

Streszczenie

Celem pracy było opracowanie modelu obliczania ryzyka powodziowego wynikającego bezpośrednio z opadów deszczu i jego implementacja dla dwóch wybranych obszarów zurbanizowanych: Gdańska i Krakowa.

Do tego celu wykorzystano łatwo dostępne i nieodpłatne dane, o wysokiej jakości, w tym o odpowiedniej szczegółowości. Dobór odpowiednich danych i narzędzi pozwolił na identyfikację obszarów podatnych na występowanie powodzi opadowych oraz na ocenę ryzyka w tych obszarach. Model oceniono jakościowo zdarzeniami historycznymi o powodziach opadowych na podstawie zgłoszeń i interwencji straży pożarnej, uwzględniono w nim charakterystyki morfologiczne obszarów zurbanizowanych oraz dóbr materialnych i niematerialnych w tych obszarach.

W modelu oceny ryzyka powodziowego w obszarach zurbanizowanych wykorzystano wielokryterialną analizę porównawczą (WAP) oraz metodę analizy hierarchicznej problemu (AHP). Określenie wielkości ryzyka i jego rozkładu w obszarze Gdańska i Krakowa jest problemem informacji przestrzennej, dlatego zagadnienie to rozwiązywano z wykorzystaniem WAP. Metoda WAP posłużyła do uporządkowania zbioru porównywanych obiektów wielowymiarowych opisanych przez zbiór cech diagnostycznych. Jako obiekt wielowymiarowy przyjęto oczko siatki o wymiarach 500 m x 500 m. W celu ustalenia hierarchii obiektów wykorzystano porządkowanie liniowe, którego podstawą jest zmienna syntetyczna, a jej wartości są obliczane na podstawie obserwacji cech diagnostycznych charakteryzujących wspomniane wyżej obiekty wielowymiarowe. Spośród metod wykorzystywanych do obliczenia wartości zmiennej syntetycznej wykorzystano metody bezwzorcowe, w których zmienna syntetyczna jest funkcją znormalizowanych wartości zmiennych wejściowych i zagregowanych z wykorzystaniem średniej arytmetycznej.

Zastosowanie metody porządkowania liniowego pozwoliło na ustalenie hierarchii obiektów wielowymiarowych ze względu na kryterium jakim jest wyznaczenie obszarów o największym ryzyku powodziowym w Gdańsku i Krakowie.

W modelu przyjęto, że ryzyko jest funkcją zagrożenia, wrażliwości, ekspozycji oraz podatności. Model opracowano w taki sposób, aby jak najlepiej odpowiadał kluczowym elementom miasta wyrażonym poprzez ocenę wrażliwości odnoszącej się do charakterystyk naturalnych i pseudonaturalnych związanych z cechami morfologicznymi i antropogenicznymi.

Poziom wrażliwości miast na powódzie opadowe zbadano poprzez jego cechy morfologiczne do których zaliczono ukształtowanie terenu (występowanie obszarów bezodpływowych, obszarów płaskich o małym nachyleniu (poniżej 2%), obszarów o dużych deniwelacjach) oraz jego uszczelnienie będące skutkiem przekształceń antropogenicznych. W ocenie wrażliwości wykorzystano wyniki badania ankietowego, w którym poproszono respondentów o ocenę wpływu cech morfologicznych terenu i jego pokrycia na powstawanie powodzi opadowych w obszarach zurbanizowanych. Spośród cech morfologicznych, zdaniem respondentów największy wpływ na powstawanie powodzi opadowych mają „obszary bezodpływowe”, a w przypadku cech opisujących pokrycie terenu jest to „zabudowa zwarta i gęsta”. Wyniki wykorzystano do określenia współczynników wagowych dla wskaźników opisujących morfologię i uszczelnienie terenu.

Poziom ekspozycji miast zbadano w odniesieniu do czterech kategorii (w metodzie AHP są to kryteria główne) istotnych z punktu widzenia potencjalnych szkód: „Życia i zdrowia ludzi”, „Działalności gospodarczej”, „Infrastruktury komunikacyjnej i telekomunikacyjnej” oraz „Obiektów kultury i zabytków”. Dla każdej z nich przygotowano zestawy cech, a następnie obliczono wartości wskaźników opisujących daną kategorię ekspozycji. Ocena ekspozycji obszarów zurbanizowanych na powódzie opadowe pozwoliła jednocześnie ocenić potencjalnie negatywne skutki powodzi w tych obszarach. Integralną częścią oceny ekspozycji było badanie ankietowe przeprowadzone na potrzeby metody AHP. Respondenci zostali poproszeni o wskazanie, które z kryteriów głównych jest ważniejsze w kontekście ochrony przed powodzią opadową z punktu widzenia potencjalnych strat, oraz o analogiczną ocenę dla każdego z kryteriów cząstkowych opisujących dane kryterium główne. W rezultacie „Życie i zdrowie ludzi” oceniono najwyżej. Ważność pozostałych kryteriów oceniono mniej więcej na tym samym poziomie. Wyniki analizy hierarchicznej problemu wskazują, że w rankingu globalnym najważniejszym kryterium w ocenie ekspozycji obszarów zurbanizowanych są „Obszary specjalne”,

czyli takie obszary, w których przebywają osoby, szczególnie wrażliwe na zagrożenie powodziowe z uwagi na wiek jak również możliwe ograniczenia w mobilności. Wyniki badania ankietowego przeprowadzonego z wykorzystaniem metody AHP wykorzystano do określenia współczynników wagowych dla wspomnianych kryteriów głównych i cząstkowych.

Podstawą oceny zagrożenia były mapy rozkładu kwantyli opadów maksymalnych o czasie trwania, $t=15$ min i prawdopodobieństwie przewyższenia, $p=3\%$ opracowane w ramach projektu pn. „*Modele probabilistyczne opadów maksymalnych o określonym czasie trwania i prawdopodobieństwie przewyższenia – $P_{max}(t,p)$* ”. Ocena poziomu podatności obszaru Gdańska i Krakowa na powódzie opadowe była wypadkową oceny wrażliwości i ekspozycji.

Rezultatem przeprowadzonych badań było opracowanie dla każdego z miast wskaźnika zagrożenia, zintegrowanych wskaźników: wrażliwości, ekspozycji i podatności oraz zintegrowanego wskaźnika ryzyka. Integralną częścią modelu są opracowane dla każdego ze wskaźników mapy ich rozkładu przestrzennego.

Ocenę jakościową modelu przeprowadzono z wykorzystaniem danych obserwacyjnych dotyczących interwencji straży pożarnej w latach 2010 – 2017.

Niniejsza praca wspiera identyfikację i ocenę konsekwencji zagrożeń związanych z powodziami opadowymi oraz wprowadza nowe podejście oparte na danych do identyfikacji obszarów zarówno zagrożonych występowaniem powodziami opadowymi jak i charakteryzujących się wysoką ekspozycją.

Słowa kluczowe: wielokryterialna analiza porównawcza, metoda analizy hierarchicznej problemu, zagrożenie, wrażliwość, ekspozycja, podatność, ryzyko, powódź opadowa, obszar zurbanizowany