

dr Szymon Wiśniewski<sup>1</sup>

Przyjęty/Accepted/Принята: 22.12.2015;

Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 06.05.2016;

Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

## Dostępność przestrzenna straży pożarnej do miejsc potencjalnych interwencji na terenie województwa łódzkiego

### Fire Service Accessibility to Potential Intervention Areas in Łódź Voivodship

### Пространственный доступ пожарной службы к местам потенциальных действий на территории Лодзинского воеводства

#### ABSTRAKT

**Cel:** Głównym celem analizy jest określenie przestrzennego dopasowania lokalizacji i rangi jednostek straży pożarnej do rozmieszczenia ludności, elementów zagospodarowania terenu i ukształtowania środowiska województwa łódzkiego, które zasadniczo wpływają na działania straży pożarnej.

**Projekt i metody:** Do analizy wykorzystano metodę określania obszarów rynkowych (ang. *two-step floating catchment area method*) w wersji klasycznej oraz zmodyfikowanej, która pozwoliła zbadać różnorodne elementy przestrzeni, których mogą dotyczyć interwencje strażackie. Zastosowano trzy zakresy czasowe dojazdu straży pożarnej na miejsce potencjalnej interwencji – nie dłuższy niż 5, 15 i 30 minut. Podstawową jednostką badania była gmina – w ujęciu gminnym przedstawione zostało zróżnicowanie przestrzenne poziomu dostępności. Odległość pomiędzy każdą z analizowanych jednostek straży (punktem na segmencie sieci drogowej na wysokości jednostki) a poszczególnymi elementami zagospodarowania gminy (ich centroidami) wyrażono w jednostkach czasu przejazdu wozu bojowego na miejsce interwencji. Dzięki wykorzystaniu statystyki lokalnej Getisa-Orda badanie pozwoliło wskazać obszary o szczególnie wysokim i niskim poziomie dostępności dla działań straży pożarnej. W badaniu wzięto pod uwagę rozmieszczenie ludności, zabudowy, infrastruktury drogowej, infrastruktury kolejowej, lasów, cieków i zbiorników.

**Wyniki:** W świetle uzyskanych wyników najlepiej zabezpieczone przez działania straży pożarnej pozostają gminy przy północnej i południowej granicy regionu. Wyraźne jest pogarszanie się poziomu dostępności gmin wraz ze zmniejszaniem się ich odległości od centrum regionu. Obszar, który wymaga szczególnego zainteresowania ze strony straży pożarnej, jest jednak nieznacznie przesunięty na południowy zachód i obejmuje głównie gminy powiatów: pabianickiego i łódzkiego wschodniego.

**Wnioski:** Ujęcie działalności straży pożarnej na płaszczyźnie przestrzennej może stanowić materiał diagnostyczny, pomocny przy przeprowadzeniu działań mających na celu podniesienie efektywności funkcjonującego systemu straży pożarnej lub utworzeniu na problemowych obszarach nowych jednostek. Wskazane wydaje się zestawienie wyników powyższej analizy z analizą rozmieszczenia rzeczywistych interwencji straży pożarnej, ich rodzaju, czasu trwania czy efektywności.

**Słowa kluczowe:** straż pożarna, województwo łódzkie, dostępność przestrzenna, zagospodarowanie przestrzenne

**Typ artykułu:** oryginalny artykuł naukowy

#### ABSTRACT

**Aim:** This analysis provides a spatial focus on the determination of firefighting resource requirements and matching the distribution of resources according to needs created by the concentration of population and terrain profile. Matching of resources will shape the Łódź Voivodship environment for the essential operation of the Fire Brigade.

**Project and Methods:** For each topic a “two step floating catchment area” analysis method was applied, in the classic and modified versions. Modifications may be applied in such a manner so as to admit different elements, which may impact on firefighting operations. Three response time scales were stipulated for arrival at a potential intervention scene; duration of no more than 5, 15 and 30 minutes. The basic area exposed to scrutiny is a commune. It is in this context that differentiated spatial accessibility is determined. The distance between each firefighting establishment under scrutiny (a point on the segment of the road network at fire station level) and individual management elements of the municipality (their centroids), is expressed in units of time taken by an appliance to reach the scene of an incident. With the use of local statistics “Getisa-Orda”, the entire study was able to identify areas with particularly high and low accessibility levels to intervention scenes. The study took account of population, building configuration, road infrastructure, rail infrastructure, forests, watercourses and reservoirs.

**Results:** Study results reveal that the best protected areas by the Fire Service are found in communes near the northern and southern area of the region. There is a clear deterioration in the level of accessibility to communities as the distance from the centre of the region decreases. The area, which merits special attentions is somewhat offset towards the southwest of the region and mainly includes municipalities of Pabianice and Łódź East.

<sup>1</sup> Uniwersytet Łódzki / University of Lodz; szymon.wisniewski@geo.uni.lodz.pl;

**Conclusion:** A spatial focus on Fire Service activities may provide a diagnostic tool for eventual action intended to improve the effectiveness of the Fire Service. It can also be used during implementation to address problematic issues for new fire stations. It is advisable that the results obtained by this study should be compared with an analysis of actual Fire Service interventions for the region with a focus on: type of incident, duration and effectiveness.

**Keywords:** Fire Service, Łódź Voivodship, spatial accessibility, spatial organization

**Type of article:** original scientific article

## АННОТАЦИЯ

**Цель:** Основная цель анализа состоит в пространственном определении расположения и важности подразделений пожарной службы относительно распределения населения, рельефа местности Лодзинского воеводства (области), которые в значительной степени влияют на действия пожарных служб.

**Проект и методы:** Для каждой из анализируемых предметных областей был использован метод 2SFCA в классической и модифицированной версиях, так чтобы обеспечить рассмотрение различных элементов пространства, которые могут подпадать под действия пожарных. Автор применил три пределы времени прибытия пожарной службы на место потенциальных действий – не более 5, 15 и 30 минут. Основной единицей исследования была гмина (волость) – с точки зрения гмин было представлено пространственное распределение уровня доступности. Расстояние между каждой из анализируемых единиц пожарной службы (точкой на отрезке дорожной сети на уровне единицы) и отдельными элементами управления территорией гмины (их центроидами), были выражены в единицах времени проезда боевой машины к месту действия. Общее исследование, использующее локальные статистики Гетиса-Орда, помогло определить участки с особенно высоким и низким уровнем доступа для действий пожарных. Исследование учитывает размещение населения, зданий, дорожной инфраструктуры, железных дорог, лесов, рек и водоемов.

**Результаты:** В итоге полученных результатов, округами лучше всего защищенными пожарной службой являются те, которые находятся на северном и южном пограничье региона. Существует четкое ухудшение уровня доступности гмин вместе с уменьшением их расстояния от центра региона. Территория, которая требует особого интереса пожарной службы, немного сдвинута на юго-запад региона и включает в себя в основном гмины повятов (районов): Пабианитского и Лодзинско-Восточного.

**Выводы:** Пространственное представление деятельности пожарной службы может представлять собой диагностический материал для проведения возможных мер по повышению эффективности действующей системы пожарной охраны или созданию на проблемных территориях новых подразделений. Рекомендуется, сравнить результаты приведенного выше анализа с анализом размещения фактических действий пожарной службы, их видов, продолжительности и эффективности.

**Ключевые слова:** пожарная служба, Лодзинское воеводство, пространственная доступность, пространственное развитие

**Вид статьи:** оригинальная научная статья

## 1. Wprowadzenie

Celem artykułu jest próba przestrzennego dopasowania lokalizacji i rangi jednostek straży pożarnej do rozmieszczenia ludności, elementów zagospodarowania terenu i ukształtowania środowiska województwa łódzkiego, które mają zasadniczy wpływ na działania straży pożarnej.

Zgodnie z ustawą o Państwowej Straży Pożarnej [1, art. 1 ust. 2 pkt. 1-3] do podstawowych zadań straży pożarnej (zarówno zawodowej, jak i ochotniczej) należą m.in. rozpoznawanie zagrożeń pożarowych i innych miejscowych zagrożeń, organizowanie i prowadzenie akcji ratowniczych w czasie pożarów, klęsk żywiołowych lub likwidacja miejscowych zagrożeń oraz wykonywanie pomocniczych specjalistycznych czynności ratowniczych w czasie klęsk żywiołowych. Tak szeroki zakres działań wymagał włączenia do analizy efektywności działań tych formacji szeregu zmiennych (nazywanych dalej zakresami tematycznymi). Należą do nich: rozmieszczenie ludności województwa łódzkiego, rozmieszczenie zabudowy, rozmieszczenie infrastruktury drogowej oraz kolejowej, rozmieszczenie lasów, zbiorników i cieków w województwie łódzkim.

Do każdego z wymienionych powyżej zakresów tematycznych zastosowano metodę określania obszarów rynkowych (Two-Step Floating Catchment Area Method, 2SFCA), w wersji klasycznej oraz zmodyfikowanych w taki sposób, aby możliwie najtrafniej uchwycić istotę badania poszczególnych elementów. Jest to jedno z licznych podejść metodologicznych stosowanych w badaniach dostępności. Dostępność przestrzenna jest często poruszonym tematem badawczym, szczególnie w dziedzinie geografii. Literatura poświęcona temu zagadnieniu jest bogata zarówno w odniesieniu do pozycji polskich, jak i zagranicznych. Wyraźna intensyfikacja badań dotyczących dostępności jest związana z analizami prowadzonymi przez Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN w Warszawie w postaci prac m.in. Z. Taylora [2] czy P. Śleszyń-

skiego [3] lub T. Komornickiego i P. Śleszyńskiego [4]. Ponadto w ramach tej grupy literatury wskazać można m.in. pozycję R. Domańskiego [5], wprowadzającą w tematykę dostępności, również w ujęciu transportowym. Zagadnienia wstępne w zakresie analiz dostępności transportowej odnaleźć można również w tekście K. Warakomskiej [6] czy W. Sobczyk [7]. Kwestie pomiarów dostępności poruszają ponadto S. Baradaran i F. Ramjerdi [8]. Bardzo cenne dla realizacji badań dostępności są również publikacje P. Rosika, m.in. [9] i [10]. Równie bogatym źródłem informacji dotyczących ujęć dostępności transportowej, jak i metod stosowanych do jej mierzenia, jest pozycja T. Komornickiego i in. [11], mówiąca o relacji pomiędzy dostępnością przestrzenną a polityką transportową czy też W. Pietrusiewicza [12] lub P. Śleszyńskiego [13]. Szczególnie wartościowa w kontekście prowadzonego badania jest publikacja autorstwa M. Stępnia [14]. Niniejszy artykuł rozwija bowiem rozważania poświęcone dostępności przestrzennej zaprezentowane przez Stępnia na przykładzie metody 2SFCA, m.in. przenosząc je z typowych dla tej metody zagadnień medycznych na inny zakres tematyczny. Dla każdej z przyjętych płaszczyzn tematycznej analizy zastosowano trzy zakresy czasowe dojazdu straży pożarnej na miejsce potencjalnej interwencji – nie dłuższy niż 5, 15 i 30 minut. Wybór interwałów poprzedzony został kilkukrotną symulacją badań z innymi wartościami czasu dojazdu. Pomimo że nie jest to poparte obiektywnym badaniem, przyjęte finalnie wartości zdaniem autora najtrafniej oddają skalę analizy – od gminnej (do 5 min), przez powiatową (do 15 min), po regionalną (do 30 min). Jako podstawową jednostkę badania przyjęto gminę – w ujęciu gminnym przedstawiono przestrzenne zróżnicowanie poziomu dostępności [15]. Wybór podstawowej jednostki samorządu terytorialnego był uwarunkowany dostępnością danych, przede wszystkim tych mówiących o liczbie mieszkańców, którzy ponad wszelką wątpliwość stanowią najważniejszy przedmiot ochrony. Odle-

głość pomiędzy każdą z analizowanych jednostek straży a poszczególnymi elementami zagospodarowania gminy wyrażono w jednostkach czasu przejazdu wozu bojowego na miejsce interwencji. Przyjęto, że na zmiany prędkości przejazdu samochodu podczas interwencji (przyjęto, że jest ona o 20 km/h wyższa od maksymalnej na danym odcinku drogi) wpływają wyłącznie przepisy ruchu drogowego, odnoszące się do maksymalnych dopuszczalnych prędkości. Pomimo że pojazd uprzywilejowany nie jest objęty ograniczeniami prędkości, można domniemywać, że w nawiązaniu do prędkości projektowych, determinują one maksymalną prędkość pozwalającą na bezpieczny dojazd na miejsce interwencji. Tym samym wyłączone z badania wszystkie pozostałe czynniki, takie jak kongestia czy warunki atmosferyczne. Przyjęto arbitralnie założenie, że prędkość pojazdu podczas interwencji przyjmuje wartości o 20 km/h wyższe, niż te dozwolone na danym odcinku drogi [15]. Wóz strażacki porusza się po najkrótszej ścieżce przejazdu pomiędzy dwoma punktami, która każdorazowo została wyznaczona zgodnie z aplikacją Emapa Transport+ Europa. Każdemu odcinkowi sieci drogowej przypisano atrybuty w postaci długości oraz dozwolonej prędkości przejazdu. Biorąc pod uwagę, że wóz strażacki podczas interwencji przemieszcza się wszelkiego rodzaju infrastrukturą transportową, do analizy włączono również ciągi piesze i pieszo-jezdne. Na tej podstawie obliczono czas przejazdu każdego odcinka. Pozwalało to na wybór kolejnych segmentów sieci zapewniających najkrótszy, skumulowany czas przejazdu pomiędzy punktem startowym i docelowym (algorytm Dijkstry'ego).

Po części wprowadzającej w tematykę funkcjonowania straży pożarnej i założeń badania, opracowanie odnosi się do przestrzennej charakterystyki działania tej formacji w województwie łódzkim oraz kolejno prezentuje zakres danych wejściowych, podejście metodologiczne oraz wyniki dla poszczególnych sześciu płaszczyzn tematycznych. Część końcową opracowania stanowi określenie syntetycznego miernika dostępności, na podstawie którego możliwe było zastosowanie miary lokalnej autokorelacji przestrzennej i wskazanie obszarów w województwie łódzkim, wyróżniających się szczególnie wysoką i niską dostępnością dla interwencji straży pożarnej.

## 2. Straż pożarna w województwie łódzkim – ujęcie przestrzenne

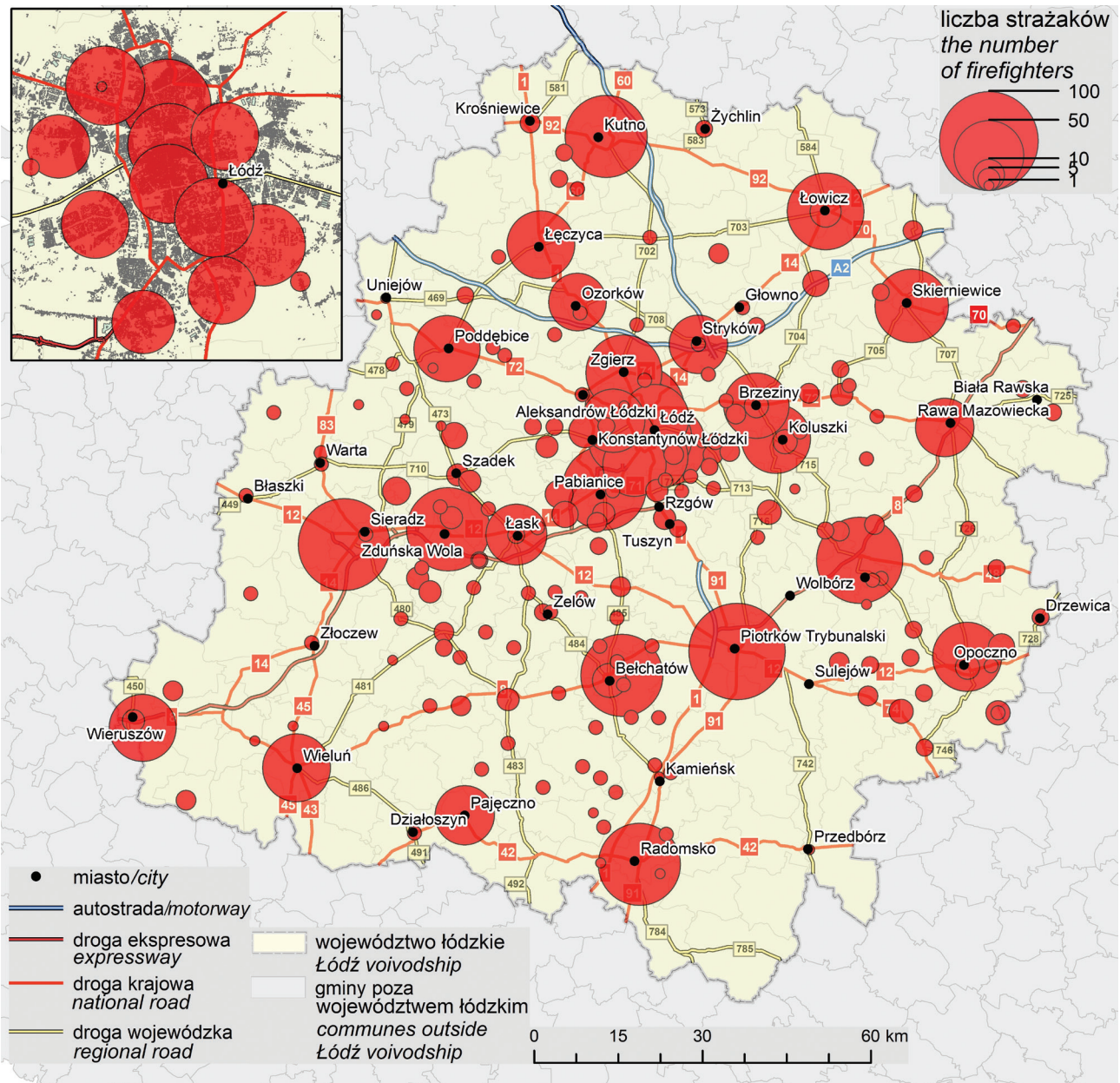
Do badania włączono lokalizacje (punkty na segmentach sieci transportowej na wysokości jednostki) wszystkich jednostek państwowej i ochotniczej straży pożarnej w województwie łódzkim, które zostały wskazane w rejestrze jednostek współpracujących z systemem Państwowe Ratownictwo Medyczne w Planie działania systemu Państwowe Ratownictwo Medyczne dla województwa łódzkiego z 23 czerwca 2015 r. [16]. W regionie łódzkim funkcjonują 34 jednostki ratowniczo-gaśnicze (JRG) oraz 177 jednostek OSP. Spośród jednostek zawodowych 21 to komendy powiatowe, a pozostałe 13 to komendy miejskie w Łodzi, Piotrkowie Trybunalskim oraz Skierniewicach. Jednostki straży pożarnej zróżnicowano względem liczby służących w nich strażaków zawodowych i ochotników. Z chwilą rozpoczęcia procesu włączania jednostek OSP do KSRG (tj. od 1995 r.) wzrósł zakres działań strażaków-ochotników. Do głównych zadań realizowanych przez jednostki OSP, w tym w ramach KSRG, należą: gaszenie pożarów, ratownictwo techniczne (w szczególności na drogach), ewakuacja poszkodowanych lub zagrożonych ludzi i zwierząt oraz zagrożonego mienia, oznakowanie i zabezpieczenie miejsc prowadzenia działań ratowniczych, prowadzenie działań ratowniczych na obszarach wodnych (w tym podczas powodzi), usuwanie skutków zdarzeń (w szczególności po przejściu anomalii pogodowych) oraz udzielanie pomocy społecznej poszkodowanym. Ochotnicze straże pożarne ściśle współpracują z jednostkami

mi Państwowej Straży Pożarnej oraz innymi podmiotami i instytucjami w celu zapewnienia bezpieczeństwa obywateli na podległym im terenie (miasta i gminy). Wspomagają również sąsiednie obszary w ramach odwołów operacyjnych lub uzgodnień o pomocy wzajemnej. Warto zauważyć także, iż dotychczasowa dominacja problematyki zapobiegania i gaszenia pożarów w codziennej praktyce formacji ochotniczej przenosi się stopniowo na inne rodzaje ratownictwa, w tym głównie ratownictwa technicznego. Dotyczy to zdarzeń na drogach, gdzie stosowane są inne techniki prowadzenia działań ratowniczych [17]. Tak szeroki zakres działania OSP spowodował włączenie ich do badania na równi z jednostkami państwowymi. Rozmieszczenie poszczególnych jednostek straży pożarnej nawiązuje wprost do rozmieszczenia jednostek osadniczych województwa łódzkiego. Również ich ranga odpowiada funkcji administracyjnej miast regionu (ryc. 1.).

Zakładając, że straż pożarna realizuje swoje interwencje, przemieszczając się samochodem, funkcjonowanie jej systemu w województwie łódzkim należy charakteryzować w odniesieniu do systemu infrastruktury drogowej regionu. Sieć drogową stanowi 9 dróg krajowych oraz 18 wojewódzkich, tworzących układ promienisto-koncentryczny [18]. Dostępność transportowa za pomocą sieci drogowej do poszczególnych ośrodków regionu łódzkiego pozostaje nierównomierna. Jest to pochodna niezakończonego procesu inwestycyjnego (przy braku jakichkolwiek autostrad i dróg ekspresowych układ byłby koncentryczny). Po części jednak przyczyn takiego stanu rzeczy szukać należy w sformułowanych jeszcze w latach siedemdziesiątych XX w. założeniach rozwoju sieci. Przyjęty w tamtym czasie model szachownicowy sprzyja powstawaniu obszarów gorszej dostępności [19]. Warto podkreślić, iż w sieci dróg krajowych regionu łódzkiego znajdują się wszystkie komendy powiatowe i miejskie w województwie łódzkim, z wyjątkiem tych zlokalizowanych w małych ośrodkach (poniżej 15 tys. mieszkańców) jak np. Kozłowski [20]. Województwo łódzkie jest względnie dobrze wyposażone w drogi publiczne o nawierzchni twardej. Sieć dróg krajowych należy do jednych z najgęstszych i najdłuższych w kraju. W regionie rozwinięta jest także sieć dróg powiatowych i gminnych, co ma kluczowe znaczenie dla funkcjonowania straży na poziomie lokalnym. Nie mniej jednak parametry tych dróg w większości są nieprzystosowane do przenoszonych obciążeń i występującego natężenia ruchu. Taka sytuacja może negatywnie oddziaływać na efektywność interwencji kierowanych np. z remiz ochotniczych straży pożarnych.

## 3. Dostępność przestrzenna do ludności

W celu określenia dostępności straży pożarnej do miejsc związanych z interwencjami dotyczącymi ludności województwa łódzkiego, do badania włączono liczbę mieszkańców 4965 miast i miejscowości w granicach regionu. Dla każdej z jednostek osadniczych wygenerowano punkt centralny i przypisano mu liczbę mieszkańców jednostki zgodnie z danymi Ministerstwa Spraw Wewnętrznych i Administracji, Głównego Urzędu Statystycznego oraz Urzędów Miast i Gmin na koniec 2014 roku. Tak przyjęta dokładność analizy, przy założeniu regionalnej skali badania, pozwala na określenie dopasowania rozmieszczenia i wielkości jednostek straży pożarnej, do rozmieszczenia ludności regionu. W celu określenia dostępności straży pożarnej do ludności województwa łódzkiego zastosowano dwuetapową metodę określania obszarów rynkowych (2SFCA) [13], [21–23], jednak w nieznacznie zmodyfikowanej wersji. Dostępność przestrzenna określona tą metodą odnosi się zarówno do czynnika podaży (wielkość danej jednostki straży pożarnej), jak i popytu (liczba mieszkańców danego miasta/miejscowości). Metodę tę zastosowano po raz pierwszy w zakresie analiz dostępności przestrzennej rynku pracy w USA [24].



Ryc. 1. Liczba i rozmieszczenie strażaków w województwie łódzkim  
Fig. 1. The number and distribution of firefighters in Łódź voivodship

Zródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Ze względu na fakt, iż wyniki analizy dotyczą gmin województwa łódzkiego, a rozmieszczenie ludności odnosi się do poszczególnych miast i miejscowości, konieczne było określenie udziału ludności w zasięgu oddziaływania straży pożarnej, w stosunku do całkowitej liczby mieszkańców w konkretnej gminie. Zabieg ten pozwala na uszczegółowienie wyników badania, co finalnie umożliwia większe zróżnicowanie przestrzenne dostępności do ludności obszaru. Zapobiega nadmiernemu wpływowi na końcowy wynik jednostkom o skrajnie wysokiej lub niskiej liczbie ludności na obszarze gminy. W pierwszej części dwuetapowej metody analizy obszarów rynkowych określony zostaje obszar działania każdej jednostki straży pożarnej, przyjmując graniczną wartość czasu dojazdu – 5, 15 i 30 minut. Następnie obliczany jest dla każdej jednostki indywidualny wskaźnik  $POPR_j$ , stanowiący ilorzaz wagi (liczby strażaków) poszczególnych komend oraz OSP do liczby ludzi zamieszkujących miasta i miejscowości w obszarze wyznaczonym przez daną izochronę dojazdu strażaków z konkretnej jednostki:

$$POPR_j = \frac{S_j}{\sum_{i \in \{d_{pj} \leq d_{max}\}} \frac{P_{pi}}{\sum P_{pi}}}$$

gdzie:

$S_j$  – waga (liczba strażaków) jednostki straży pożarnej  $j$ ,  
 $P_{pi}$  – liczba mieszkańców miejscowości  $p$  w gminie  $i$ ;  
 $d_{pj}$  – czas przejazdu pomiędzy jednostką straży pożarnej  $j$  a miejscowością  $p$ ,  
 $d_{max}$  – izochrona wyznaczająca maksymalny czas dojazdu wozu strażackiego dla poszczególnych wariantów badania (5, 15 i 30 minut).

W ten sposób obliczane jest teoretyczne obciążenie poszczególnych jednostek straży pożarnej w województwie łódzkim potencjalnymi interwencjami związanymi z bezpieczeństwem ludności. Jest to niezwykle ważny etap badania, ponieważ przyjąć należy, że strażacy interweniujący w jednym

miejscu, wyłączeni są z efektywnych działań ratowniczych w innym obszarze, co rzecz jasna obniża poziom bezpieczeństwa ludności go zamieszkującej. Kluczowa w takiej sytuacji jest koordynacja działań pomiędzy sąsiednimi jednostkami.

W drugiej części dwuetapowej metody analizy obszarów rynkowych uwaga przenosi się na gminy, w granicach których zlokalizowane są miasta i miejscowości zamieszkania osób, z którymi wiązać może się potencjalna interwencja straży pożarnej. Dla każdego centroidu miejscowości  $p$  w gminie  $i$  wyznaczany jest obszar, tak jak w pierwszym etapie analizy, przy zastosowaniu przyjętej granicznej wartości czasu przejazdu wozu strażackiego. W dalszej kolejności dla każdej z gmin  $i$  włączonych do badania, obliczany jest wskaźnik dostępności  $POPA_i$ , który jest sumą wartości  $POPR_j$  uzyskanych dla wszystkich jednostek straży pożarnej, rozmieszczonych na obszarze indywidualnego obszaru gminy  $i$ :

$$POPA_i = \sum_{j \in \{d_{bj} \leq d_{max}\}} POPR_j$$

W świetle tak przyjętego postępowania badawczego, przy założeniu najkrótszego czasu dojazdu straży pożarnej, wyraźnie najniższy poziom dostępności dotyczy gmin w powiatach piotrkowskim i radomszczańskim (ryc. 2A). Niepokojąca sytuacja występuje również na północy i południowym zachodzie regionu. Wydłużenie czasu dojazdu strażaków do maksimum 15 min znacznie ograniczyło liczebność gmin o najniższym poziomie dostępności (ryc. 2B). Względnie pogorszyła się jednak sytuacja kilku gmin, w tym szczególnie w powiecie sieradzkim. Wynika to wprost ze znacznie większego obciążenia zlokalizowanych tam jednostek straży przy założeniu, że interweniować będą we wszystkich miastach i miejscowościach, do których dotrą w czasie nie dłuższym niż kwadrans. Półgodzinny dojazd na interwencje związane z ludnością, jednostek z obszaru województwa łódzkiego powoduje, że jedynie gminy na jego krańcach wymagają szczególnej uwagi ze strony służb ratunkowych (ryc. 3C.).

#### 4. Dostępność do zabudowy

Aby możliwie skutecznie odtworzyć warunki funkcjonowania straży pożarnej w województwie łódzkim, do badania włączono również elementy zagospodarowania przestrzeni regionu, w związku z którymi mogą odbywać się interwencje. Analizę w tym zakresie rozpoczęto od dostępności do zabudowy. W badaniu uwzględniono wszystkie zabudowania, niezależnie od ich funkcji. Dane o ich lokalizacji oraz powierzchni zaczerpnięto z banku danych obiektów topograficznych, udostępnionego przez Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (WODGiK), przedstawiającego sytuację aktualną na koniec 2014 roku. Budynki zróżnicowano poprzez przypisanie im powierzchni obliczonej na potrzeby badania w programie ArcMap 10.2 w zewnętrznym obrysie obiektów (choć na potrzeby niniejszego badania lepsza byłaby, niedostępna niestety, kubatura budynku lub też powierzchnia wszystkich kondygnacji). Dla każdego budynku wygenerowano również punkt centralny, do którego w dalszej części badania wyznaczana była najszybsza ścieżka przejazdu wozu bojowego straży pożarnej. Należy w tym miejscu wskazać jedną z wad zastosowanego podejścia. Nie uwzględnia ono bowiem powierzchni ewentualnych wyższych kondygnacji oraz sposobu (jakości) jej wykorzystania. Jednak ze względu na szeroką – regionalną skalę badania, uznano, że „zważenie” obiektu wyłącznie jego powierzchnią pozwoli na realizację przyjętego celu analizy. Do określenia dopasowania lokalizacji i rangi jednostek straży pożarnej do rozmieszczenia i wielkości zabudowy województwa łódzkiego wykorzystano również dwuetapową metodę określania obszarów rynkowych. Poddano ją pewnej modyfikacji. Aby urealnić wyniki, konieczne było wprowadzenie do klasycznej formy ilorazu, który pozwalałby na przedstawienie wyników w ujęciu względnym.

Zdaniem autorów konieczne jest odniesienie liczby obiektów i powierzchni zabudowy dostępnej w danym zakresie czasowym interwencji straży pożarnej do całkowitej liczby i powierzchni budynków w danej gminie. Brak uwzględnienia powyższej zależności mógłby przynieść sytuację, w której gmina o małej łącznej powierzchni zabudowy uzyskaby niski poziom dostępności, pomimo że wszystkie jej zabudowania są w zasięgu interwencji straży w przyjętym zakresie czasowym. Z drugiej zaś strony gmina o bardzo dużej łącznej powierzchni zabudowy uzyskaby najwyższy poziom dostępności, chociaż w danym zakresie czasu strażacy mogą dotrzeć do dużej, choć stanowiącej niewielki udział, liczby wszystkich budynków w mieście. Zastosowana modyfikacja nawiązuje w pewnym stopniu do wprowadzonej przez A.N. Ngui i P. Apparicio [25] zoptymalizowanej formy dwuetapowej metody określania obszarów rynkowych, dla badań dostępności do służby zdrowia w Montrealu. Pierwsza część metody analizy również opiera się na określeniu obszaru działania każdej jednostki straży pożarnej, przyjmując graniczne wartości czasu dojazdu. W dalszej kolejności obliczany jest dla każdej jednostki indywidualny wskaźnik  $BILR_j$ , stanowiący iloraz wagi poszczególnych jednostek i powierzchni zabudowy, w obszarze wyznaczonym przez daną izochronę dojazdu wozu bojowego z konkretnej jednostki:

$$BILR_j = \frac{S_j}{\sum_{i \in \{d_{bj} \leq d_{max}\}} \frac{B_{bi}}{\sum B_{bi}}}$$

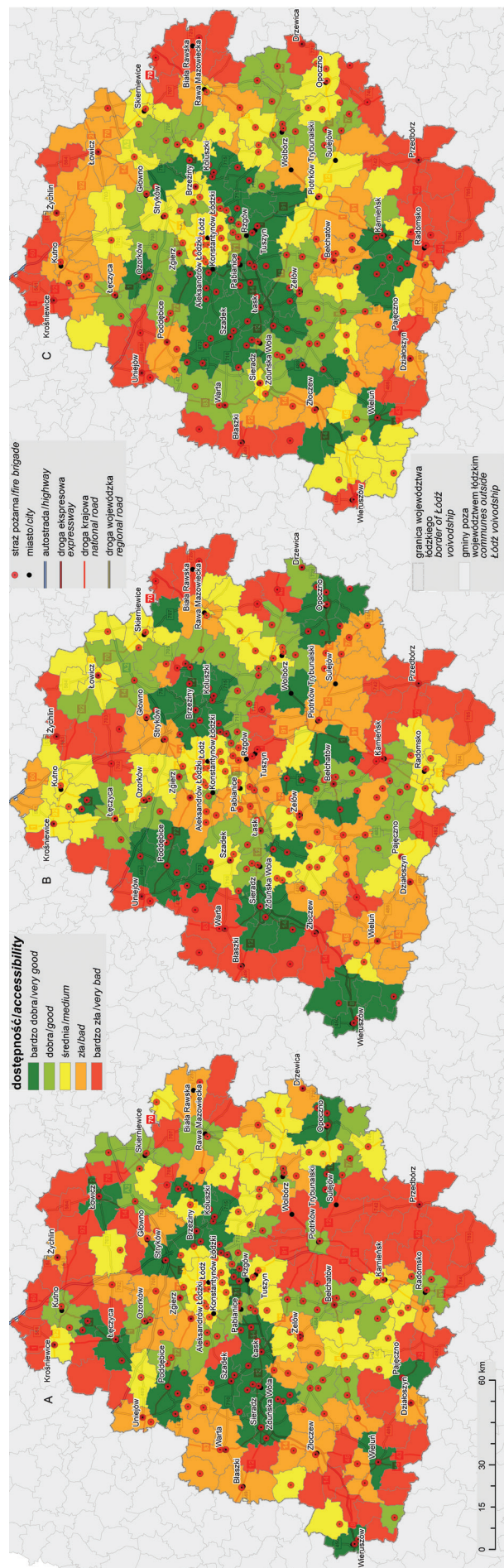
gdzie:

$S_j$  – waga (liczba strażaków) jednostki straży pożarnej  $j$ ,  
 $B_{bi}$  – powierzchnia obiektu  $b$  w gminie  $i$ ,  
 $d_{bj}$  – czas przejazdu pomiędzy jednostką straży pożarnej  $j$  a obiektem  $b$  w gminie  $i$ ,  
 $d_{max}$  – izochrona wyznaczająca maksymalny czas dojazdu wozu strażackiego dla poszczególnych wariantów badania (5, 15 i 30 minut).

W drugiej części zaproponowanej wersji dwuetapowej metody analizy obszarów rynkowych, tak jak w jej wersji klasycznej, uwaga jest skoncentrowana na gminach, w których zlokalizowana jest zabudowa będąca przedmiotem potencjalnej interwencji strażaków. Dla każdego budynku w danej gminie wyznaczany jest obszar, tak jak w pierwszym etapie analizy, za pomocą przyjętej wartości granicznej czasu przejazdu wozu bojowego. W dalszej kolejności dla każdego z budynków  $b$  z gminy  $i$  włączonej do badania, obliczany jest wskaźnik dostępności  $BILA_j$ , który stanowi sumę wartości  $BILR_j$  uzyskanych dla wszystkich jednostek straży pożarnej, rozmieszczonych na obszarze indywidualnego obszaru gminy  $i$ :

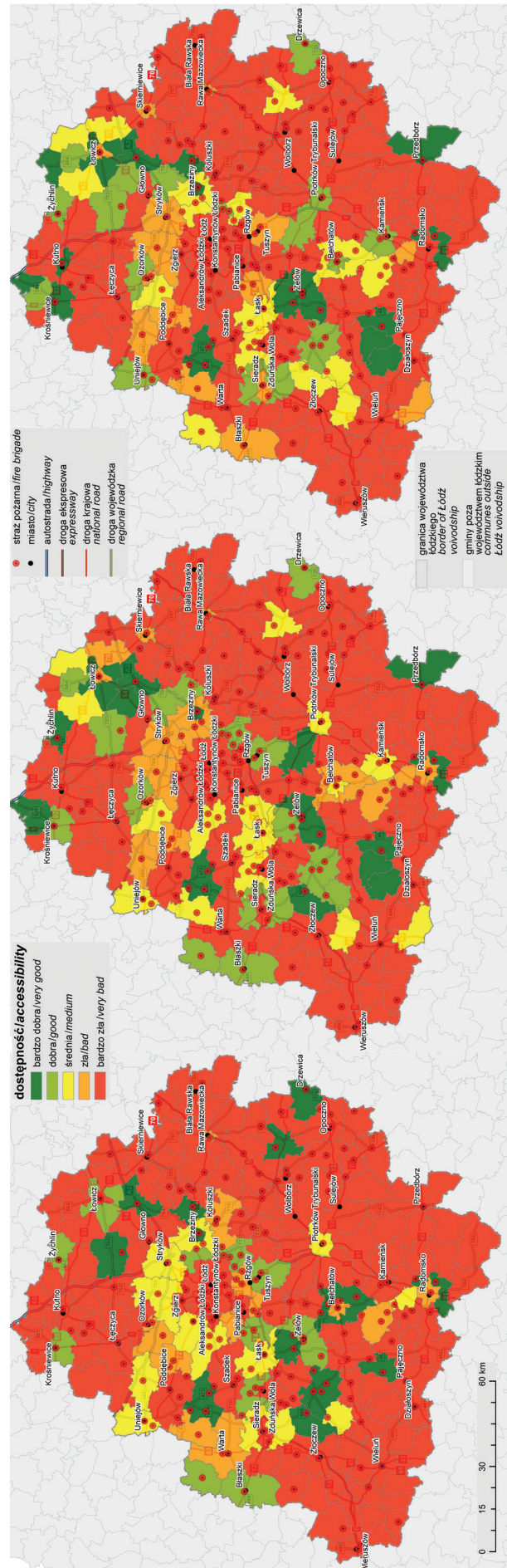
$$BILA_i = \sum_{j \in \{d_{bj} \leq d_{max}\}} BILR_j$$

Przeprowadzone badanie wyraźnie wskazuje, że interwencje straży pożarnej związane z ochroną zabudowań, są teoretycznie najsłabszym ogniwem we wszystkich badanych sferach. Niezależnie od przyjętego zakresu czasowego, dostępność strażaków do zabudowy w znacznej części gmin pozostaje na bardzo niskim poziomie (ryc. 3). Przyczyn takiej sytuacji doszukiwać się można w rozmieszczeniu zabudowy. Jej znaczne rozproszenie na terenach wiejskich skutkuje trudnością dotarcia w przyjętym w badaniu zakresie czasu. Przez co tylko pewna część ogółu zabudowań w gminie pozostaje w zasięgu działań straży. Z drugiej zaś strony, w miastach nie występuje problem z dojechaniem do zabudowania (szczególnie wobec przyjętych uwarunkowań czasu przejazdu),



Ryc. 2. Zróżnicowanie przestrzenne dostępności do ludności województwa łódzkiego w zakresie 5 (A), 15 (B) i 30 (C) minut dojazdu straży pożarnej  
 Fig. 2. Spatial differentiation of access to the population of Łódź voivodeship for the arrival of the Fire Service within 5 (A), 15 (B) and 30 (C) minutes

Źródło: Opracowanie własne.  
 Source: Own elaboration.



Ryc. 3. Zróżnicowanie przestrzenne dostępności do zabudowy w województwie łódzkim w zakresie 5 (A), 15 (B) i 30 (C) minut dojazdu straży pożarnej  
 Fig. 3. Spatial differentiation of access to buildings in Łódź voivodship for the arrival of the Fire Service within 5 (A), 15 (B) and 30 (C) minutes  
 Źródło: Opracowanie własne.  
 Source: Own elaboration.

natomiast obciążenie poszczególnych jednostek jest tak znaczące, że niweluje „zyski” powstałe w związku z dobrą dostępnością transportową.

## 5. Dostępność do infrastruktury drogowej

Jako trzecią z płaszczyzn badania wprowadzono analizę dostępności straży pożarnej w województwie łódzkim do infrastruktury drogowej z uwzględnieniem rozmieszczenia, długości i jakości dróg w regionie. Analiza ta ma za zadanie odzwierciedlać możliwość występowania potencjalnych interwencji związanych z ratownictwem drogowym. Do badania włączono wszystkie drogi województwa łódzkiego, niezależnie od ich kategorii i klas. Dane na temat przebiegu poszczególnych odcinków infrastruktury pozyskano z Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad oddział w Łodzi oraz Zarządu Dróg Wojewódzkich w Łodzi. Uzupełniono je o dane pochodzące z zasobów jednego z najprężniej działających projektów VGI (Volunteered Geographic Information), a mianowicie OpenStreetMap (OSM) [26]. Od początku istnienia projektu kładziono szczególny nacisk na sieć drogową, co znalazło odzwierciedlenie w jego nazwie [27].

Każdą z dróg w województwie łódzkim dłuższą niż 1000 m podzielono na odcinki jednokilometrowe. Dla każdego z tych odcinków oraz tych, które nie przekroczyły 1 km, wygenerowano punkt środkowy i przypisano do niego atrybut stanowiący iloczyn długości danego odcinka i jego wagi, zgodnie z poniższym algorytmem. Przy ustalaniu wag dla infrastruktury wykorzystano informacje na temat maksymalnych dozwolonych prędkości, z jakimi można się po nich poruszać (z uwzględnieniem ograniczeń dotyczących ruchu w obszarach zabudowanych). W przypadku sieci drogowej prędkości te zaczerpnięto z ustawy o ruchu drogowym [28].

Wagi ustalano w taki sposób, że jeśli maksymalna prędkość podróży samochodu osobowego po autostradzie wynosi 140 km/h, to waga, przez którą mnożono długość danego odcinka w metrach wynosi 1,4. Dla drogi ekspresowej dwujezdniowej prędkość maksymalna wynosi 120 km/h, a więc waga wynosi 1,2. Dla drogi ekspresowej jednojezdniowej oraz drogi dwujezdniowej, co najmniej o dwóch pasach przeznaczonych dla każdego kierunku ruchu (krajowe i wojewódzkie) waga wynosi 1. Jednojezdniowe drogi krajowe i wojewódzkie były wagi wartości 0,9. Jedynie dla dróg powiatowych wartość przypisano arbitralnie w wysokości 0,6, aby odróżnić je wyraźnie od dróg krajowych i wojewódzkich. W przypadku dróg o ograniczonej dostępności, do obliczenia wskaźnika średnio-ważonego włączano jedynie te odcinki, na długości których znajdował się węzeł [20].

W dalszej części badania wyznaczana była najszybsza ścieżka przejazdu wozu bojowego z jednostki straży do punktu reprezentującego dany odcinek drogi. W celu urealnienia wyników konieczne było wprowadzenie do dwuetapowej metody określania obszarów rynkowych, zmodyfikowanej już na potrzeby analizy rozmieszczenia ludności czy zabudowy, zmian dotyczących ujęcia jakości poszczególnych odcinków infrastruktury drogowej. Wprowadzono więc iloczyn długości odcinka drogi i wartości reprezentującej jej wagę. Również na tej płaszczyźnie odniesiono iloczyn długości i „jakości” infrastruktury drogowej dostępnej w danym zakresie czasowym interwencji straży pożarnej do zsumowanych iloczynów dla odcinków dróg w danej gminie.

Pierwszy etap z zastosowanej metody analizy opiera się podobnie jak dwa poprzednie o określenie obszaru działania każdej jednostki straży pożarnej, przyjmując graniczną wartość czasu dojazdu. Później, dla każdej jednostki obliczany jest indywidualny wskaźnik ROAR, stanowiący iloraz wagi poszczególnych jednostek i ilorazu iloczynu długości i jakości danego odcinka drogi do sumy tych iloczynów dla wszystkich odcinków w danej gminie:

$$ROAR_j = \frac{S_j}{\sum_{i \in \{d_{rj} \leq d_{max}\}} \frac{R_{ri} W_r}{\sum R_{ri} W_r}}$$

gdzie:

$S_j$  – waga (liczba strażaków) jednostki straży pożarnej  $j$ ,

$R_{ri}$  – długość odcinka drogi  $r$  w gminie  $i$ ,

$W_r$  – waga odcinka drogi  $r$ ,

$d_{rj}$  – czas przejazdu pomiędzy jednostką straży pożarnej  $j$  a odcinkiem drogi  $r$  w gminie  $i$ ,

$d_{max}$  – izochrona wyznaczająca maksymalny czas dojazdu wozu bojowego dla poszczególnych wariantów badania (5, 15 i 30 minut).

W drugim etapie dla każdego odcinka drogi w danej gminie wyznaczany jest obszar, tak jak w pierwszym etapie analizy, za pomocą przyjętej wartości granicznej czasu przejazdu wozu strażackiego. Następnie dla każdego z odcinków  $r$  z gminy  $i$  włączonych do badania obliczany jest wskaźnik dostępności  $ROAA_i$ , który stanowi sumę wartości  $ROAR_j$  uzyskanych dla wszystkich jednostek straży pożarnej, rozmieszczonych na obszarze indywidualnego obszaru gminy  $i$ :

$$ROAA_i = \sum_{j \in \{d_{rj} \leq d_{max}\}} ROAR_j$$

Jak wskazuje przestrzenne zróżnicowanie dostępności działań straży pożarnej do ewentualnych zdarzeń na drogach województwa łódzkiego, szczególnie trudna sytuacja dotyczy jednostek, których działania obejmują gminy Łódzkiego Obszaru Metropolitalnego (ryc. 4). Dotarcie do miejsca interwencji na jednej z dróg regionu nie powinno stanowić problemu dla wozu strażackiego. Elementem decydującym o poziomie dostępności w tym zakresie badania jest gęstość sieci drogowej poszczególnych gmin.

## 6. Dostępność do infrastruktury kolejowej

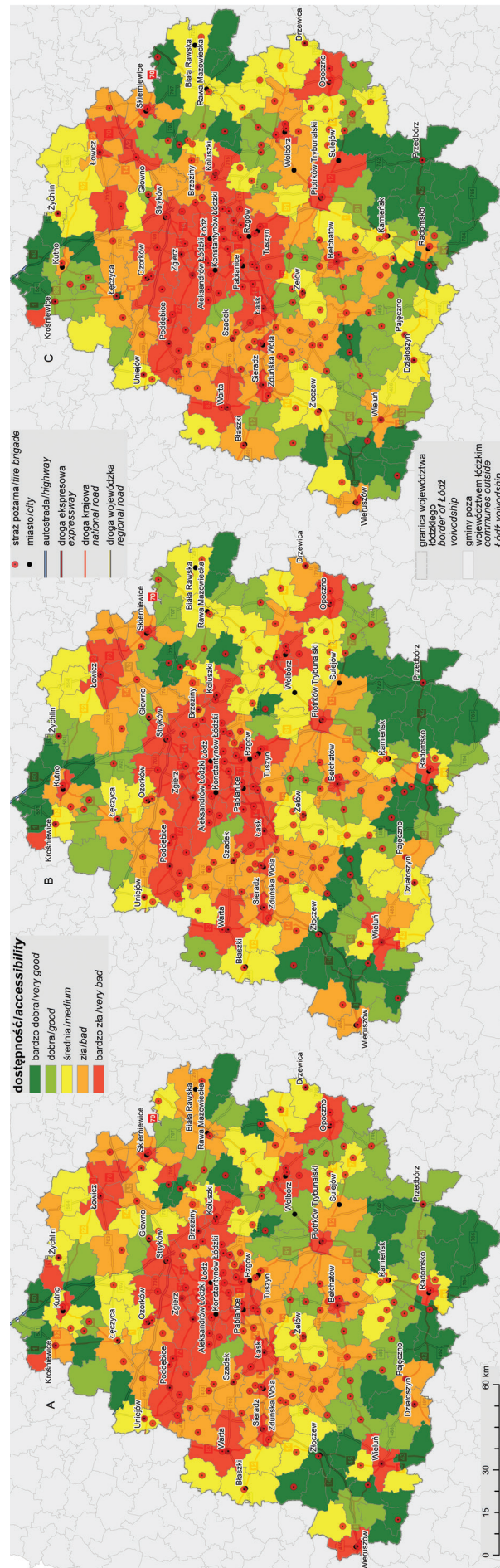
W części analizy poświęconej dostępności straży pożarnej do miejsc ewentualnej interwencji związanych z siecią kolejową, postępowanie badawcze prowadzone jest zgodnie z algorytmem przyjętym dla sieci drogowej. Jedynie wagi poszczególnych odcinków ustalono na podstawie wykazu maksymalnych prędkości dla pociągów pasażerskich, stanowiącego załącznik 2.1 do regulaminu przydzielania tras pociągów i korzystania z przydzielonych tras pociągów przez licencjonowanych przewoźników kolejowych w ramach rj 2013/2014 (w. 0), udośćnionego przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. [29]. W wyniku obliczeń uzyskano wskaźnik obciążenia poszczególnych jednostek straży pożarnej  $RAIR_j$  oraz końcowy wskaźnik dostępności  $RAIA_i$ .

Po wyłączeniu z badania gmin, przez które nie przebiegają linie kolejowe, należy podkreślić znaczne zróżnicowanie przestrzenne poziomu dostępności straży pożarnej do miejsc potencjalnych interwencji związanych z infrastrukturą kolejową. Wraz z wydłużaniem maksymalnego czasu dojazdu strażaków, poziom dostępności wyraźnie wzrasta (ryc. 5). W związku z niską gęstością sieci kolejowej w regionie, coraz rozleglejszy zakres działania straży powoduje, że wzrost dostępności kolejnych jednostek jest większy niżeli przyrost ich teoretycznego obciążenia.

## 7. Dostępność do lasów

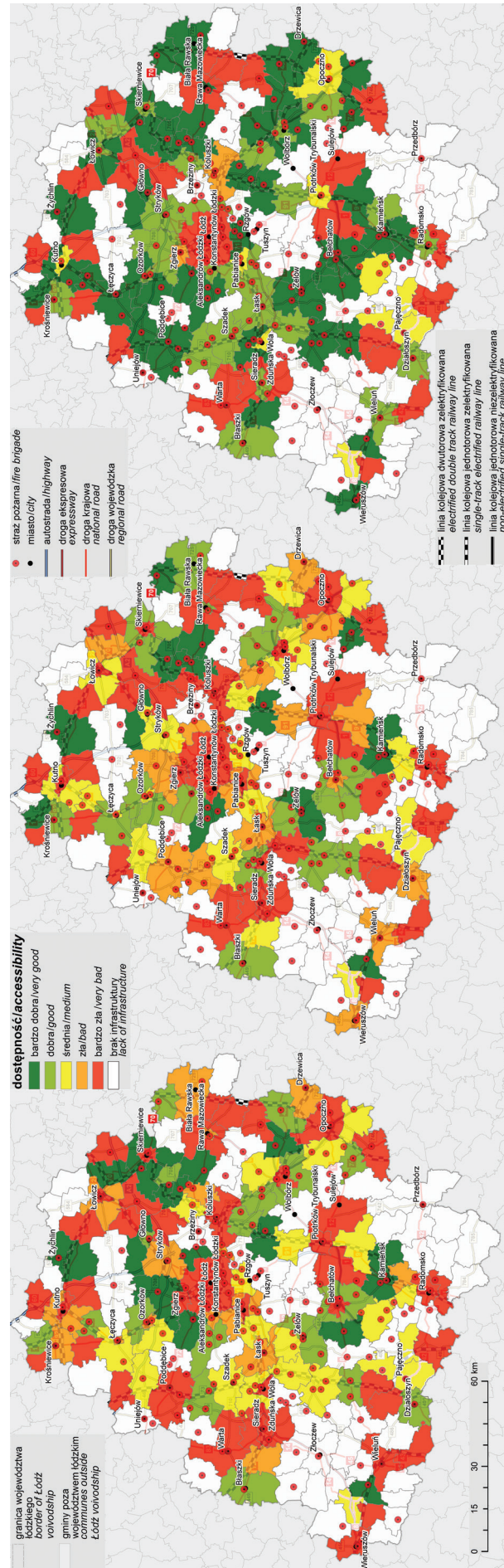
Ta płaszczyzna badania ma za zadanie wskazać poziom efektywności potencjalnych interwencji straży pożarnej związanych z pożarami lasów. Zgodnie z art. 3 ustawy o lasach [30] las jest to grunt o zwartej powierzchni co najmniej 10 arów,





Ryc. 4. Zróżnicowanie przestrzenne dostępności do infrastruktury drogowej województwa łódzkiego w zakresie 5 (A), 15 (B) i 30 (C) minut dojazdu straży pożarnej  
 Fig. 4. Spatial differentiation of access to the road infrastructure in Łódź voivodeship for the arrival of the Fire Service within 5 (A), 15 (B) and 30 (C) minutes

Źródło: Opracowanie własne.  
 Source: Own elaboration.



Ryc. 5. Zróżnicowanie przestrzenne dostępności do infrastruktury kolejowej województwa łódzkiego w zakresie 5 (A), 15 (B) i 30 (C) minut dojazdu straży pożarnej  
 Fig. 5. Spatial differentiation of access to the railway infrastructure in Łódź voivodship for the arrival of the Fire Service within 5 (A), 15 (B) and 30 (C) minutes

Źródło: Opracowanie własne.  
 Source: Own elaboration.

pokryty roślinnością leśną tj. drzewami i krzewami oraz runem leśnym lub teren przejściowo tej roślinności pozbawiony. Zapisy ustawy odwołują się ponadto do kwestii funkcjonalnych, jednak w niniejszym badaniu odniesiono się do kryterium powierzchniowego. Dane o rozmieszczeniu i wielkości lasów zaczerpnięto z banku danych obiektów topograficznych. W celu określenia dostępności do lasów konieczne było także wskazanie punktu, do którego wyznaczana będzie najkrótsza ścieżka przejazdu wozu strażackiego z jednostki. Wygenerowanie jedynie punktów centralnych dla terenów zajętych przez las mogłoby znacznie zniekształcić rzeczywisty poziom dostępności. Zbytнім uproszczeniem byłoby wskazanie wyłącznie jednego punktu jako „reprezentanta” lasu o powierzchni np. 10 a i 100 ha. W związku z tym w pierwszej kolejności wybrano jedynie te grunty pokryte roślinnością leśną, których powierzchnia była nie mniejsza niż 10 a. Następnie każdy z wybranych lasów podzielono na heksagony o powierzchni 10 a. Dla każdego z nich wygenerowano punkt centralny, do którego w dalszej kolejności określany był czas przejazdu wozu bojowego straży pożarnej. „Wagę” heksagonów stanowi ich powierzchnia zajęta przez las, która znajduje się w przedziale (0, 10 a>), ponieważ w wyniku podziału na sześcioboki, pozostały obszary graniczne lasów, które jedynie w części wypełniły 10 a heksagon.

W związku z tak przyjętym algorytmem badania, obliczony jest dla każdej jednostki indywidualny wskaźnik  $FORR_j$ , stanowiący iloraz wagi poszczególnych jednostek i powierzchni heksagonów w obszarze wyznaczonym przez daną izochronę dojazdu wozu bojowego z konkretnej jednostki:

$$FORR_j = \frac{S_j}{\sum_{i \in \{d_{fj} \leq d_{max}\}} \frac{F_{fi}}{\sum F_{fi}}}$$

Gdzie:

$S_j$  – waga (liczba strażaków) jednostki straży pożarnej  $j$ ,  
 $F_{fi}$  – powierzchnia heksagonu  $f$  w gminie  $i$ ;  
 $d_{fi}$  – czas przejazdu pomiędzy jednostką straży pożarnej  $j$  a heksagonem  $f$  w gminie  $i$ ,  
 $d_{max}$  – izochrona wyznaczająca maksymalny czas dojazdu wozu strażackiego dla poszczególnych wariantów badania (5, 15 i 30 minut).

W drugiej części metody uwaga jest skoncentrowana na gminach, w których znajdują się lasy będące przedmiotem potencjalnej interwencji strażaków. Dla każdej części lasu (heksagonu) w danej gminie wyznaczany jest obszar, tak jak w pierwszym etapie analizy. W dalszej kolejności dla każdego z heksagonów  $f$  z gminy  $i$  włączonej do badania obliczany jest wskaźnik dostępności  $FORA_i$ , który stanowi sumę wartości  $FORR_j$  uzyskanych dla wszystkich jednostek straży pożarnej rozmieszczonych na obszarze indywidualnego obszaru gminy  $i$ :

$$FORA_i = \sum_{j \in \{d_{fj} \leq d_{max}\}} FORR_j$$

Wraz ze wzrostem dystansu do potencjalnych interwencji dotyczących pożarów lasów, zmniejsza się przestrzenne zróżnicowanie poziomu dostępności poszczególnych gmin (ryc. 6). W wariantcie zakładającym dojazd na miejsce działania służby w czasie nie dłuższym niż 5 min. bardzo częste jest sąsiedztwo gmin o skrajnie różnych poziomach dostępności. Przy jeździe dłuższej o 10 i 25 min. zarysowują się części regionu, w których dominują poszczególne poziomy dostępności. Tak więc, najlepszą sytuacją charakteryzują się gminy wzdłuż dwóch równoległych stref przebiegających

z północnego wschodu na południowy zachód. W leżącej pomiędzy nimi centralnej części województwa koncentrują się natomiast jednostki, których lasy pozostają najslabiej dostępne dla działań straży pożarnej.

## 8. Dostępność do zbiorników i cieków

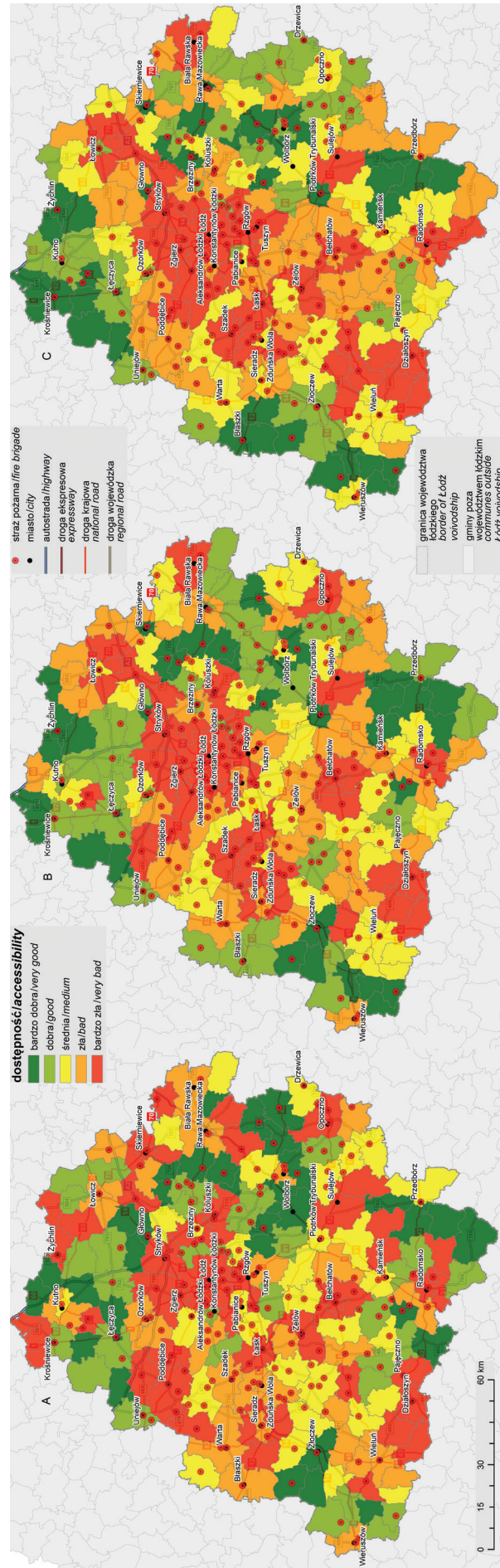
Ostatnia część badania odnosi się do zakresu działań straży pożarnej związanego z występowaniem powodzi. Ustawodawca zakłada bowiem uczestnictwo straży w prowadzeniu działań ratowniczych na obszarach wodnych, w tym podczas powodzi.

W województwie łódzkim, rzeki posiadają cechy charakterystyczne dla nizinnej części Polski. Równiny zalewowe są szerokie, co sprzyja zalewaniu sporych obszarów. Dlatego też zostały one w znacznej mierze obwałowane, a proces zasiedlania odbywa się przede wszystkim na terenach nieobjętych ochroną wałów lub w strefie zawała [31]. Na obszarze województwa łódzkiego można wyodrębnić trzy zasadnicze typy powodzi: roztopowe, zatorowe, opadowe. Powodzie roztopowe są na ogół częstsze oraz bardziej dotkliwe od pozostałych typów, ze względu na niższe temperatury. Zjawisko to jest dodatkowo wzmacniane przez zamrożony grunt, który uniemożliwia infiltrację wody opadowej i roztopowej. Na obszarach nizinnych zasilanie ze śniegu zachodzi bardzo intensywnie, gdyż ociepleniu podlegają duże obszary.

Wezbrania zatorowe powstają także na początku wiosny. Wywoływane są spiętrzeniem wody w korycie rzeki na skutek bariery z lodu lub śryżu oraz przez nagromadzenie pni drzew albo ław trawistych [31]. Wezbrania zatorowe mają lokalne pochodzenie i z tego względu intensywnie atakują tylko krótkie odcinki dolin. Obecnie zatory lodowe występują w regionie łódzkim na następujących rzekach: Warta, Bzura, Łuciąża, Czarna Konecka, Pilica, Widawka [32]. Powodzie opadowe wywoływane są z kolei przez opady deszczu, które różnią się zarówno natężeniem, jak i zasięgiem obszarowym [33]. Wezbrania dużych rzek nizinnych narastają powoli, na co ma wpływ szeroka dolina w dolnym biegu rzeki. Im bardziej rozległe jest dorzecze, tym czas opadów musi być dłuższy, aby wywołał powódź. Powodzie opadowe występują najczęściej w dolinie Pilicy, czasem Warty oraz w mniejszych dolinach. W zlewni rzeki Warty wysoki stan wód ma miejsce najczęściej na przełomie lutego oraz marca [34], natomiast w zlewni rzeki Bzury i Pilicy w końcu marca oraz w pierwszych dniach kwietnia [32].

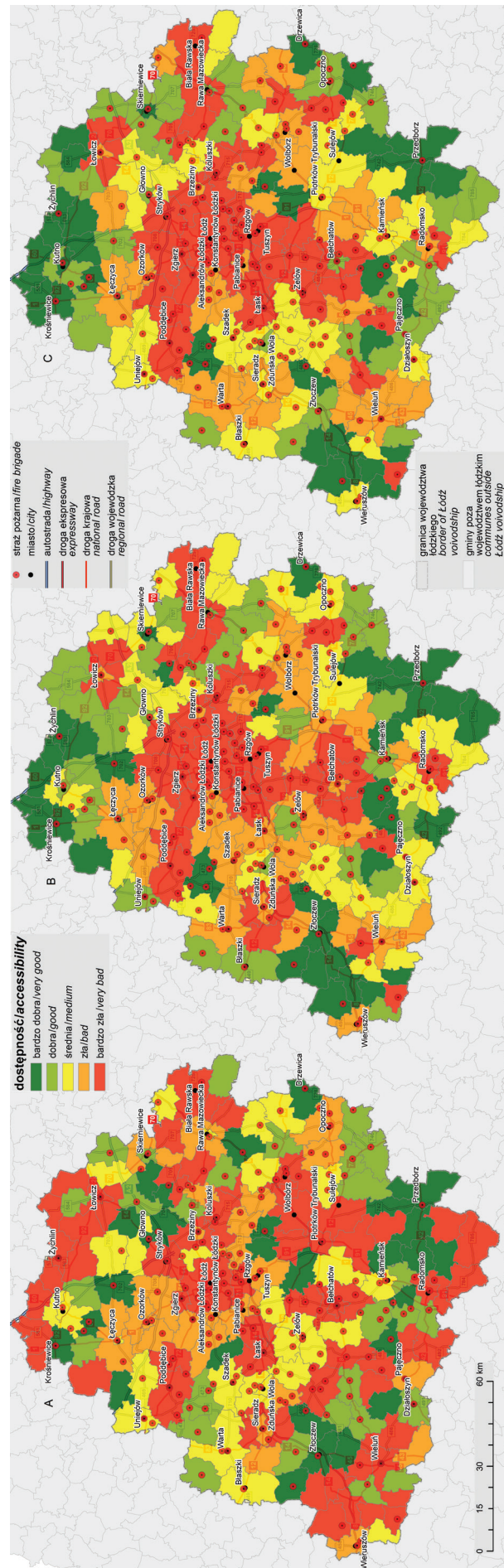
W granicach województwa łódzkiego przyczynami powodzi mogą być również awarie zbiorników wodnych [23]. Potencjalne zagrożenie, wynikające z możliwości wystąpienia uszkodzenia zapór czołowych zbiorników retencyjnych, istnieje na trzech rzekach: Warta w miejscowości Siedlątków – zbiornik Jeziorsko, Pilica w miejscowości Smardzewice – zbiornik Sulejów oraz Łuciąża – zbiornik Cieszanowice [32].

W celu określenia dostępności do cieków i zbiorników wskazanych w Planie operacyjnym [32] jako potencjalne miejsca występowania powodzi, również konieczne było określenie punktu, do którego wyznaczana będzie najkrótsza ścieżka przejazdu wozu strażackiego z jednostki. Wygenerowanie jedynie punktów centralnych dla cieków i zbiorników znacznie zniekształciłoby rzeczywisty poziom dostępności. Przyjęto w związku z tym następujący algorytm postępowania. W pierwszej kolejności wybrano jedynie te cieki (lub ich odcinki) i zbiorniki, w dolinach których zgodnie z Planem operacyjnym [32] mogą wystąpić powodzie. Następnie linie wyznaczające brzeg cieku lub zbiornika podzielono na odcinki o długości 1 km. Dla każdego z nich wygenerowano punkt środkowy, do którego w dalszej kolejności określany był czas przejazdu wozu bojowego straży pożarnej. „Wagę” odcinków stanowi ich długość, która znajduje się w przedziale (0, 1 km>),



Ryc. 6. Zróżnicowanie przestrzenne dostępności do lasów województwa łódzkiego w zakresie 5 (A), 15 (B) i 30 (C) minut dojazdu straży pożarnej  
 Fig. 6. Spatial differentiation of access to forests in the Łódź voivodship for the arrival of the Fire Service within 5 (A), 15 (B) and 30 (C) minutes

Zródło: Opracowanie własne.  
 Source: Own elaboration.



Ryc. 7. Zróżnicowanie przestrzenne dostępności do zbiorników i cieków województwa łódzkiego w zakresie 5 (A), 15 (B) i 30 (C) minut dojazdu straży pożarnej  
 Fig. 7. Spatial differentiation of access to reservoirs and rivers in Łódź voivodship for the arrival of the Fire Service within 5 (A), 15 (B) and 30 (C) minutes  
 Źródło: Opracowanie własne.  
 Source: Own elaboration.

ponieważ w wyniku podziału na 1000 m odcinki, pozostały odcinki krótsze.

W związku z tak przyjętym algorytmem badania, pierwsza część analizy opiera się na określeniu obszaru działania każdej jednostki straży pożarnej. Następnie obliczany jest dla poszczególnych jednostek indywidualny wskaźnik  $WATR_j$ , stanowiący iloraz wagi poszczególnych jednostek i długości odcinków w obszarze wyznaczonym przez daną izochronę dojazdu wozu bojowego z konkretnej jednostki:

$$WATR_j = \frac{S_j}{\sum_{i \in \{d_{wj} \leq d_{max}\}} \frac{F_{fi}}{\sum F_{fi}}}$$

Gdzie:

$S_j$  – waga (liczba strażaków) jednostki straży pożarnej  $j$ ,

$W_{wi}$  – długość odcinka  $w$  w gminie  $i$ ;

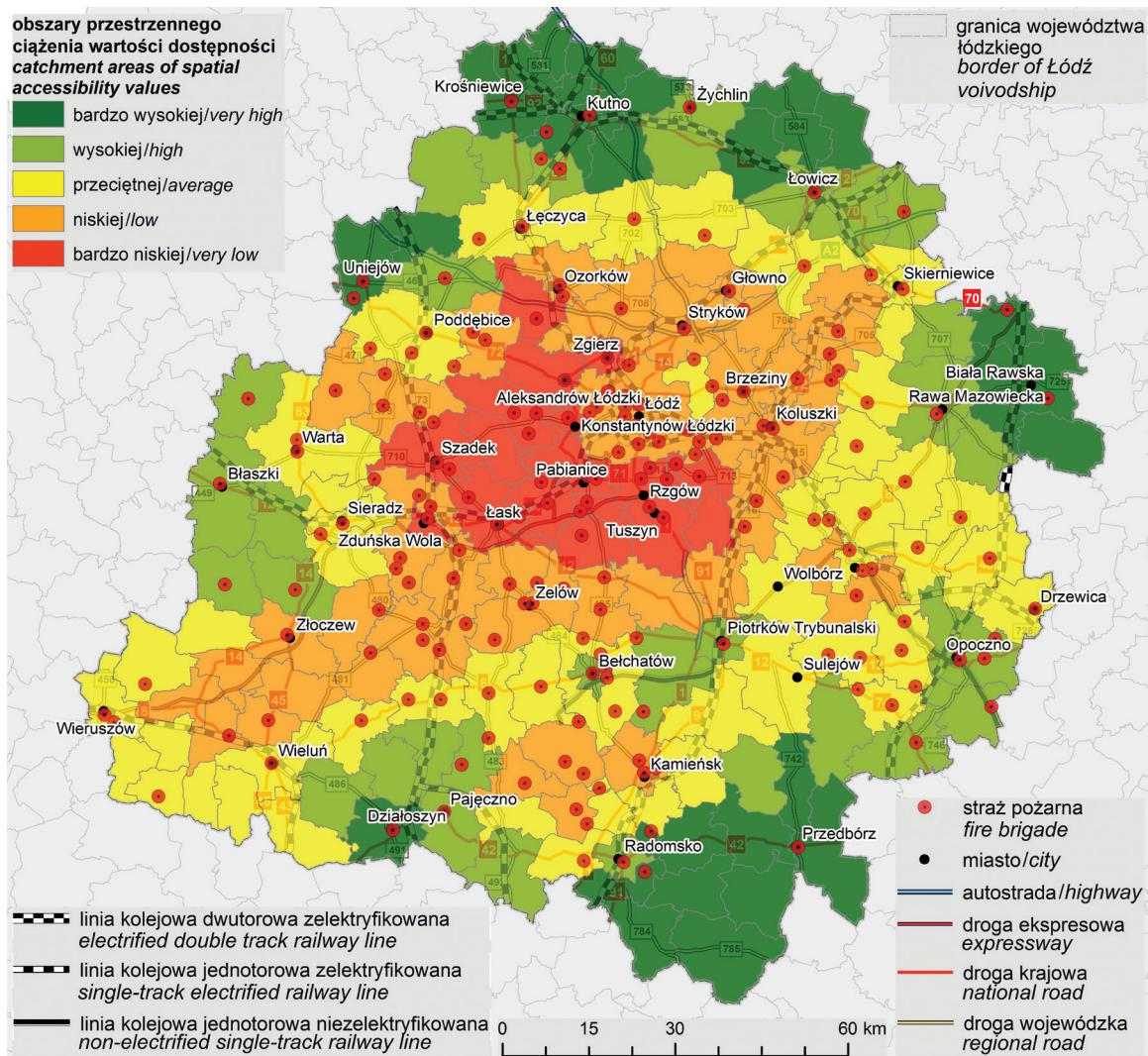
$d_{wj}$  – czas przejazdu pomiędzy jednostką straży pożarnej  $j$  a odcinkiem  $w$  w gminie  $i$ ,

$d_{max}$  – izochrona wyznaczająca maksymalny czas dojazdu wozu strażackiego dla poszczególnych wariantów badania (5, 15 i 30 minut).

Dla każdego odcinka w danej gminie wyznaczany jest obszar, tak jak w pierwszym etapie analizy, za pomocą przyjętej wartości granicznej czasu przejazdu wozu bojowego. W dalszej kolejności dla każdego z odcinków  $w$  z gminy  $i$  włączonej do badania obliczany jest wskaźnik dostępności  $WATA_i$ , który stanowi sumę wartości  $WATR_j$  uzyskanych dla wszystkich jednostek straży pożarnej rozmieszczonych na obszarze indywidualnego obszaru gminy  $i$ :

$$WATA_i = \sum_{j \in \{d_{wj} \leq d_{max}\}} WATR_j$$

Przebieg dolin rzecznych i rozmieszczenie zbiorników w województwie łódzkim w zestawieniu z rozmieszczeniem i wielkością jednostek straży pożarnej skutkuje względnym spadkiem poziomu dostępności gmin w centralnej części województwa wraz ze wzrostem maksymalnego czasu na interwencję (ryc. 7.). Ta płaszczyzna działania straży, krańcom województwa (poza wariantem dojazdu straży nie dłuższym niż 5 min) przynosi ponadprzeciętny poziom dostępności. Szczególnie „bezpieczne” pod tym względem są gminy powiatów: kutnowskiego, wieruszowskiego oraz radomszczańskie.



Ryc. 8. Obszary przestrzennego ciężenia wartości dostępności do miejsc potencjalnej interwencji straży pożarnej w województwie łódzkim (statystyka lokalna Getisa-Orda)

Fig. 8. Catchment areas of spatial accessibility values to places of potential intervention by firefighters in the Łódź voidship (Getis-Ord local statistics)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

## 9. Ujęcie syntetyczne

Podstawą do określenia syntetycznego miernika dostępności straży pożarnej do miejsc potencjalnej interwencji w województwie łódzkim jest określenie odległości stanowiącej liczbę odchyłeń standardowych wyników  $POPA_i$ ,  $BILA_i$ ,  $ROAA_i$ ,  $RAIA_i$ ,  $FORA_i$ , i  $WATA_i$  od średniej dla każdej ze zmiennych. Określano, w jakim stopniu wartość cechy dla konkretnej gminy jest odstająca od średniego wyniku. W celu standaryzacji wyników przyjęto następujący wzór:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma},$$

gdzie:

$Z$  – wynik testu  $Z$ ,

$x$  – obserwowana wartość zmiennej dla danej gminy,

$\mu$  – wartość oczekiwana, średnia,

$\sigma$  – odchylenie standardowe.

Uzyskane w rezultacie powyższego przekształcenia wyniki dają znormalizowaną miarę, której wartość oczekiwana (średnia) wynosi 0, a wariancja równa jest 1. Informuje ona, na ile dany wynik jest odległy od wartości średniej.

Znormalizowane miary dla każdej z płaszczyzn badania i każdego z zakresów czasowych poddano sumowaniu i na tej podstawie wskazano obszary województwa łódzkiego, wyróżniające się skrajnie wysokim i niskim poziomem dostępności w ujęciu całościowym. Istotność zależności przestrzennych zmiennej w obrębie określonego promienia wykonano stosując miarę lokalnej autokorelacji przestrzennej zaproponowanej przez Getisa i Orda [35]. W swoich badaniach odwoływali się do niej również m.in. A. Arbia [36], S. Zhang i K. Zhang [37] czy P. Songchitruk i X. Zeng [38]. Na potrzeby niniejszego badania użyto narzędzia Analiza Hot Spot (Getis-Ord  $G_i^*$ ). Jest ono dostępne w programie ArcMap 10.2 w zakresie narzędzi dotyczących statystyk przestrzennych, a konkretnie odwzorowania klastrów. W formule statystyki  $G_i^*$  (d), dla oceny rozmiaru i rodzaju skupienia podobnych wartości wokół danej gminy, wskazuje się na grupowanie podobnych wartości wokół niej z uwzględnieniem sumy wartości  $POPA_i$ ,  $BILA_i$ ,  $ROAA_i$ ,  $RAIA_i$ ,  $FORA_i$ , i  $WATA_i$  zmiennych [39] mówiących odpowiednio o dostępności do ludności, zabudowy, sieci drogowej, kolejowej, lasów, cieków i zbiorników.

Kompleksowe podejście do wszystkich analizowanych sfer, w obrębie których wystąpić może interwencja straży pożarnej, wyraźnie zróżnicowało przestrzennie poziom dostępności gmin w województwie łódzkim. Teoretycznie najlepiej zabezpieczone przez działania straży pożarnej pozostają gminy przy północnej i południowej granicy regionu. Wyraźne jest pogarszanie się poziomu dostępności gmin wraz ze zmniejszaniem się ich odległości od centrum regionu. Obszar, który wymaga szczególnej uwagi ze strony straży pożarnej jest jednak nieznacznie przesunięty na południowy zachód i obejmuje głównie gminy powiatów: pabianickiego i łódzkiego wschodniego (ryc. 8). Strefa obniżonej dostępności rozciąga się diagonalnie od Wieruszowa do Skierniewic, rozszerzając się na wysokości Łodzi od Poddębic do Piotrkowa Trybunalskiego.

## 10. Podsumowanie

Teoretyczne ujęcie działalności straży pożarnej na płaszczyźnie przestrzennej może stanowić materiał diagnostyczny, służący jako pomoc w ewentualnych działaniach mających na celu podniesienie efektywności funkcjonującego systemu straży pożarnej lub utworzeniu na problemowych obszarach nowych jednostek. Zrealizowane badania w znacznym stopniu teoretyzują wielopłaszczyznową działalność straży pożarnej i służyć mogą wyłącznie jako podstawa do pogłębionych

badania. Zdaniem autorów wskazane jest zestawienie wyników powyższej analizy z analizą rozmieszczenia rzeczywistych interwencji straży pożarnej, ich rodzaju, czasu trwania czy efektywności. Takie pogłębione badanie jest szczególnie wskazane dla gmin, które uzyskały najniższy całościowy poziom dostępności. Wartościowe byłoby również przeprowadzenie osobnej analizy mającej na celu porównanie w ujęciu gminnym uzyskanych wskaźników odnoszących się do poszczególnych płaszczyzn badania oraz poziomu dostępności przestrzennej ujętej w sposób syntetyczny.

## Literatura

- [1] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o Państwowej Straży Pożarnej (Dz.U. 1991 Nr 88, poz. 400).
- [2] Taylor Z. (rec.), Ryzdykowski W., Wojewódzka-Król K. (red.), PWN, Warszawa 1997, *Transport*, „Przegląd Geograficzny” 1998, 70(3-4), 357-359.
- [3] Śleszyński P., *Demograficzne i ekonomiczne aspekty lokalizacji planowanego portu lotniczego w okolicach Warszawy* (artykuł dyskusyjny), „Przegląd Komunikacyjny” 2004, 43(3), 13-19.
- [4] Komornicki T., Śleszyński P., *Regionalne porty lotnicze na Mazowszu – wprowadzenie* [w]: *Studia nad lokalizacją regionalnych portów lotniczych na Mazowszu*, PAN IGiPZ, Warszawa 2009, 9-22.
- [5] Domański R., *Accessibility, Efficiency and Spatial Organization*, „Environment and Planning A” 1979, 11(10), 1189-1206.
- [6] Warakomska K., *Zagadnienie dostępności w geografii transportu*, „Przegląd Geograficzny” 1992, 64(1-2), 67-76.
- [7] Sobczyk W., *Dostępność komunikacyjna w układach osadniczych miast*, PWN, Warszawa 1985.
- [8] Baradaran S., Ramjerdi F., *Performance of Accessibility Measures in Europe*, „Journal of Transportation and Statistics” 2001, 4(2-3), 31-48.
- [9] Rosik P., *Zróżnicowanie dostępności drogowej regionów Polski*, „Transport Miejski i Regionalny” 2008, nr 5, 2-8.
- [10] Rosik P., *Dostępność lądowa przestrzeni Polski w wymiarze europejskim*, „Prace Geograficzne IGiPZ PAN” 2012, nr 233.
- [11] Komornicki T., Śleszyński P., Rosik P., Pomianowski W., *Dostępność przestrzenna jako przesłanka kształtowania polskiej polityki transportowej*, „Biuletyn KPZK PAN” 2009, z. 241.
- [12] Pietrusiewicz W., *Problemy metodyczne opracowywania map dostępności czasowej Polski*, „Przegląd Kartograficzny” 1996, 28(2), 87-99.
- [13] Śleszyński P., *Dostępność czasowa i jej zastosowania*, „Przegląd Geograficzny” 2014 86(2), 171-215.
- [14] Stępnik M., *Wykorzystanie metody 2SFCa w badaniach dostępności przestrzennej usług medycznych*, „Przegląd Geograficzny” 2013, 85(2), 199-218.
- [15] Wiśniewski S., *Dostępność policji do miejsc potencjalnych interwencji na terenie województwa łódzkiego*, „Policja. Kwartalnik Kadry Kierowniczej Policji” 2015, nr 3.
- [16] Plan działania systemu Państwowe Ratownictwo Medyczne dla województwa łódzkiego z 23 czerwca 2015 r.
- [17] Portal internetowy Ministerstwa Spraw Wewnętrznych, www.msw.gov.pl [dostęp: 06.08.2015].
- [18] Bartosiewicz B., Pieleśiak I., *Powiązania transportowe w Łódzkim Obszarze Metropolitalnym*; „Studia KPZK PAN” 2012, t. 147, 105-137.
- [19] Diagnostyka Polskiego Transportu - stan w 2009 roku, Załącznik 1 do Strategii Rozwoju Transportu, Ministerstwo Infrastruktury, Warszawa 2011.
- [20] Wiśniewski S., *Zróżnicowanie dostępności transportowej miast w województwie łódzkim*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2015.
- [21] Albert D.P., Butar F.B., *Estimating the de-designation of single-county HPSAs in the United States by counting naturopathic physicians as medical doctors*, „Applied Geography” 2005, 25, 271-285.
- [22] Langford M., Higgs G., *Measuring potential access to primary healthcare services: the influence of alternative spatial representations of population*, „The Professional Geographer” 2006, 58(3), 294-306.

- [23] Cervigni F., Suzuki Y., Ishii T., Hata A., *Spatial accessibility to pediatric services*, "Journal of Community Health" 2008, 33, 444–448.
- [24] Peng Z.R., *The jobs-housing balance and urban commuting*, "Urban Studies" 1997, 34(8), 1215–1235.
- [25] Ngui A.N., Apparicio P., *Optimizing the two-step floating catchment area method for measuring spatial accessibility to medical clinics in Montreal*, "BMC Health Services Research" 2011, Vol. 11, 166.
- [26] Neis P., Zielstra D., Zipf A., *The street network evolution of crowdsourced maps: OpenStreetMap in Germany 2007–2011*, "Future Internet" 2012, 4(1), 1–21.
- [27] Drop P., Gajewski P., Mackiewicz M., *Zastosowanie danych OpenStreetMap oraz wolnego oprogramowania do badań dostępności komunikacyjnej w skali lokalnej*, Acta Universitatis Lodzianensis, „Folia Geographica Socio-Oeconomica” 2013, 14.
- [28] Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym (Dz.U. 1997 Nr 98, poz. 602).
- [29] Załącznik 2.1 do regulaminu przydzielania tras pociągów i korzystania z przydzielonych tras pociągów przez licencjonowanych przewoźników kolejowych w ramach rj 2013/2014 (w. 0), udostępnionego przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.
- [30] Ustawa z dnia 28 września 1991 r. o lasach (Dz.U. 1991 Nr 101, poz. 444).
- [31] Borowska-Stefańska M., *Zagospodarowanie terenów zagrożonych powodzią w województwie łódzkim*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2015.
- [32] *Plan operacyjny ochrony przed powodzią dla województwa łódzkiego*, Wydział Bezpieczeństwa i Zarządzania Kryzysowego, Łódzki Urząd Wojewódzki, Łódź 2011.
- [33] Więzik B., *Wpływ zagospodarowania międzywala na zagrożenia powodziowe*, [w:] B. Więzik (red.), *Prawne, administracyjne i środowiskowe uwarunkowania dolin rzecznych*, Wyższa Szkoła Administracji, Bielsko Biała, 2010, 227–242.
- [34] Mikulski Z., *Charakterystyka powodzi w Polsce*, „Gospodarka Wodna” 1957, nr 9, 424–428.
- [35] Getis A., Ord K., *Testing for Local Spatial Autocorrelation in the Presence of Global Spatial Autocorrelation*, "Journal of Regional Science", 2001, 41(3), 411–432.
- [36] Arbia A., *The role of spatial effects in the empirical analysis of regional concentration*, "Journal of Geographical Systems", 2001, 3(3), 271–281.
- [37] Zhang S., Zhang K., *Comparison between General Moran's Index and Getis-Ord General G of Spatial Autocorrelation*, "Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni" 2007, 4.
- [38] Songchitruks P., Zang X., *Getis-Ord Spatial Statistics to Identify Hot Spots by Using Incident Management Data*, "Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board" 2010, 2165, 42–51.
- [39] Suhecki B., *Ekonometria przestrzenna. Metody i modele analizy danych przestrzennych*, C.H. Beck, Warszawa 2010.

\* \* \*

**dr Szymon Wiśniewski** – adiunkt w Instytucie Zagospodarowania Środowiska i Polityki Przestrzennej w Uniwersytecie Łódzkim. Jego zainteresowania naukowe koncentrują się na badaniach dostępności, geografii transportu i logistyce. W swoich analizach wykorzystuje przede wszystkim narzędzia systemów informacji przestrzennej oraz metody z zakresu statystyki przestrzennej i ekonometrii.