyna od przedstawienia wagi problemu i motywacji do podjęcia badań, a następnie w zwięzły sposób zarysowuje schemat rozumowania, stawia pytania badawcze formułuje problemy i hipotezy. Styl oparty na wypunktowaniach, podkreślenie najistotniejszych myśli oraz duża dyscyplina sformułowań przekonują, że Doktorant dysponuje warsztatem badawczym i że decyzje dotyczące kierunku studiów podejmuje w sposób dojrzały i przemyślany. Jedyna korekta jaką recenzent wprowadziłby w tej części to podkreślenie metodycznego celu rozprawy. *Optymalizacja systemu ewakuacji z budynków użyteczności publicznej* [s. 19] jest bowiem w sensie dosłownym celem trudnym do zrealizowania, zaś cel realnie osiągnąć wiąże się ze znalezieniem metody optymalizacji. Marcin Cisek szuka jej (z powodzeniem!) nie w konkretnej inwestycji, lecz w warunkach modelowych.

Pierwsza część rozprawy [s. 23-50] porządkuje wiedzę w zakresie terminologii, uwarunkowań formalnych i realizacyjnych związanych z procesem ewakuacji. Recenzent z zainteresowaniem prześledził wątek dotyczący historycznych źródeł obowiązujących w tym obszarze unormowań [s. 23 i n.]. Następująca po nim część dotycząca polskich regulacji prawnych [s.30-45] jest zdaniem recenzenta zbyt szczegółowa, a niektóre wątki, jako luźno związane z tematem (np. ewakuacja metra) nie wymagały tworzenia osobnych podrozdziałów. Można założyć, że czytelnik rozprawy ma ogólną orientację dotyczącą zagadnień ochrony przeciwpożarowej, a do treści określonych przepisów należało (jako do łatwo dostępnych źródeł) odesłać w przypisach. Wartościowe, a być może warte rozszerzenia, są w tej części rozdziały poświęcone nie brzmieniu, lecz skutkom funkcjonowania przepisów [np. s. 48]

W drugiej części pracy [s. 52-87] autor starał się zgromadzić wszystkie dane potrzebne dla właściwego ukształtowania modeli stosowanych w eksperymencie. Podstawowym założeniem jest tu odejście od normowania rozwiązań na rzecz ustalenia parametrów mierzących poziom

¹ Mowa tu np. o londyńskim wieżowcu ReSwiss proj. N. Foster & Partners, którego wentylację i kształt fasady projektowano drogą symulacji, czy o pływalni olimpijskiej w Pekinie proj. PTW, której oddymianie zaprojektowano symulując skutki przepalenia powłoki ETFE w konkretnych lokalizacjach.

bezpieczeństwa. Wywód na temat struktury etapów ewakuacji i związanych z tym potrzeb w czasie jest czytelny i przekonujący. Zdaniem recenzenta można byłoby jedynie uwypuklić konkretne (choćby przykładowe) wielkości charakterystyczne. (np. wielkość pożądanego różnicy DCBE-WCBE dla wybranych sytuacji projektowych) [s. 56]. Autor czyni to np. w odniesieniu do czasu poprzedzającego ruch prezentując tabelę [s. 66].

Dalsze rozważania dotyczą wybranych elementów struktury architektonicznej istotnych z punktu widzenia ewakuacji oraz charakterystyki zagrożenia pożarowego. Przedstawione analizy są klarowne, a wyniki przydatne w dalszej części pracy.

Trzecia część [s. 88-106] jest wprowadzeniem narzędziowym do badania eksperymentalnego. Autor przedstawia charakterystykę programów do modelowania ewakuacji. Czyni to w sposób uporządkowany, pozwalający czytelnikowi nie będącemu ekspertem w tej dziedzinie rozpoznać istotne różnice i mechanizmy działania. Szczególnego podkreślenia wymaga fakt, że Marcin Cisek zachowuje właściwy dla badacza sceptycyzm i stara się obiektywizować skutki działania zastosowanych narzędzi. Widać to wyraźnie już na etapie przygotowania właściwego eksperymentu, kiedy wyniki z programu Shepherd i Pathfinder są porównywane dla weryfikacji wiarygodności symulacji [s. 147].

Najistotniejsza część badań Doktoranta została przedstawiona w czwartej części pracy [rozdział 5, s. 107-165]. Znajdujemy tu szczegółowy plan eksperymentu, opis narzędzi i kryteriów pomiarowych oraz raport z właściwego doświadczenia. Marcin Cisek stosuje dwuwarstwowy model budynku. Za pomocą systemu grafów reprezentuje uwarunkowania fizyczno-funkcjonalne. Tak skonstruowana sieć dyskretna zawiera informacje opisujące pomieszczenia (źródła ruchu) przejścia i drogi ewakuacyjne. Grafy oparto na węzłach, w których następuje wybór kierunku ruchu. To one decydują o liczbie możliwych wariantów ewakuacji i one również mogą zawierać elementy aktywnego systemu kierowania ruchem. Oprócz sieci dyskretnych w modelu użyto sieci dokładnej, która ma charakter komórkowy (płaski)² i reprezentuje fizyczną pojemność przestrzeni wewnętrznej w stosunku do gabarytów ludzkiego ciała.

Analiza wyników eksperymentu prowadzona jest w trzech etapach: przed w trakcie i po zakończeniu symulacji. Pozwala to w pierwszym kroku ocenić i zaplanować dostępne scenariusze, następnie zaś badać jaki wpływ na ewakuację ma zastosowanie systemu aktywnego sterowania ruchem. W tej sferze autor pracy poprzestaje na deterministycznych procedurach działania algorytmu sterowania. Należy jednak przewidywać, że przy bardziej złożonej sieci dyskretnych (duża liczba węzłów i czujników, skomplikowany układ architektoniczny) podejmowanie decyzji o kierowaniu ewakuacją będzie przebiegało poprzez optymalizację rozwiązań wewnątrz algorytmu, być może również z wykorzystaniem procedur samouczących.

Autor pracy uzyskuje wyniki dotyczące czasu ewakuacji, zagęszczenia potoków ruchu, zajętości wyjść, dla kilku schematycznych układów budynku i przy dwóch wariantach rozmieszczenia ludzi. Potwierdzają one zgodne z intuicją hipotezy. Skuteczność systemu aktywnego sterowania ewakuacją wzrasta wraz z komplikacją struktury architektonicznej i wraz z nieregularno-

² W kolejnym etapie badań można byłoby rozważyć korzystanie z siatek wolumetrycznych lub 2,5-wymiarowych, które lepiej oddawałyby specyfikę przekroju budynku, w tym pionowych dróg ewakuacji.

ścią rozmieszczenia ludzi w budynku. Zdaniem recenzenta plan eksperymentu, zastosowane narzędzia, opis przebiegu i prezentacja wyników zostały przygotowane zgodnie z wymogami warsztatu naukowego. Zamiar, metoda i skutki działań są jasne, a wyniki mogą być wykorzystane do dalszych badań i jako wytyczna dla praktycznych działań w ramach projektowania systemów ewakuacji.

- Forma pracy, redakcja, język

Rozprawa została przekazana do recenzji w formie rękopisu. Struktura trójpoziomowego konceptu dobrze reprezentuje tok rozumowania. Następstwo części i ich zawartość merytoryczna koresponduje z sekwencją wnioskowania. Język odpowiada standardom pracy naukowej.

W warstwie ilustracyjnej znajdujemy liczne autorskie schematy ideowe ułatwiające czytelnikowi rozpoznanie intencji autora. Wiele parametrów i wielkości charakteryzujących opisywane zjawiska przedstawiono w formie tabelarycznej (17 tabel). Wyniki analiz oraz eksperymentów zaprezentowano za pomocą komunikatywnych wykresów. Podkreślenia wymaga fakt, że w tej sferze dominują własne opracowania doktoranta. Przyczyniają się one do poprawy czytelności rozprawy, a dodatkowo pozwalają korzystać z niej łatwo jako źródła informacji dla własnych analiz.

W sferze redakcyjnej recenzent zauważył potknięcia o charakterze typograficznym i drobne powtórzenia, które przy ewentualnym zamiarze dalszego wykorzystania tekstu należałoby wyeliminować. Bibliografia i przypisy zostały opracowane prawidłowo, choć stosowanie systemu harwardzkiego bez odwołań z podaniem numeru strony utrudnia czytelnikowi dotarcie do źródła. Szczególnie tam, gdzie autor nawiązuje do myśli zaczerpniętych z literatury można byłoby rozważyć zastosowanie szerszego przypisu komentującego. Lista źródeł internetowych powinna zostać uzupełniona o czas dostępu ze względu na stosunkowo ograniczoną aktualność.

- Polemika, uwagi szczegółowe

Recenzent docenia wartość pracy, i nie dostrzega potrzeby istotnej polemiki. Korzystając jednak z szansy przekazania opinii, jaką jest proces recenzowania, pragnie zwrócić uwagę na trzy zagadnienia, które doktorant mogłyby rozwinąć w dalszych badaniach.

1. Zachowanie się ludzi w trakcie ucieczki o którym mowa na s. 75 jest istotnym czynnikiem wpływającym na rozważania dotyczące ewakuacji. Autor nie poświęca mu w pracy dużej uwagi co jest zrozumiałe w kontekście ograniczeń modelu. Procedury normatywne, które funkcjonują w ramach obowiązujących przepisów również nie biorą tego uwarunkowania pod uwagę. Mimo to psychiczne i społeczne czynniki istotnie wpływają na faktyczne zachowania ludzi w środowisku zbudowanym. Dzięki wykorzystaniu narzędzi cyfrowych możliwe jest (przynajmniej częściowe) reprezentowanie tych zagadnień w modelu. Recenzent sądzi, że istniejące algorytmy symulujące zachowania

w strukturze urbanistycznej (np. SpaceSyntax) zawierają komponenty analogiczne do uwarunkowań ewakuacji. Być może we współpracy z psychologami środowiskowymi można byłoby rozszerzyć warsztat narzędziowy opisujący ruch ludzi w warunkach zagrożenia. Ważnym aspektem tych analiz byłoby również kształtowanie odpowiedniego dla psychiki systemu sygnałów (interfejsu) sterowania ruchem oraz planowanie działań edukacyjnych zmieniających wrażliwość i reakcje użytkowników na zagrożenie.

2. Jedną z tendencji dominujących we współczesnej inżynierii architektonicznej jest dążenie do maksymalnej integracji informacji o budynku. Większość zaawansowanych analiz, w tym również analizy dotyczące ochrony przeciwpożarowej ma charakter wielokryterialny. Pominięcie części uwarunkowań prowadzi do ograniczenia reprezentatywności modelu. Zdaniem recenzenta problem poruszony przez Pana Marcina Ciska jest na tyle istotny, że należałoby włączyć go do obszaru projektowania interdyscyplinarnego. Aby cel ten zrealizować, trzeba dążyć do integracji modeli. Wydaje się, że przynajmniej w warstwie struktury dyskretnej jest to możliwe. Model ewakuacji funkcjonowałby jako składnik dokumentacji przygotowywanej w standardzie BIM (uniwersalnym lub indywidualnym). Ewentualna integracja narzędzi przyniosłaby wielostronne korzyści. Specjaliści ds. ochrony przeciwpożarowych korzystaliby z modelu zawierającego pełną informację o budynku. Architekci i projektanci branżowi mogliby korygować rozwiązania pod kątem efektywności ewakuacyjnej na wczesnych etapach budowania koncepcji.

Przy tej okazji można byłoby wyposażyć wybrane elementy modelu BIM w metadane dot. parametrów istotnych dla ewakuacji (np. takich jak wygoda schodów, cechy mechanizmów zamykających drzwi itp.)

3. Perspektywa rodząca się na podstawie scenariuszy przedstawionych w pracy każe oczekiwać rozwiązań podporządkowujących bezpieczeństwo zdrowia i życia pracy algorytmu. Rodzi to konsekwencje natury etycznej, z którymi mamy już do czynienia np. we wdrażaniu ruchu autonomicznych pojazdów. Kto bowiem odpowie za ewentualne błędne pokierowanie ruchem w trakcie ewakuacji? Jeśli będzie nią zarządzała dynamiczna sieć neuronowa, trudno nawet wskazać odpowiedzialny za błąd komponent programistyczny.

- Podsumowanie

Recenzowana praca doktorska jest przejawem współczesnego, interdyscyplinarnego podejścia do rozwiązywania problemów technicznych. Pan mgr inż. Marcin Cisek podjął temat o istotnym znaczeniu społecznym. Dla jego rozwiązania wykorzystał narzędzia cyfrowe łącząc kompetencje i wiedzę z zakresu ochrony przeciwpożarowej i algorytmiki. Wyniki pracy mogą być przydatne dla inżynierów pożarnictwa, architektury, budownictwa, specjalistów realizacji budowlanej a także dla badaczy w tych obszarach.

W czwartym rozdziale Doktorant zauważa, że nawet bez uzyskania ostatecznych wyników, sam proces śledzenia symulacji prowadzi do wzrostu wiedzy o naturze zjawiska. Recenzent zgadza się z tą myślą. Uważa, że niezależnie od obowiązujących przepisów i norm działania należy dążyć do upowszechnienia metodyki symulacyjnej w kształtowaniu rozwiązań technicznych. Szczególnie w sferze związanej z bezpieczeństwem może się to przyczynić do wzrostu jakości życia.

Recenzent uważa, że rozprawa doktorska Marcina Ciska zatytułowana: *Optymalizacja systemu ewakuacji z budynków użyteczności publicznej w warunkach zagrożenia pożarowego* spełnia wymogi opisane w Art. 13 Ustawy o stopniach i tytułach naukowych (...) oraz, oceniając pracę wysoko, wnosi o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

