

Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG

Transport Geography Papers of Polish Geographical Society

ISSN 1624-5915  
e-ISSN 2343-8998

20(4)/2017



Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG

2017, 20(4), 7-19

DOI 10.4467/2543859XPKG.17.019.8025

## WYKORZYSTANIE TELEFONÓW KOMÓRKOWYCH W BADANIACH ZACHOWAŃ TRANSPORTOWYCH LUDNOŚCI<sup>1</sup>

### *The use of mobile phones in travel behaviour studies*

Jędrzej Gadziński

Klinstitut Geografii Społeczno-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej, Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Bogumiła Krygowskiego 10, 61-680 Poznań

e-mail: jedgad@amu.edu.pl

#### Cytacja:

Gadziński J., 2017, Wykorzystanie telefonów komórkowych w badaniach zachowań transportowych ludności, *Prace Komisji Geografii Komunikacji Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 20(4), 7-19.

**Streszczenie:** Zachowania czasoprzestrzenne ludności są obecnie jedną z popularniejszych kwestii podejmowanych na gruncie geografii transportu. W efekcie rośnie również zainteresowanie rozwojem nowych narzędzi badawczych związanych z ich identyfikacją, takich jak urządzenia mobilne. Mimo dużej popularności smartfonów, wciąż jednak niewiele jest przykładów badań, w których zostały one wykorzystane na większą skalę. Za cel artykułu przyjęto więc określenie możliwości i perspektyw szerszego zastosowania telefonów komórkowych w badaniach zachowań transportowych ludności, a także wskazanie najważniejszych zalet i wad tego typu narzędzi. Do realizacji wyznaczonego celu posłużyły: a) przegląd literatury opisującej narzędzia badawcze stosowane do identyfikacji zachowań transportowych ludności oraz b) przeprowadzone w Poznaniu badania pilotażowe z wykorzystaniem smartfonów i stworzonej w tym celu aplikacji mobilnej. Na tej podstawie można stwierdzić, że w danych pozyskanych za pomocą telefonów komórkowych tkwi bardzo duży potencjał i mogą one znaleźć szerokie zastosowanie w różnego rodzaju analizach transportowych. Jednakże należy również zwrócić uwagę na istotne bariery dla dalszego upowszechniania się tego typu narzędzi badawczych, w postaci problemów natury technicznej i organizacyjnej, związanych z doborem próby oraz analizą dużych zbiorów danych.

**Słowa kluczowe:** zachowania transportowe, ścieżki czasoprzestrzenne, telefony komórkowe, smartfony, odbiorniki GPS, big data

**Abstract:** Human travel behaviour is recently one of the most popular research topic in transport geography. Therefore, we could observe increasing interest on new research tools related to their identification such as mobile devices. Despite the widespread popularity of smartphones, there are not many examples of studies in which they have been used on a larger scale. So, the main objectives of the article are: to assess the possibilities and perspectives of the broader use of mobile phones in analyses on human travel behaviour and to identify the main advantages and disadvantages of such research tools. To realize these purposes we implemented a) literature review on the methods used for travel behaviour identification and b) pilot study conducted in Poznań with the use of smartphones and dedicated mobile application. Based on our findings, we could conclude that there is a great potential connected with the use of mobile phone data in transport geography and they can be used in different types of analyses. However, some important barriers of the broader use of smartphones in travel behaviour studies should be also noticed. We could mention technical and organisational problems, sampling issues and challenges related to big data analyses.

**Key words:** travel behaviour, spatiotemporal trajectories, mobile phones, smartphones, GPS devices, big data

**Otrzymano (Received):** 19.08.2017

**Zaakceptowano (Accepted):** 27.10.2017

<sup>1</sup> Artykuł przedstawia wyniki badań sfinansowanych ze środków Narodowego Centrum Nauki (nr projektu 2015/17/D/HS4/00270).

## 1. Wprowadzenie

Zachowania transportowe ludności od kilku dziesięcioleci są jednym z głównych przedmiotów zainteresowania współczesnej geografii transportu (Jones i in., 1983; Fox, 1995; Buliung, Kanaroglou, 2006). Wynika to w dużej mierze ze zmiany sposobu postrzegania systemów transportowych. Geografia czasu zapoczątkowana pracami Hägerstranda (1970) w centrum uwagi postawiła człowieka i podejmowane przez niego decyzje związane z przemieszczaniem się. W efekcie coraz bardziej liczne są prace poświęcone problematyce mobilności (w tym analizujące liczbę i odległość dziennych podróży), wyborów dotyczących środków transportu i kierunków przemieszczeń oraz preferowanych celów podróży. W literaturze można znaleźć także liczne przykłady studiów wiążących zachowania transportowe poszczególnych osób z zagospodarowaniem przestrzeni (np. Boarnet, Sarmiento, 1998; Ewing, Cervero, 2001), poziomem dostępności infrastruktury transportowej (np. Simma, Axhausen, 2003; Nurlaela, Curtis, 2012; Gadziński, 2016), podejmowaniem decyzji o zmianie miejsca zamieszkania (np. Scheiner, 2006; Cao i in., 2009), czy sytuacją życiową i cechami psychologicznymi (np. Anable, 2005; Van Acker i in., 2010). Co więcej, warto zwrócić również uwagę na użyteczność tego typu analiz w realizacji polityk transportowych (Fox, 1995). Poznanie szczegółowego zestawu zachowań transportowych mieszkańców ma duże znaczenie dla właściwej oceny funkcjonowania lokalnych systemów transportowych oraz wyznaczenia kierunków ich przyszłego rozwoju. Dlatego szczególnie w przypadku większych ośrodków miejskich coraz częściej punktem wyjścia do opracowania dokumentów planistycznych są szeroko zakrojone badania zachowań transportowych mieszkańców (np. w przypadku projektu „Badania i opracowanie planu transportowego Aglomeracji Poznańskiej” z 2013 r.).

Mimo popularności tego typu badań, wciąż wyzwaniem dla naukowców pozostaje jednak pozyskanie wartościowego materiału analitycznego, który zobrazuje możliwie szeroki zestaw zachowań transportowych. Tradycyjne metody pozyskania informacji w postaci dzienników podróży czy formularzy ankietowych cechują się licznymi ograniczeniami (Clifton, Handy, 2003). W efekcie coraz większą popularność zyskują automatyczne (pasywne) metody pozyskiwania informacji, w których wykorzystuje się nowe rozwiązania technologiczne (Wolf, 2006). Zdecydowanie największą popularność zyskały odbiorniki GPS, które od początku XX wieku były wielokrotnie stosowane w badaniach zachowań transportowych. Jednakże w ostatnich latach pojawia się także coraz więcej analiz z wykorzystaniem możliwo-

ści telefonów komórkowych. Nasuwa się jednak pytanie: czy i na ile tego typu nowe narzędzia badawcze mogą zastąpić tradycyjne badania zachowań transportowych?

Celem artykułu jest określenie możliwości i perspektyw szerszego zastosowania telefonów komórkowych<sup>1</sup> w badaniach zachowań transportowych ludności. Jednocześnie wskazane zostaną zalety i wady stosowania tego typu narzędzi. Do realizacji tych celów posłużył przegląd dotychczasowych doświadczeń wykorzystania odbiorników GPS i telefonów komórkowych w badaniach transportowych oraz zaprojektowane i przeprowadzone przez autora badania pilotażowe z zastosowaniem telefonów komórkowych.

## 2. Metody badania zachowań transportowych – przegląd literatury

Do tradycyjnych metod badania zachowań transportowych ludności zaliczyć można przede wszystkim badania społeczne z wykorzystaniem formularzy ankietowych lub dzienników podróży (Clifton, Handy, 2003). Wydaje się, że największą zaletą wspomnianych narzędzi jest ich prostota. Co więcej, to od badacza zależy zakres informacji, które mają zostać pozyskane. W przypadku ankiety pytania dobiera się pod kątem określonych potrzeb analitycznych. W efekcie to badacz może decydować o liczbie pytań, ich zakresie, poziomie szczegółowości (McLafferty, 2003). Różny może być również sposób przeprowadzania badania ankietowego. Coraz częściej wykorzystywane są ankiety telefoniczne i internetowe. Szczególnie w tym drugim przypadku znacznie ograniczona zostaje potrzeba zaangażowania badacza w proces pozyskania informacji (Weis i in., 2008). O ile ankiety są powszechnie wykorzystywane w zasadzie w całym szerokim spektrum badań społecznych, to dzienniki podróży stanowią narzędzie typowe dla geografii transportu. Pozwalają na pozyskanie stosunkowo szczegółowych informacji dotyczących poszczególnych podróży realizowanych przez uczestników badania (Axhausen i in., 2002). Także w tym wypadku zakres pożądaných informacji zależy od konstrukcji formularza/dziennika.

Niestety wielu autorów zwraca również uwagę na liczne ograniczenia wskazanych wyżej narzędzi (Wolf,

<sup>1</sup> W artykule zamiennie stosowane są terminy telefon komórkowy oraz smartfon. Należy jednak zwrócić uwagę, że starsze modele telefonów komórkowych mogą pobierać dane z mniejszej liczby źródeł (przede wszystkim z sieci GSM) i mają znacznie mniej funkcjonalności niż najnowsze modele smartfonów (które są w zasadzie niewielkich rozmiarów komputerami z własnymi systemami operacyjnymi).

2000; Shen, Stopher, 2014). W przypadku ankiety problemem jest najczęściej duży poziom ogólności formułowanych pytań. Wynika on zwykle z potrzeby ograniczenia liczby poruszanych zagadnień, tak by badanie nie było zbyt uciążliwe dla jego uczestników. W efekcie najczęściej zbiera się dane dotyczące typowych zachowań transportowych poszczególnych osób, które mogą zasadniczo różnić się od zachowań faktycznych. Trudno w ten sposób również wyznaczyć np. codzienne ścieżki przemieszczeń. Pozyskane wyniki cechuje najczęściej znaczny poziom ogólności (Clifton, Handy, 2003).

Warto również zwrócić uwagę, że raportowanie zachowań transportowych (szczególnie w przypadku dzienników podróży) wymaga od respondentów znacznego zaangażowania w proces badawczy (Duncan, Mummary, 2007). Systematyczne wypełnianie formularza wymaga poświęcenia znacznej ilości czasu. Wielu badaczy zwraca również uwagę, że raportowanie następuje zwykle po pewnym czasie od realizacji podróży. W efekcie zebrane informacje mogą zawierać spore niedokładności. O niektórych etapach podróży w ciągu dnia respondenci mogą na przykład zapomnieć (Gould, 2013). Może zdarzyć się również, że uczestnik badania świadomie zatai lub zmodyfikuje dane dotyczące jego zachowań transportowych.

W efekcie pojawiających się problemów z wiarygodnością i dokładnością informacji pozyskanych za pomocą ankiet i dzienników podróży, zaczęto poszukiwać alternatywnych metod pozyskania danych dotyczących zachowań czasoprzestrzennych ludności. Dzięki rozwojowi technologii informacyjno-komunikacyjnych możliwe stało się wykorzystanie w tym celu informacji z odbiorników GPS, telefonów komórkowych, mediów społecznościowych, kart elektronicznych (ang. *smart cards*) itd. Ich największą zaletą jest możliwość automatycznego (pasywnego) zbierania dużej ilości danych.

Do tej pory zdecydowanie największą popularność zyskały badania z wykorzystaniem odbiorników GPS (Yue i in., 2014). Pierwsze tego typu prace z zakresu geografii transportu pochodzą z połowy lat 90. XX wieku (Zito, Taylor, 1994; Zito i in., 1995). Na szerszą skalę odbiorniki GPS w badaniach zachowań transportowych ludności zastosowano w Stanach Zjednoczonych – w Lexington w 1996 r. (Wagner, 1997) oraz w Austin w 1997 roku (Pearson, 2001). W następnych latach tego typu analiz zaczęło pojawiać się coraz więcej. W efekcie odbiorniki GPS są dziś najpopularniejszym narzędziem stosowanym do pozyskiwania szczegółowych danych lokalizacyjnych. W Polsce badania zachowań transportowych z wykorzystaniem odbiorników GPS prowadzili m.in. Bauer, Klimontowska (2010), Gadziński (2010), Kmieć, Mokrzański (2010), Sierpiński, Celiński (2011), Rakower i in. (2011).

Duża popularność prac, których autorzy wykorzystują dane z odbiorników GPS, wynika również z faktu, że urządzenia te są obecnie często instalowane w pojazdach komunikacji publicznej (Vlassenroot i in., 2015). Dane lokalizacyjne wykorzystuje się do monitorowania przemieszczeń tramwajów, autobusów, metra oraz do zapewnienia informacji pasażerskiej w czasie rzeczywistym. W efekcie możliwy jest dostęp do znacznego zbioru danych, który może zostać wykorzystany np. w celu identyfikacji prędkości uzyskiwanych przez środki transportu publicznego na różnych odcinkach sieci (Tantiyanugulchai, Bertini, 2003; Cortés i in., 2011), ich tras i czasów podróży (Hunter i in., 2009). Jednakże w analizach zachowań czasoprzestrzennych tego typu dane nie znajdują większego zastosowania (chyba, że w połączeniu z informacjami pozyskanymi z innych źródeł).

Głównym mankamentem badań zachowań transportowych prowadzonych z wykorzystaniem odbiorników GPS wydaje się konieczność znacznego zaangażowania uczestniczących w nich osób. Po pierwsze urządzenia należy zawsze mieć przy sobie podczas podróży, a po drugie co jakiś czas konieczne jest ładowanie lub wymiana baterii (Smoreda i in., 2013; Vlassenroot i in., 2015). Pewne problemy może rodzić również transfer danych z urządzenia na dysk lub serwer zewnętrzny (na którym gromadzone są zbiorcze dane). Dlatego konieczne może być wcześniejsze przeszkolenie uczestników badania. Należy zwrócić również uwagę na fakt, że odbiorniki GPS zapisują jedynie bieżącą lokalizację, co pozwala określić trajektorię przemieszczeń i ich prędkość. Urządzenia nie dostarczają jednak żadnych dodatkowych danych dotyczących np. wybieranych środków i celów podróży. Co więcej, w przypadku szeroko zakrojonych badań konieczny jest zakup dużej liczby odbiorników. Znacząco podnosi to koszty takich analiz (Wolf, 2006; Zhao i in., 2015). W końcu problemem może być również możliwość zaniku sygnału i w rezultacie utrata części informacji. Do takich sytuacji dochodzi często w budynkach, przejściach podziemnych, tunelach i tzw. kanionach miejskich (ang. *urban canyons*), czyli miejscach gdzie ścisła zabudowa i wysokie budynki blokują sygnał GPS (Stopher i in., 2008; Gong i in., 2012). W efekcie odbiorniki GPS sprawdzają się jedynie w niektórych badaniach dotyczących identyfikacji zachowań transportowych mieszkańców. Warto zwrócić uwagę, że często są one traktowane jako uzupełnienie badań z wykorzystaniem formularzy ankietowych i dzienników podróży lub służą do identyfikacji jednego z parametrów podróży (np. prędkości; Li, Shalaby, 2008; Greaves i in., 2010).

W ostatnich latach coraz większe nadzieje zaczęto również wiązać z wykorzystaniem telefonów komórkowych do badania zachowań przestrzennych

ludności. Wynika to z ich powszechności wśród społeczeństw (już nie tylko w krajach wysokorozwiniętych) oraz z faktu, że telefon komórkowy stał się w zasadzie nieodłącznym towarzyszem ludzkiego życia (Cui i in., 2007). Dodatkowo rozwój technologiczny i upowszechnienie smartfonów (korzystających z różnych typów danych) umożliwia ich łatwiejsze wykorzystanie dla celów badawczych.

W literaturze dominują obecnie badania z wykorzystaniem danych GSM, które w większości wypadków pozyskiwane są od operatorów sieci komórkowych, bez konieczności zaangażowania w ten proces osób, których te dane dotyczą (Azam i in., 2012; Chen i in., 2014; Järvi i in., 2014; Çolak i in., 2015; Picornell i in., 2015). Dzięki temu w analizach możliwe jest wykorzystanie olbrzymich zbiorów danych. Niestety poziom dokładności danych GSM nie jest najwyższy (ze względu na zapis lokalizacji w oparciu o rozmieszczenie stacji przekaźnikowych). Poza tym nie dostarczają one w zasadzie żadnych informacji poza przybliżoną lokalizacją osoby wyposażonej w telefon komórkowy (o której *de facto* nic nie wiadomo) w określonym czasie (Smoreda i in., 2013). Większe możliwości analityczne zawierają bez wątpienia dane uzyskane za pomocą smartfonów przy jednoczesnym wykorzystaniu sygnałów GPS i GSM (tzw. dane A-GPS – ang. *assisted global positioning system*). W tym przypadku poziom dokładności zapisanej lokalizacji jest zdecydowanie wyższy. Unika się również (typowego dla odbiorników GPS) problemu z utratą sygnału w budynkach, tunelach, „kanionach miejskich” itp. (Gong i in., 2014). Dzisiejsze smartfony dodatkowo mogą również gromadzić informacje pozyskane przy wykorzystaniu innych technologii (Wi-Fi, Bluetooth, akcelerometr). Dodatkowo można je wyposażyć w aplikacje wspomagające proces gromadzenia i transferu danych na serwery zewnętrzne, co znacząco może ułatwić proces zbierania informacji (Gong i in., 2014). W efekcie wydaje się, że wykorzystanie smartfonów w badaniach zachowań transportowych pozwala na realizację bardzo szczegółowych analiz i w niedalekiej przyszłości powinno być coraz popularniejsze.

Jednocześnie jednak należy zauważyć, że w literaturze z zakresu geografii transportu można znaleźć stosunkowo niewiele przykładów wykorzystania danych lokalizacyjnych pozyskanych za pomocą smartfonów. Pojawiające się prace dotyczą przede wszystkim kwestii technicznych związanych z oceną możliwości prowadzenia tego typu analiz (Ohmori i in., 2005; Winters i in., 2008; Jariyasunant i in., 2011, 2015; Montini i in., 2015; Vlassenroot i in., 2015). Jednym z nielicznych przykładów badań, gdzie na szerszą skalę wykorzystano telefony komórkowe jest projekt ‘Dutch Mobile Mobility Panel’ (Geurs i in.,

2015). W jego ramach udało się pozyskać szczegółowe dane dotyczące zachowań transportowych około 600 osób. Podobne badania prowadzono również w Singapurze (Cottrill i in., 2013), a w analizach o charakterze socjologicznym smartfony wykorzystano również w regionie Trentino (Centellegher i in., 2016). W rezultacie nasuwa się pytanie – dlaczego badania zachowań transportowych prowadzone z wykorzystaniem telefonów komórkowych są wciąż tak nieliczne i co stoi na przeszkodzie w większym upowszechnieniu się tego typu analiz?

### 3. Badanie pilotażowe

#### 3.1. Konstrukcja badania

Dla oceny możliwości wykorzystania telefonów komórkowych do badania zachowań transportowych ludności zdecydowano się przeprowadzić badania pilotażowe z wykorzystaniem tego typu narzędzia. W tym celu zaprojektowano specjalną aplikację na telefon komórkowy umożliwiającą pozyskanie danych lokalizacyjnych od użytkowników smartfonów. Na wstępie założono, że projektowane narzędzie badawcze powinno spełniać następujące wymogi:

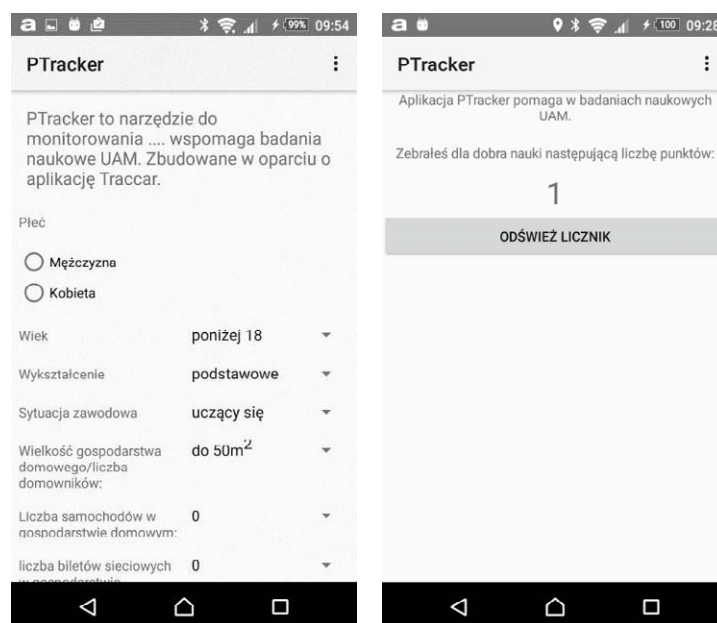
- narzędzie do pozyskania danych powinno być nieskomplikowane, a koszt jego opracowania nie może być zbyt wysoki;
- narzędzie powinno umożliwiać pozyskanie danych różnego typu, w tym danych lokalizacyjnych oraz podstawowych danych o użytkownikach;
- dokładność danych lokalizacyjnych pozyskiwanych za pomocą narzędzia powinna być stosunkowo duża;
- obsługa aplikacji powinna wymagać jak najmniejszego zaangażowania od uczestników badania.

W efekcie przygotowana została aplikacja o nazwie „TwojaTrasa” działająca na smartfonach wyposażonych w system Android. Była ona testowana i doskonalona przez kilka miesięcy w roku 2016. Badanie pilotażowe prowadzono natomiast w okresie od listopada 2016 r. do kwietnia 2017 r. Skierowane było przede wszystkim do studentów Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu z kampusu Morasko (zlokalizowanego w północnej części miasta). Wybór ten wynikał z faktu, że popularność smartfonów wśród osób młodych powinna być stosunkowo duża. Według badań prowadzonych przez TNS (2015) tego typu urządzeniem dysponowało 58% Polaków, w tym aż ok. 90% osób w wieku do 29 lat. Dodatkowo należy również zauważyć, że w przypadku wielu badań dotyczących identyfikacji zachowań transportowych studenci są pomijani lub marginalizowani (np. w miejskich badaniach ruchu/mobilności nie

uwzględnia się niekiedy studentów „przyjezdnych” ze względu na ich inne miejsce zameldowania – może to znacząco zniekształcać uzyskane w takich badaniach wyniki).

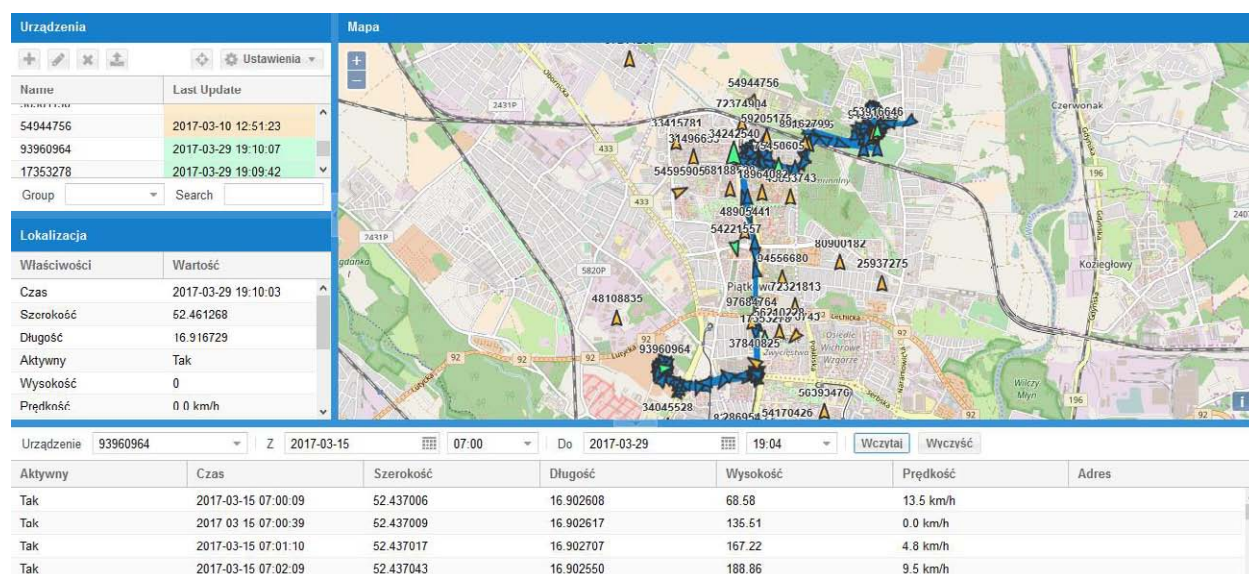
Na skonstruowane narzędzie badawcze składały się aplikacja (udostępniona bezpłatnie on-line w sklepie z aplikacjami), której zadaniem było pozyskanie danych o uczestnikach badania oraz danych lokalizacyjnych. W tym celu po instalacji aplikacji na smartfonie i jej uruchomieniu, uczestnik badania wypełniał krótką ankietę (ryc. 1), w której odpowiadał na pytania

dotyczące wieku, płci, aktywności zawodowej, wykształcenia, statusu prawnego miejsca zamieszkania, wielkości gospodarstwa domowego oraz liczby posiadanych w gospodarstwie domowym samochodów i biletów sieciowych. Instalacja aplikacji oraz wypełnienie ankiety były jedynymi czynnościami wymagającymi zaangażowania uczestnika badania. Potem aplikacja działała już samodzielnie pobierając dane lokalizacyjne. Uczestnik badania mógł jedynie śledzić liczbę zebranych punktów z zapisaną lokalizacją w panelu użytkownika (ryc. 1).



Ryc. 1. Kwestionariusz ankiety w aplikacji „TwojaTrasa” oraz panel użytkownika.

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 2. Panel kontrolny.

Źródło: opracowanie własne.

Zebrane na telefonie dane lokalizacyjne transferowane były (w momencie gdy telefon uzyskiwał połączenie z Internetem) na zewnętrzny serwer gromadzący informacje od wszystkich uczestników badania. Uzupełnieniem zaprojektowanego narzędzia był panel kontrolny (dostępny za pomocą przeglądarki internetowej) umożliwiający monitorowanie aktualnej liczby uczestników badania i ich zachowań w czasie rzeczywistym (ryc. 2).

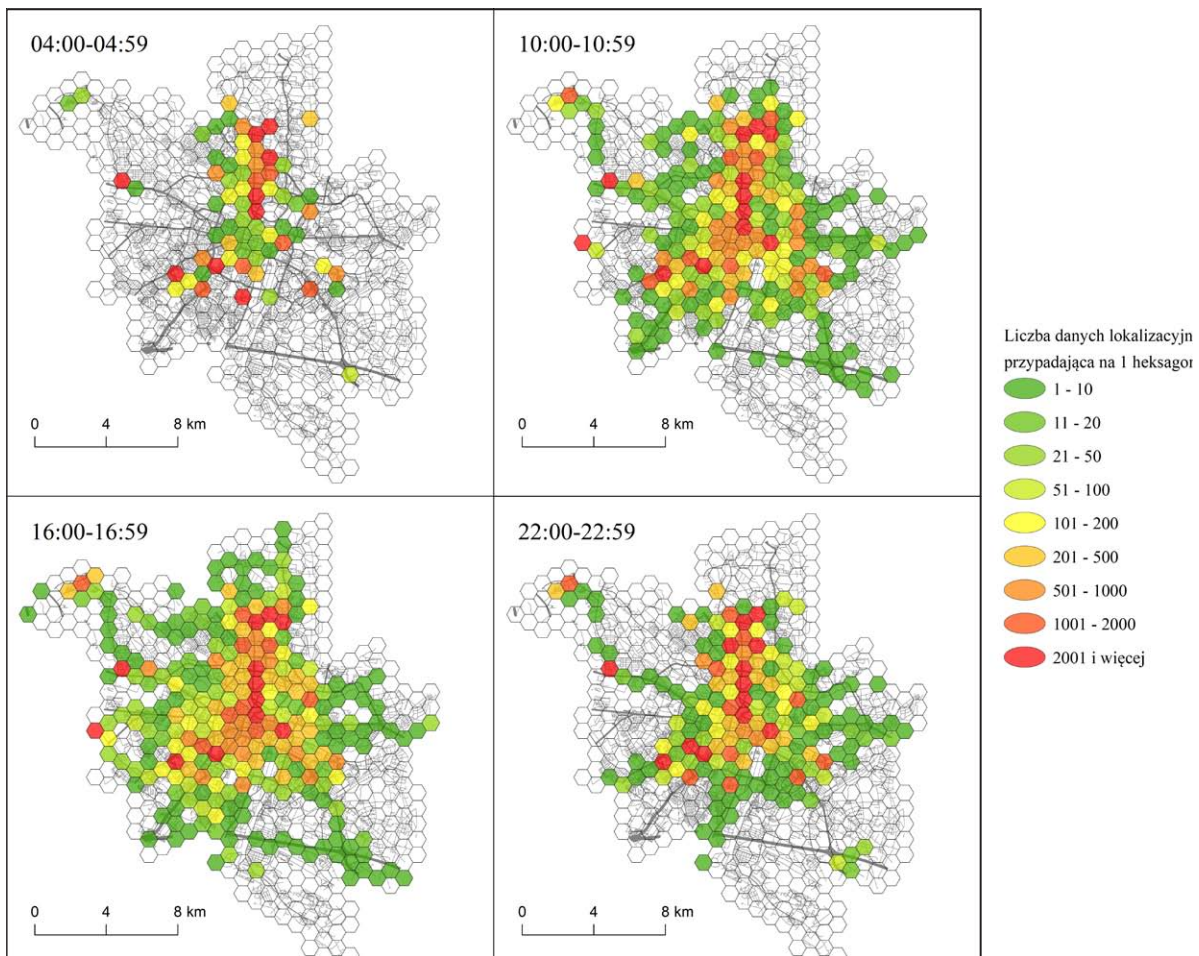
W celu pozyskania uczestników do badania łącznie rozesłano ponad 1000 zaproszeń na studenckie adresy e-mail. Dodatkowo informacja o badaniu była dostępna na stronach internetowych wydziałów Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, na plakatach oraz monitorach w budynkach uniwersyteckich. W efekcie w badaniu pilotażowym wzięło udział 104 osoby. W 16 przypadkach uzyskane informacje były bardzo niekompletne i zdecydowano się je odrzucić. Spośród osób, których dane zostały wykorzystane w dalszej części artykułu 77% stanowili studenci, przeważali mężczyźni (55%) oraz osoby poniżej 25 roku życia (70%). Większość z uczestników badania wynajmowało mieszkanie (54%). Przeciętna wielkość gospo-

darstwa domowego wyniosła 2,74 osoby. Na mieszkanie przypadało średnio 1,07 samochodu oraz 1,28 biletu okresowego wykorzystywanego w transporcie publicznym.

### 3.2. Wstępne wyniki

W przeprowadzonych badaniach pilotażowych zebrano 2 923 433 rekordów zawierających dane lokalizacyjne (współrzędne geograficzne) oraz dodatkowe charakterystyki w postaci: prędkości przemieszczania się, wysokości nad poziom morza, dokładnego czasu zapisania informacji, stanu naładowania baterii. Pozyskany materiał daje bardzo duże możliwości analityczne, ale wymaga również dużego nakładu pracy związanego z obróbką i przygotowaniem zebranych informacji. W tym miejscu przedstawiono jedynie przykładowe rezultaty, które ukazują duże możliwości związane z wykorzystaniem danych pozyskanych za pomocą telefonów komórkowych.

Po pierwsze zdecydowano się zaprezentować rozmieszczenie zebranych danych lokalizacyjnych w różnych porach dnia na terenie Poznania (ryc. 3). Taki



Ryc. 3. Zmiany rozmieszczenia uczestników badania w różnych porach dnia.

Źródło: opracowanie własne.

sposób wizualizacji pozwala na identyfikację głównych miejsc koncentracji uczestników badania, a więc również popularnych miejsc zamieszkania oraz celów podróży. Zebrane dane lokalizacyjne (z wybranych przedziałów czasowych) zostały wczytane do programu GIS (ArcGIS) w postaci punktów, a następnie przyporządkowane do jednego z heksagonów o boku 500 metrów, na które został podzielony Poznań. Pozwoliło to wyznaczyć najczęściej odwiedzane lokalizacje na terenie miasta. Z przeprowadzonej analizy wynika, że uczestnicy badania skupiają się na stosunkowo niewielkim obszarze w godzinach nocnych. Można założyć, że większość z nich przebywa wtedy w swych miejscach zamieszkania. Popularne lokalizacje koncentrują się wokół trasy Poznańskiego Szybkiego Tramwaju, a więc dotyczą osiedli charakteryzujących się dobrą dostępnością komunikacyjną (dostęp do kampusu UAM, centrum miasta oraz dworca PKP – patrz Radzimski, Gadziński, 2016). Natomiast w ciągu dnia obraz opracowany na podstawie danych lokalizacyjnych jest dużo bardziej rozmyty. W godzinach 10:00-10:59 oraz 16:00-16:59 popularną lokalizacją jest kampus UAM na Morasku, a także obszary położone w centrum Poznania. Po godzinie 22:00 rozproszenie zaczyna się wyraźnie zmniejszać.

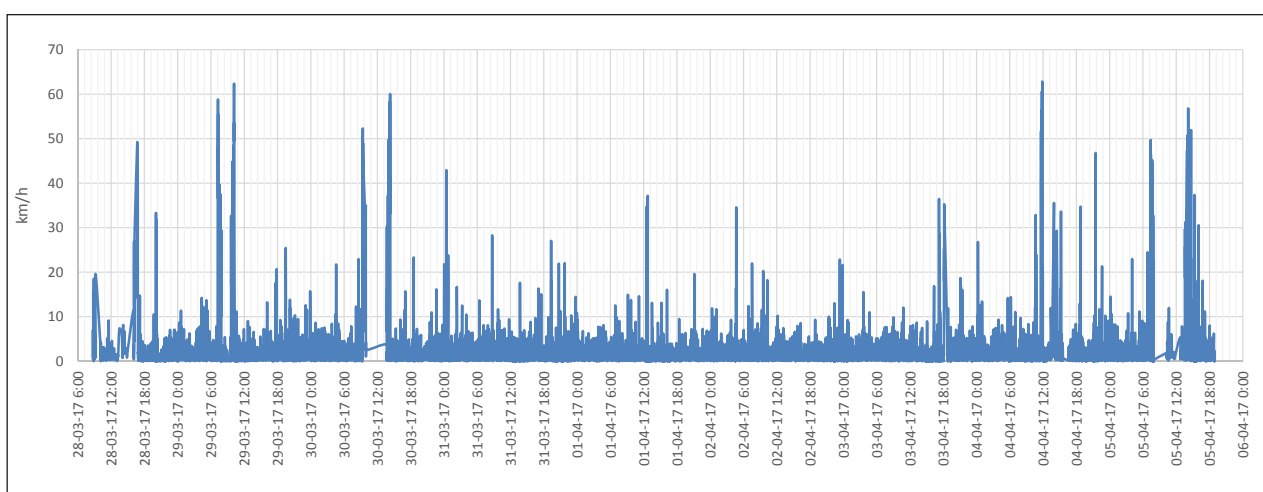
Należy zaznaczyć, że podobne zestawienia można przygotować dla różnych grup społecznych, wiekowych, oddzielnie dla kobiet i mężczyzn, posiadaczy samochodów i osób nie dysponujących własnym pojazdem itd. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu w badaniu formularza ankietowego (dostępnego na telefonie komórkowym po instalacji aplikacji TwojaTrasa). Co więcej, w prosty sposób można także przeanalizować różnice pomiędzy zachowaniami przestrzen-

nymi uczestników badania w poszczególne dni tygodnia. Umożliwia to wykorzystanie danych w różnego typu studiach i analizach.

Pozyskane dane pozwalają również w sposób szczegółowy przyjrzeć się indywidualnym zachowaniom transportowym. Na ryc. 4 przedstawiono wykres obrazujący prędkości uzyskiwane przez jednego z uczestników badania na przestrzeni dziesięciu dni. Na jego podstawie można określić główne pory aktywności związane z realizacją przemieszczeń. W połączeniu z wykresem przedstawionym na ryc. 5 uzyskać można szczegółowy obraz zachowań czasoprzestrzennych osób biorących udział w badaniu. Możliwa jest m.in. identyfikacja głównych kierunków podróży, ich odległości czy częstotliwości.

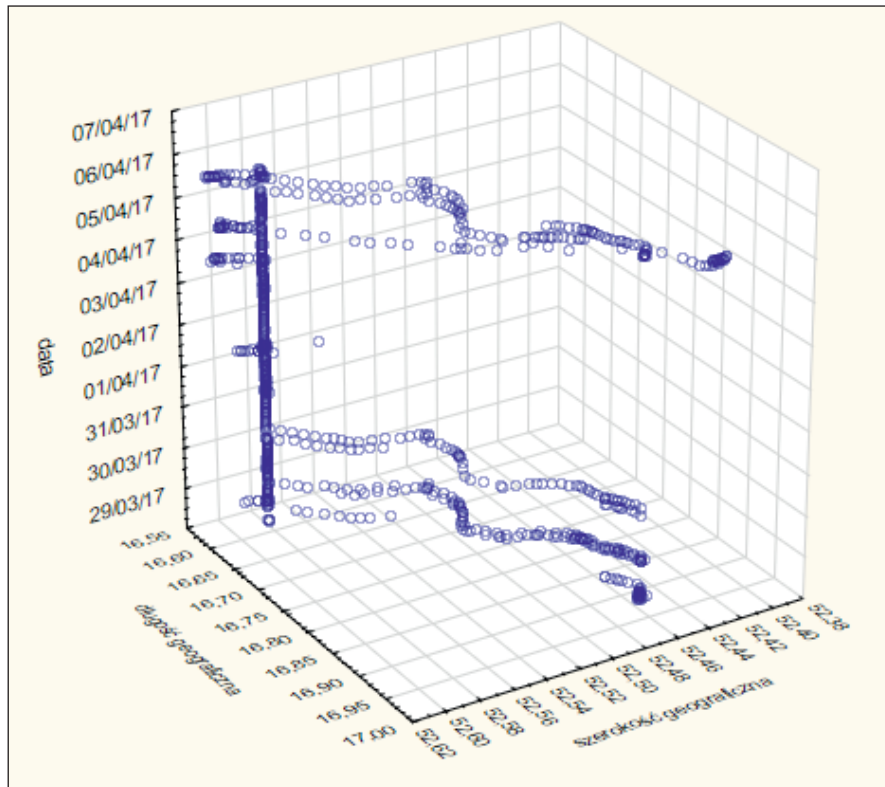
Ukazane przykłady pokazują znaczne możliwości zastosowania szczegółowych danych lokalizacyjnych z wykorzystaniem telefonów komórkowych. W szczególności informacje tego typu mogą posłużyć do:

- analizy poziomu mobilności różnych grup społecznych;
- identyfikacji miejsc charakteryzujących się znacznymi potokami ruchu oraz popularnych celów podróży;
- konstrukcji indywidualnych miar dostępności (ang. *individual-based accessibility measures* – patrz Geurs, Van Wee, 2004);
- analiz wiążących zachowania transportowe z miejscem zamieszkania, zagospodarowaniem przestrzeni, cechami psycho-fizycznymi poszczególnych osób;
- identyfikacji parametrów związanych z przemieszczaniem się (np. średniej prędkości osoby pieszej, średniej odległości dojazdu do przystanku itd.).



Ryc. 4. Prędkości przemieszczeń uzyskiwane przez jednego z uczestników badania.

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 5. Zachowania czasoprzestrzenne przykładowego uczestnika badań.

Źródło: opracowanie własne.

#### 4. Perspektywy wykorzystania telefonów komórkowych w badaniach zachowań transportowych

Ukazane w poprzednim rozdziale możliwości wykorzystania danych pozyskanych za pomocą telefonów komórkowych wskazują na duży potencjał stosowania tego typu rozwiązań w przyszłości. W celach porównawczych scharakteryzowano najbardziej popularne narzędzia stosowane w badaniach zachowań przestrzennych ludności. Zestawienie (tab. 1) ukazuje jedną z kluczowych zalet związanych z wykorzystaniem smartfonów w tego typu analizach. Wydaje się, że jest nią bardzo duża swoboda badacza w konstrukcji narzędzia. To od niego zależy np. jaki będzie niezbędny poziom zaangażowania wymagany od uczestników oraz jakie dane będą zbierane. W zależności od potrzeb może on świadomie dobierać poszczególne parametry i możliwości narzędzia. Jednocześnie jednak należy zwrócić uwagę na kilka istotnych kwestii problemowych, które mogą być jedną z barier popularyzacji badań z wykorzystaniem smartfonów.

Po pierwsze za istotny problem uznać należy zróżnicowany stopień upowszechnienia smartfonów

w poszczególnych społecznościach. Jak pokazują raporty dotyczące „smartfonizacji” opracowywane w różnych krajach (Pew Research Center, 2015; TNS, 2015; ACMA, 2015) powszechność tych urządzeń rośnie w szybkim tempie z roku na rok. W młodszych pokoleniach nawet 90% osób może już się pochwalić posiadaniem smartfonu. Problemem jest natomiast liczba urządzeń, które znajdują się w rękach osób ze starszych roczników. Według raportu przygotowanego przez TNS Polska w 2015 r. jedynie 41% osób w grupie wiekowej 50-59 posiadało smartfon, a wśród osób powyżej 60 lat było to tylko 23%. W efekcie pojawia się problem z reprezentatywnością próby w badaniach z ich wykorzystaniem. W zasadzie jedynym wyjściem jest zakup określonej liczby smartfonów i wyposażenie w nie uczestników badań, którzy takich urządzeń nie posiadają na własność (czyli szczególnie osób starszych – patrz Geurs i in., 2015). Z drugiej strony możliwe jest również prowadzenie badań na próbie badawczej ograniczonej do pewnej grupy społecznej, w której posiadanie smartfonu jest bardzo powszechne (np. do studentów, mieszkańców dużych miast, osób w wieku poniżej 40 roku życia itd.).



Tab. 1. Porównanie narzędzi badawczych stosowanych w celu identyfikacji zachowań transportowych ludności.

Narzędzie badawcze	Precyzja pomiaru zmian lokalizacji w czasie	Wymagany poziom zaangażowania uczestnika badania	Zakres danych możliwych do pozyskania	Trudności z przetwarzaniem danych	Wiarygodność danych
Ankieta	niewielka (zwykle ogólne informacje), zależna od liczby i szczegółowości pytań	zwykle stosunkowo niewielki, zależny od liczby i szczegółowości pytań	typowe zachowania transportowe	w przypadku papierowych formularzy – konieczność wprowadzenia danych do zbiorczej bazy danych	subiektywne (opinie uczestnika badania)
Dziennik podróży	przeciętna, zależna od zaangażowania uczestnika badania	znaczny (konieczność ręcznego wprowadzania informacji)	kierunki, cele i środki podróży, czas podróży	w przypadku papierowych formularzy – konieczność wprowadzenia danych do zbiorczej bazy danych	subiektywne (informacje wprowadzane przez uczestnika badania)
Odbiornik GPS	znaczna (dokładność lokalizacji do kilku metrów)	znaczny (konieczność obsługi odbiornika GPS)	dane lokalizacyjne, prędkość podróży	możliwe trudności wynikające z konieczności przetworzenia dużych zbiorów danych (big data)	obiektywne (zbierane automatycznie przez odbiornik GPS)
Telefon komórkowy (wraz z aplikacją)	znaczna (dokładność lokalizacji do kilku metrów)	zależny od konstrukcji badania	zależny od konstrukcji badania	możliwe trudności wynikające z konieczności przetworzenia dużych zbiorów danych (big data)	obiektywne (oraz czasem subiektywne – w zależności od konstrukcji badania)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Wolf, 2006; Lane i in., 2010; Shen, Stopher, 2014; Yue i in., 2014; Wang i in., 2017.

Należy jednak również zauważyć, że sam fakt posiadania smartfonu nie świadczy o tym, że osoba umie się nim posługiwać. W prowadzonych badaniach pilotażowych pewnym problemem dla części uczestników okazało się wyszukanie i instalacja aplikacji mobilnej (pomimo dość jasnej instrukcji zawartej w materiałach promocyjnych). Trudno jednoznacznie oszacować ile osób z tego powodu zrezygnowało z udziału. Jak pokazują badania dotyczące „smartfonizacji” prowadzone w różnych krajach (np. Pew Research Center, 2015; Android w Polsce, 2015; ACMA, 2015) większość użytkowników smartfonów korzysta tylko z jego podstawowych funkcji (rozmowy, wysyłanie wiadomości tekstowych). Dużo mniejsza grupa korzysta z przeglądarki internetowej oraz pobiera i wysyła wiadomości za pomocą poczty e-mail (szczególnie dotyczy to starszych roczników). Należy się więc spodziewać, że stosunkowo duży procent użytkowników smartfonów może mieć problem z instalacją aplikacji mobilnych. W efekcie ich udział w badaniach z wykorzystaniem smartfonów może być utrudniony.

Dodatkowym problemem dla uczestników jest również znacznie szybsze wyczerpywanie się baterii w czasie, gdy w telefonie włączony jest moduł GPS. Osoby biorące udział w badaniach pilotażowych,

a w szczególności posiadacze starszych modeli smartfonów, skarżyli się na konieczność częstego jego doładowywania. Bez wątpienia jest to jedna z kwestii, które mogą zniechęcić do uczestnictwa (Zhao i in., 2015). W efekcie konieczna może okazać się jakaś forma rekompensaty dla osób, które zdecydują się wziąć udział w tego typu projektach.

Kolejną z potencjalnych barier dla większego upowszechnienia badań z wykorzystaniem smartfonów, wydają się być kwestie związane z analizą pozyskanego materiału analitycznego. Przeprowadzone badanie pilotażowe pokazuje, że w tego typu analizach pojawia się potrzeba przetwarzania bardzo dużych zbiorów danych (w analizowanym przykładzie było to ok. 3 mln rekordów). Powoduje to szereg problemów często opisywanych przy okazji analizy tzw. big data (Jacobs, 2009). Warto choćby zwrócić uwagę na kwestię „czyszczenia” i przygotowania ostatecznej bazy danych, która umożliwi przeprowadzenie dalszych operacji. Jest to proces bardzo czasochłonny i żmudny. Dodatkowo problemem są ograniczenia sprzętowe (Gu i in., 2016) oraz nieprzystosowanie popularnych narzędzi analitycznych do analiz dużych zbiorów danych (przykładowo w popularnym programie MS Excel w wersji z 2016 roku można utworzyć maksymalnie „tylko” nieco ponad milion wierszy).

Istnieje oczywiście wiele specjalistycznych programów umożliwiających prowadzenie analiz na dużych zbiorach danych, z tym, że ich obsługa wymaga zazwyczaj specjalistycznej wiedzy.

Należy również zauważyć, że w badaniach z wykorzystaniem smartfonów możliwa jest identyfikacja jedynie ograniczonego zestawu zachowań transportowych. Automatycznie gromadzone dane (podobnie jak ma to miejsce w przypadku danych pozyskanych za pomocą odbiorników GPS) informują przede wszystkim o zmianach lokalizacji w czasie. Trudno natomiast określić z jakich środków transportu korzysta uczestnik takich badań, a także jakie są konkretnie jego motywacje związane z podróżą. Co prawda w literaturze można znaleźć przykłady badań, których autorzy stosowali wysublimowane metody statystyczne w celu identyfikacji np. środka transportu lub celu podróży na podstawie „surowych danych” lokalizacyjnych (Montini i in., 2014; Nitsche i in., 2014; Nour i in., 2016). Jednakże metody te nie są pozbawione wad (współczynnik sukcesu tzn. prawidłowej identyfikacji waha się zwykle od 40 do 90%), a dodatkowo wymagają zaawansowanej wiedzy statystycznej i konstrukcji skomplikowanych modeli matematycznych (Shen, Stopher, 2014).

Kolejną istotną kwestią, o której należałoby wspomnieć, jest problem prywatności osób uczestniczących w badaniach. Brak pewności co do anonimowości, może powodować niechęć do udziału w takim projekcie. Co więcej, może potencjalnie istnieć ryzyko, że niektórzy uczestnicy będą celowo zmieniać swoje zachowania transportowe na czas udziału w badaniu (np. rezygnować z niektórych podróży; Wang i in., 2017). Dlatego niezwykle ważne wydaje się zbudowanie w osobach biorących udział w tego typu projektach przekonania, że informacje na ich temat są bezpieczne. Z tego względu na potrzeby przeprowadzonych badań pilotażowych został przygotowany szczegółowy regulamin, w którym znalazł się szereg zapisów normujących kwestie prywatności (dostępny był po zainstalowaniu aplikacji). W efekcie nie pojawiło się zbyt wiele zapytań dotyczących tej kwestii ze strony uczestników badania. Możliwe jednak, że część osób mających wątpliwości w tym zakresie, po prostu zrezygnowała z udziału.

W końcu istotnym czynnikiem są kwestie organizacyjne i finansowe. Badania z wykorzystaniem telefonów komórkowych bez wątpienia wymagają dużego zaangażowania od badacza na etapie wstępnym (ustalania kształtu i zakresu badania) oraz w ich trakcie. Wynika to poniekąd z faktu, że do tej pory niewiele podobnych przedsięwzięć było prowadzonych. Nie ma zatem utartych schematów organizacji tego typu badań. Z drugiej strony daje to badaczowi dużą swobodę i niezależność na etapie konstrukcji narzędzia

(Lane i in., 2010). Należy również podkreślić, że na etapie wstępnym (w tym podczas przygotowania aplikacji) wymagane jest wsparcie informatyczne. Tego typu usługi zwykle nie są tanie i w efekcie przekładają się na wzrost kosztów całego badania. Co jednak istotne, zaprojektowane dla potrzeb jednej analizy narzędzie można wykorzystywać także w kolejnych badaniach (w tym samym kształcie lub po niewielkich usprawnieniach). W efekcie wysokie koszty pojawiają się przede wszystkim na pierwszym etapie i dużego wpływu na ich wzrost nie ma ani liczba pozyskanych informacji, ani liczba uczestników biorących udział w badaniu.

## 5. Podsumowanie

Podsumowując, należy zauważyć, że w analizach z wykorzystaniem danych pozyskanych za pomocą smartfonów tkwi bardzo duży potencjał. Przeprowadzane badania pilotażowe pokazują, że możliwe jest w ten sposób otrzymanie dużej liczby precyzyjnych informacji, które można wykorzystać na różne sposoby w całym spektrum tematów z zakresu geografii transportu. Uzyskane wyniki wykorzystano do zobrazowania zmian rozmieszczenia uczestników badania w czasie oraz identyfikacji ich głównych celów podróży. Dodatkowo zobrazowano również średnią prędkość przemieszczeń na terenie Poznania, a także kształt dziennej ścieżki życiowej wybranej osoby. Szczególne znaczenie mogą mieć tego typu dane w przyszłości – w badaniach poziomu mobilności różnych grup społecznych, przy identyfikacji popularnych celów podróży, w konstrukcji indywidualnych miar dostępności, czy w analizach czynników wpływających na zachowania transportowe.

Niestety w dalszym ciągu istnieją dość istotne bariery, które limitują możliwość szerszego wykorzystania tego typu narzędzi badawczych. Zaliczyć do nich można przede wszystkim ograniczenia związane z nierównomiernym rozpowszechnieniem smartfonów w społeczeństwie, z koniecznością analizy dużych zbiorów danych i wreszcie związane z kwestiami organizacyjnymi i finansowymi.

Wydaje się, że obecnie badania z wykorzystaniem smartfonów mogą być z powodzeniem prowadzone w niewielkiej skali i na małych próbach badawczych dobranych w sposób celowy. Konieczne jednak może okazać się stosowanie zachęt do udziału w projekcie w postaci nagród lub wynagrodzeń, które zrekompensują uczestnikom wszelkie niedogodności (np. związane z koniecznością częstszego ładowania baterii czy trudnościami w zakresie instalacji i obsługi aplikacji). Warto również podkreślić, że w przyszłych projektach można z powodzeniem zastosować narzędzie badawcze stworzone na potrzeby prezento-

wanego w artykule badania pilotażowego. Istnieje także możliwość dalszego jego rozwijania, w tym dodawania nowych funkcjonalności. Pozostaje mieć nadzieję, że wyniki przyszłych analiz prowadzonych z wykorzystaniem smartfonów dostarczą interesującego materiału analitycznego i pozwolą poszerzyć obecny stan wiedzy w zakresie zachowań czasoprzestrzennych człowieka.

## Piśmiennictwo

- ACMA, 2015, Australians get mobile: Using mobile devices for voice, messaging and internet access, Raport, Australian Communications and Media Authority (<http://www.acma.gov.au/theACMA/engage-blogs/engage-blogs/Research-snapshots/Australians-get-mobile>; dostęp: 1.08.2017)
- Anable J., 2005, 'Complacent car addicts' or 'aspiring environmentalists'? Identifying travel behaviour segments using attitude theory, *Transport Policy*, 12(1), s. 65-78.
- Android w Polsce, 2015, Raport, SW Research, WhallaLabs, Warszawa.
- Axhausen K. W., Zimmermann A., Schönfelder S., Rindsfüser G., Haupt T., 2002, Observing the rhythms of daily life: A six-week travel diary, *Transportation*, 29(2), s. 95-124.
- Azam M. A., Loo J., Khan S. K. A., Adeel M., Ejaz W., 2012, Human behaviour analysis using data collected from mobile devices, *International Journal on Advances in Life Sciences*, 4(1&2), s. 1-10.
- Bauer M., Klimontowska N., 2010, Wykorzystanie techniki GPS w badaniu zachowań pasażerów komunikacji zbiorowej, *Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, Seria: Materiały Konferencyjne*, 94, 153, s. 9-22.
- Boarnet M. G., Sarmiento S., 1998, Can land-use policy really affect travel behaviour? A study of the link between non-work travel and land-use characteristics, *Urban Studies*, 35(7), s. 1155-1169.
- Buliung R. N., Kanaroglou P. S., 2006, Urban Form and Household Activity Travel Behavior, *Growth and Change*, 37(2), s. 172-199.
- Cao X., Mokhtarian P. L., Handy S. L., 2009, Examining the impacts of residential self selection on travel behaviour: a focus on empirical findings, *Transport Reviews*, 29(3), s. 359-395.
- Centellegher S., De Nadai M., Caraviello M., Leonardi C., Vescovi M., Ramadian Y., Oliver N., Pianesi L., Pentland A., Antonelli F., Lepri B., 2016, The Mobile Territorial Lab: a multilayered and dynamic view on parents' daily lives, *EPJ Data Science*, 5(1).
- Chen C., Bian L., Ma J., 2014, From traces to trajectories: How well can we guess activity locations from mobile phone traces?, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 46, s. 326-337.
- Clifton K. J., Handy S. L., 2003, Qualitative methods in travel behaviour research, [w:] P. Jones, P. R. Stopher (red.), *Transport survey quality and innovation*, Emerald, Bingley, s. 283-302.
- Çolak S., Alexander L. P., Alvim B. G., Mehndiratta S. R., González M. C., 2015, Analyzing cell phone location data for urban travel: current methods, limitations, and opportunities, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2526, s. 126-135.
- Cortés C. E., Gibson J., Gschwender A., Munizaga M., Zúñiga M., 2011, Commercial bus speed diagnosis based on GPS-monitored data, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(4), s. 695-707.
- Cottrill C., Pereira F., Zhao F., Dias I., Lim H., Ben-Akiva M., Zegras P., 2013, Future mobility survey: Experience in developing a smartphone-based travel survey in Singapore, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2354, s. 59-67.
- Cui Y., Chipchase J., Ichikawa F., 2007, A Cross Culture Study on Phone Carrying and Physical Personalization, [w:] N. Aykin (red.), *Usability and Internationalization*, Springer, Berlin-Heidelberg, s. 483-492.
- Duncan M. J., Mummery W. K., 2007, GIS or GPS? A comparison of two methods for assessing route taken during active transport, *American Journal of Preventive Medicine*, 33, s. 51-53.
- Ewing R., Cervero R., 2001, Travel and the built environment: a synthesis, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1780, s. 87-114.
- Fox M., 1995, Transport planning and the human activity approach, *Journal of Transport Geography*, 3(2), s. 105-116.
- Gadziński, J., 2010, Ocena dostępności komunikacyjnej przestrzeni miejskiej na przykładzie Poznania, *Bogucki Wydawnictwo Naukowe*, Poznań.
- Gadziński J., 2016, Wpływ dostępności transportu publicznego na zachowania transportowe mieszkańców – przykład aglomeracji poznańskiej, *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*, 19, 1, s. 31-42.
- Geurs K. T., Thomas T., Bijlsma M., Douhou S., 2015, Automatic trip and mode detection with Move Smarter: First results from the Dutch Mobile Mobility Panel, *Transportation Research Procedia*, 11, s. 247-262.
- Geurs K. T., Van Wee B., 2004, Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions, *Journal of Transport Geography*, 12(2), s. 127-140.
- Gong H., Chen C., Bialostozky E., Lawson C. T., 2012, A GPS/GIS method for travel mode detection in New York City, *Computers, Environment and Urban Systems*, 36(2), s. 131-139.
- Gong L., Morikawa T., Yamamoto T., Sato H., 2014, Deriving personal trip data from GPS data: a literature review on the existing methodologies, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 138, s. 557-565.

- Gould J., 2013, Cell Phone Enabled Travel Surveys: The Medium Moves the Message, [w:] J. Zmud, M. E. H. Lee-Gosselin, M. A. Munizaga, J. A. Carrasco (red.), *Transport Survey Methods: Best Practice for Decision Making*, Emerald, Bingley, s. 51-70.
- Greaves S.P., Fifer S., Ellison R., Germanos G., 2010, Development of a GPS/Web-based Prompted-Recall Solution for Longitudinal Travel Surveys, *Proceedings of the 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington DC.
- Gu B., Yoon A. S., Bae D. H., Jo I., Lee J., Yoon J., Kang J., Kwon M., Yoon Ch., Cho S., Jeong J., Chang D., 2016, Biscuit: A framework for near-data processing of big data workloads, *Proceedings of Computer Architecture (ISCA), 2016 ACM/IEEE 43rd Annual International Symposium*, IEEE, Seul, s. 153-165.
- Hägerstrand T., 1970, What about People in Regional Science?, *Regional Science Association Papers*, XXIV, s. 7-21.
- Hunter T., Herring R., Abbeel P., Bayen A., 2009, Path and travel time inference from GPS probe vehicle data. *Proceedings of the International Workshop on Analyzing Networks and Learning with Graphs*, Vancouver.
- Jacobs A., 2009, The pathologies of big data, *Communications of the ACM*, 52(8), s. 36-44.
- Jariyasunant J., Abou-Zeid M., Carrel A., Ekambaram V., Gaker D., Sengupta R., Walker J. L., 2015, Quantified traveler: Travel feedback meets the cloud to change behaviour, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 19(2), s. 109-124.
- Jariyasunant J., Carrel A., Ekambaram V., Gaker D. J., Kote T., Sengupta R., Walker J. L., 2011, *The Quantified Traveler: Using personal travel data to promote sustainable transport behaviour*, University of California Transportation Center, Berkeley.
- Järv O., Ahas R., Witlox F., 2014, Understanding monthly variability in human activity spaces: A twelve-month study using mobile phone call detail records, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, s. 122-135.
- Jones P. M., Dix M. C., Clarke M. I., Heggie I. G., 1983, *Understanding travel behaviour*, Gower Publishing, Brookfield.
- Kmieć B., Mokrzyński M., 2010, GPS jako narzędzie monitorowania podróży w miastach, *Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie*, 94, 153, s. 128-146.
- Lane N. D., Miluzzo E., Lu H., Peebles D., Choudhury T., Campbell A. T., 2010, A survey of mobile phone sensing, *IEEE Communications Magazine*, 48(9), s. 140-150.
- Li Z. J., Shalaby A. S., 2008, Web-based GIS system for prompted recall of GPS-assisted personal travel surveys: System development and experimental study. *Transportation Research Board 87th Annual Meeting*, Washington, D.C.
- McLafferty S. L., 2003, *Conducting questionnaire surveys*, [w:] N. Clifford, G. Valentine (red.), *Key methods in geography*, Sage, Londyn, s. 87-100.
- Montini L., Rieser-Schüssler N., Horni A., Axhausen K. W., 2014, Trip purpose identification from GPS tracks, *Transportation Research Record*, 2405, s. 16-23.
- Montini L., Prost S., Schrammel J., Rieser-Schüssler N., Axhausen K. W., 2015, Comparison of travel diaries generated from smartphone data and dedicated GPS devices, *Transportation Research Procedia*, 11, s. 227-241.
- Nitsche P., Widhalm P., Breuss S., Brändle N., Maurer P., 2014, Supporting large-scale travel surveys with smartphones – A practical approach, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 43, s. 212-221.
- Nour A., Hellinga B., Casello J., 2016, Classification of automobile and transit trips from Smartphone data: Enhancing accuracy using spatial statistics and GIS, *Journal of Transport Geography*, 51, s. 36-44.
- Nurlaela S., Curtis C., 2012, Modeling household residential location choice and travel behavior and its relationship with public transport accessibility, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 54, s. 56-64.
- Ohmori N., Nakazato M., Harata N., 2005, GPS mobile phone-based activity diary survey. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, s. 1104-1115.
- Pearson D., 2001, *Global Positioning System (GPS) and travel surveys: Results from the 1997 Austin household survey*. Eighth Conference on the Application of Transportation Planning Methods, Corpus Christi, Texas.
- Pew Research Center, 2015, *The Smartphone Difference*. Raport Pew Research Center, (<http://www.pewinternet.org/2015/04/01/us-smartphone-use-in-2015/>; dostęp: 1.08.2017)
- Picornell M., Ruiz T., Lenormand M., Ramasco J. J., Dubernet T., Frías-Martínez E., 2015, Exploring the potential of phone call data to characterize the relationship between social network and travel behaviour, *Transportation*, 42(4), s. 647-668.
- Radziński A., Gadziński J., 2016, Jak transport publiczny wpływa na kształtowanie się rynku nieruchomości? Przykład Poznańskiego Szybkiego Tramwaju, *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*, 19, 3, s. 34-45.
- Rakower R., Łabędzki J., Gadziński J., 2011, Konkurencyjność ruchu rowerowego w przestrzeni miejskiej, *Transport Miejski i Regionalny*, 2, s. 31-38.
- Scheiner J., 2006, Housing mobility and travel behaviour: A process-oriented approach to spatial mobility: Evidence from a new research field in Germany, *Journal of Transport Geography*, 14(4), s. 287-298.
- Shen L., Stopher P. R., 2014, Review of GPS travel survey and GPS data-processing methods, *Transport Reviews*, 34(3), s. 316-334.
- Sierpiński G., Celiński I., 2011, Koncepcja użycia technologii sieci GSM do identyfikacji przemieszczeń w miastach, *Logistyka*, 6.
- Simma A., Axhausen K. W., 2003, Interactions between travel behaviour, accessibility and personal character-

- istics: The case of the Upper Austria Region. Eidgenössische Technische Hochschule, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, Zurich.
- Smoreda Z., Olteanu-Raimond A. M., Couronné T., 2013, Spatiotemporal data from mobile phones for personal mobility assessment, [w:] J. Zmud, M. Lee-Gosselin, M. Munizaga, J. A. Carrasco (red.), Transport survey methods: best practice for decision making. Emerald, Bingley, s. 745-768.
- Stopher P., FitzGerald C., Zhang J., 2008, Search for a global positioning system device to measure person travel, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 16, s. 350-369.
- Tantiyanugulchai S., Bertini R. L., 2003, Analysis of a transit bus as a probe vehicle for arterial performance measurement. ITE Annual Meeting and Exhibit, Seattle, WA.
- TNS, 2015, Polska.jest.mobi, Raport, TNS Polska, Warszawa.
- Van Acker V., Van Wee B., Witlox F., 2010, When transport geography meets social psychology: toward a conceptual model of travel behaviour, Transport Reviews, 30(2), s. 219-240.
- Vlassenroot S., Gillis D., Bellens R., Gautama S., 2015, The use of smartphone applications in the collection of travel behaviour data, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, 13(1), s. 17-27.
- Wagner D. P., 1997, Lexington area travel data collection test: GPS for personal travel surveys, Final Report, Office of Highway Policy Information and Office of Technology Applications, Federal Highway Administration, Battelle Transport Division, Columbus.
- Wang Z., He S. Y., Leung Y., 2017, Applying mobile phone data to travel behaviour research: A literature review, Travel Behaviour and Society, in press.
- Weis C., Frei A., Axhausen K. W., Fell B., Haupt T., 2008, A comparative study of web-and paper-based travel behaviour surveys, Institute of Transportation, Traffic, Highway-and Railway-Engineering, 519, s. 1-19.
- Winters P. L., Barbeau S. J., Georggi N. L., 2008, Smart Phone Application to Influence Travel Behavior (TRAC-IT Phase 3), Report No. 549-35, National Center for Transit Research for Florida Department of Transportation, Tampa.
- Wolf J., 2000, Using GPS data loggers to replace travel diaries in the collection of travel data, Georgia Institute of Technology, School of Civil and Environmental Engineering, Atlanta.
- Wolf J., 2006, Applications of new technologies in travel surveys, [w:] P. Stopher, Ch. Stecher (red.), Travel survey methods: Quality and future directions, Emerald, Bingley, s. 531-544.
- Yue Y., Lan T., Yeh A. G., Li Q. Q., 2014, Zooming into individuals to understand the collective: A review of trajectory-based travel behaviour studies, Travel Behaviour and Society, 1(2), s. 69-78.
- Zhao F., Pereira F. C., Ball R., Kim Y., Han Y., Zegras C., Ben-Akiva M., 2015, Exploratory analysis of a smartphone-based travel survey in Singapore, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2(2494), s. 45-56.
- Zito R., D'este G., Taylor M. A. P., 1995, Global positioning systems in the time domain: How useful a tool for intelligent vehicle-highway systems?, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 3(4), s. 193-209.
- Zito R., Taylor M. A., 1994, The use of GPS in travel-time surveys, Traffic Engineering and Control, 35, s. 685-685.