

Inteligentne systemy parkingowe jako narzędzie wspomagające zarządzanie parkingami miejskimi i rozwój smart city

Sandra Inga Dzieniszewska

Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki

e-mail: 92036@student.pb.edu.pl

Michał Burzyński

Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki

e-mail: 92077@student.pb.edu.pl

Magdalena Topczewska 

Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki

e-mail: m.topczewska@pb.edu.pl

DOI: 10.65731/az-2026-0090

Streszczenie

Celem artykułu jest analiza roli inteligentnych systemów parkingowych (ISP) jako narzędzia wspomagającego zarządzanie parkingami miejskimi i rozwój koncepcji smart city oraz porównanie korzyści i ograniczeń zidentyfikowanych w literaturze z opiniami użytkowników. Zastosowano dwie metody badawcze: przegląd literatury polskiej i międzynarodowej oraz sondaż diagnostyczny przeprowadzony techniką CAWI wśród 105 kierowców i mieszkańców miast, dotyczący rozwiązań opartych na czujnikach Internetu Rzeczy (IoT) i kamerach ze sztuczną inteligencją (AI). Badanie wykazało, że zdecydowana większość respondentów napotyka trudności ze znalezieniem miejsca postojowego i odczuwa z tego powodu stres, a znaczna ich część zrezygnowała kiedyś z wizyty w danej lokalizacji z powodu braku możliwości zaparkowania. Mimo że większość badanych nie zna technologii czujników IoT, wyraźnie popiera rozwiązania informujące o dostępności miejsc i deklaruje, że dostęp do informacji w czasie rzeczywistym skłoniłby ją do częstszego korzystania z parkingów w centrum. Gotowość do ponoszenia dodatkowych opłat jest natomiast ograniczona, a akcepta-

cja kamer AI ma charakter warunkowy – badani oczekują stopniowania sankcji oraz ograniczenia zakresu rejestrowanych danych. Wnioski wskazują, że wartość ISP dla zarządzania miastem tkwi przede wszystkim w funkcji informacyjnej, umożliwiającej lepsze wykorzystanie istniejącej infrastruktury bez konieczności budowy nowych miejsc, a nie wyłącznie w funkcji fiskalnej i kontrolnej eksponowanej w literaturze. Skuteczne wdrożenie wymaga działań edukacyjnych, transparentnych zasad przetwarzania danych oraz stopniowanego modelu egzekwowania przepisów.

Słowa kluczowe

inteligentne systemy parkingowe, zarządzanie parkingami miejskimi, smart city, Internet Rzeczy (IoT), sztuczna inteligencja, mobilność miejska

Wstęp

Współczesne miasta funkcjonują w warunkach postępującej urbanizacji, rosnącej liczby pojazdów oraz kurczących się zasobów przestrzeni, co czyni efektywne gospodarowanie terenem jednym z kluczowych wyzwań zarządzania miejskiego.

Jednym z najbardziej odczuwalnych przejawów tego wyzwania jest problem parkowania w gęsto zabudowanych obszarach śródmiejskich. Zbyt niska liczba miejsc postojowych w tych obszarach prowadzi do takich zjawisk, jak wzrost natężenia ruchu związanego z poszukiwaniem wolnych miejsc, podwyższona emisja spalin i hałasu, parkowanie na terenach do tego nieprzystosowanych oraz spadek komfortu życia mieszkańców [Roj-Rojewski i Porowski, 2025, s. 62].

Zjawisko krążenia w poszukiwaniu miejsca postojowego (ang. *cruising*) bywa odpowiedzialne za znaczną część ruchu w centrach dużych miast, co dodatkowo obciąża i tak już zatłoczoną sieć drogową [Shoup, 2006, s. 480; Parmar i in., 2020, s. 112]. Problem parkowania nie jest zatem wyłącznie kwestią techniczną, lecz przede wszystkim wyzwaniem zarządczym, dotyczącym sposobu, w jaki miasta gospodarują ograniczoną i cenną przestrzeń publiczną.

W odpowiedzi na rosnącą złożoność problemów miejskich coraz większą popularność zyskuje koncepcja inteligentnego miasta (ang. *smart city*), której celem jest obniżenie kosztów funkcjonowania miasta, usprawnienie zarządzania nim oraz poprawa jakości życia mieszkańców [Fahim i in., 2021, s. 1]. Istotnym wymiarem tej koncepcji jest inteligentna mobilność (ang. *smart mobility*), rozumiana jako rozwój zrównoważonego, innowacyjnego i bezpiecznego transportu [Winkowska, 2021, s. 209]. W tym kontekście inteligentne systemy parkingowe (ISP) traktowane są jako jedno z rozwiązań cyfrowych wspierających porządkowanie i optymalizację wykorzystania deficytowych zasobów, jakimi są miejskie miejsca postojowe [Biyik i in.,

2021, s. 624]. Systemy te postrzega się nie tylko jako udogodnienie dla kierowców, lecz również jako narzędzie wspomagające zarządzających parkingami w maksymalizacji wykorzystania dostępnej przestrzeni, obniżaniu kosztów zarządzania oraz zwiększaniu przychodów [Biyik i in., 2021, s. 624; Lin i in., 2017, s. 3229].

Mimo rosnącego zainteresowania tą tematyką, dotychczasowy dorobek naukowy koncentruje się w przeważającej mierze na aspektach technicznych ISP: architekturze, algorytmach i projektowaniu urządzeń, w niewielkim natomiast stopniu odnosi się do zagadnień tworzenia wartości oraz perspektywy zarządczej [Biyik i in., 2021, s. 632; Mangiaracina i in., 2017, s. 28]. Stosunkowo rzadko podejmowana jest także kwestia opinii i oczekiwań samych użytkowników (zwłaszcza w Polsce), mimo że to właśnie stopień akceptacji i faktycznego wykorzystania tych rozwiązań decyduje o realizacji ich potencjalnych korzyści [Peng i in., 2017, s. 26]. Uzasadnia to podjęcie tematu z perspektywy nauk o zarządzaniu oraz skonfrontowania wniosków płynących z literatury z opiniami kierowców.

Celem artykułu jest analiza roli inteligentnych systemów parkingowych jako narzędzia wspomagającego zarządzanie parkingami miejskimi i rozwój inteligentnego miasta, dokonana na podstawie przeglądu literatury polskiej i międzynarodowej, oraz porównanie zidentyfikowanych w niej korzyści i ograniczeń z opiniami użytkowników pozyskanymi w drodze badania ankietowego. W szczególności przedmiotem zainteresowania są systemy wykorzystujące czujniki Internetu Rzeczy (ang. *Internet of Things*, IoT) oraz kamery ze sztuczną inteligencją (ang. *artificial intelligence*, AI), które wskazywane są jako wiodące kierunki rozwoju tej technologii.

W artykule zastosowano dwie metody badawcze. Pierwszą jest przegląd literatury krajowej i zagranicznej, służący usystematyzowaniu dotychczasowego dorobku naukowego, identyfikacji korzyści i ograniczeń ISP. Drugą jest badanie ankietowe przeprowadzone wśród kierowców, którego celem było zebranie ich opinii na temat różnych aspektów inteligentnych systemów parkingowych, w szczególności rozwiązań opartych na czujnikach IoT i kamerach AI. Wyniki obu części zostaną następnie zestawione w sekcji dyskusji, co pozwoli ocenić, w jakim stopniu korzyści i ograniczenia opisywane w literaturze znajdują odzwierciedlenie w oczekiwaniach i doświadczeniach użytkowników.

1. Przegląd literatury

1.1. Inteligentne miasto i mobilność miejska

Punktem wyjścia dla analizy roli inteligentnych systemów parkingowych jest koncepcja inteligentnego miasta, stanowiąca odpowiedź na istotne wyzwania współczesnego zarządzania miastem [Buczaj i Michalak, 2018, s. 7–8]. Mimo rosnącej popularności na całym świecie idea ta nie jest jednoznacznie zdefiniowana. Definicje różnią się w szczegółach, co utrudnia zweryfikowanie poziomu wdrożenia koncepcji [Winkowska, 2021, s. 209]. Opisany jest podział *smart city* na wymiary autorstwa R. Giffingera, wśród których można znaleźć między innymi inteligentną mobilność [Winkowska, 2021, s. 209]. W ujęciu tym inteligentne miasto charakteryzuje się między innymi inteligentnymi sieciami transportowymi [Buczaj i Michalak, 2018, s. 7–8].

Podkreślone jest, że rozwój koncepcji inteligentnego miasta przyspieszył wraz z upowszechnieniem technologii IoT oraz rozwiązań opartych na przetwarzaniu w chmurze [Fahim i in., 2021, s. 1]. Cyfrowe technologie nie są jednak celem samym w sobie, lecz środkiem służącym poprawie atrakcyjności i zrównoważonego rozwoju miasta w wymiarze społecznym, gospodarczym i środowiskowym [Mangiaracina i in., 2017, s. 27].

Nadrzędnym celem inteligentnego miasta pozostaje obniżenie kosztów operacyjnych i usprawnienie zarządzania miastem, przy jednoczesnym systematycznym monitorowaniu i zarządzaniu infrastrukturą, w tym systemami transportowymi [Fahim i in., 2021, s. 1; Szpilko i in., 2023b]. Takie ujęcie sytuuje inteligentne miasto przede wszystkim w polu zainteresowania nauk o zarządzaniu, dla których technologia stanowi instrument realizacji celów organizacyjnych i społecznych, a nie wartość samą w sobie.

Szczególne znaczenie w ramach inteligentnej mobilności ma zrównoważony transport, rozumiany jako transport niskoemisyjny, bezpieczny, komfortowy i ekonomiczny [Szpilko i in., 2023a, s. 35]. Władze inteligentnych miast promują alternatywne środki przemieszczania się oraz zachęcają do korzystania z transportu zbiorowego, jednak mieszkańcy pozostający przy własnym samochodzie wciąż zmagają się z licznymi problemami, wśród których kłopotliwe staje się znalezienie wolnego miejsca postojowego [Dobrzański i in., 2023, s. 48].

Kompleksowe rozwiązanie problemów parkingowych w inteligentnym mieście jest możliwe dzięki integracji kilku systemów, w tym kamer, narzędzi analitycznych oraz aplikacji nawigacyjnych [Dobrzański i in., 2023, s. 48]. W tym duchu wskazuje się za istotne rozważenie przyjęcia strategii zrównoważonej mobilności opierającej

się na sprawdzonych rozwiązaniach, jednocześnie inwestując w edukację i dialog społeczny [Roj-Rojewski i Porowski, 2025, s. 73].

Polityka parkingowa odgrywa istotną rolę w budowaniu dobrze zorganizowanego systemu transportowego miasta, przyczyniając się do optymalnego wykorzystania dostępnych zasobów oraz wspierając cele zrównoważonego transportu: niższą emisję, efektywniejsze wykorzystanie sieci transportowej i lepsze zagospodarowanie przestrzeni miejskiej [Parmar i in., 2020, s. 118]. Zarządzanie parkowaniem postrzegane jest więc jako jeden z ważnych elementów szerszej polityki mobilności miejskiej, a jego skuteczność wpływa na realizację celów inteligentnego miasta.

1.2. Zarządzanie parkingami jako wyzwanie dla miast

Potrzeba świadomego zarządzania parkowaniem przyulicznym została dostrzeżona już dawno; pierwsze parkometry wprowadzono w Oklahoma City w latach 30. XX wieku, aby ułatwić klientom obszarów handlowych znalezienie miejsca, a już w latach 50. rekomendowano utrzymywanie stopnia zajętości krawężnika na poziomie nie przekraczającym 85–90% w celu ograniczenia krążenia w poszukiwaniu miejsca [Millard-Ball i in., 2014, s. 77].

Współcześnie problem ten uległ nasileniu wraz ze wzrostem liczby pojazdów. Krążenie kierowców szukających wolnego miejsca generuje nadmiarowy ruch, zatory, zanieczyszczenie powietrza oraz emisję gazów cieplarnianych; szacuje się, że nawet 30–50% ruchu na niektórych ulicach w centrach miast może stanowić ruch związany z poszukiwaniem miejsca postojowego [Millard-Ball i in., 2014, s. 76; Parmar i in., 2020, s. 112]. Nawet niewielki czas poszukiwania miejsca. rzędu kilku minut na pojazd, przy dużej rotacji przekłada się na zaskakująco duży, kumulujący się w skali roku ruch, dodatkowo obciążający i tak już zatłoczoną sieć [Shoup, 2006, s. 480]. Skala zjawiska bywa przy tym silnie zróżnicowana: udział ruchu związanego z krążeniem szacowano w różnych badaniach na od kilku do kilkudziesięciu procent, a średni czas znalezienia miejsca wahał się od kilku do kilkunastu minut, co odzwierciedla zależność tego problemu od lokalizacji i pory dnia [Shoup, 2006, s. 479].

Z perspektywy zarządczej problem parkowania wynika w dużej mierze z niewłaściwej wyceny miejsc przy krawężniku. Zaniżanie ceny parkowania przyulicznego prowadzi do niedoboru miejsc (analogicznie do zaniżania ceny każdego innego dobra) i stanowi formę niegospodarności deficytowym zasobem miejskim, o szerokich konsekwencjach dla transportu, gospodarki i środowiska [Shoup, 2006, s. 480]. Pozornie bezpłatne parkowanie przy krawężniku w rzeczywistości nie jest dar-

mowe: jego koszt ponoszony jest w postaci czasu i paliwa zużywanych na poszukiwanie miejsca, a dodatkowo miasto traci przychody, które uzyskałoby, pobierając opłatę [Shoup, 2006, s. 482].

Podniesienie opłaty za parkowanie przyuliczne obniża natomiast koszt czasu i paliwa ponoszony przez kierowców w takim samym stopniu, w jakim zwiększa ich wydatki pieniężne, tym samym przekształcając prywatne marnotrawstwo w publiczny dochód, a kierowcę kosztuje to tyle samo [Shoup, 2006, s. 482]. Istotą skutecznego zarządzania jest tu elastyczne dostosowywanie ceny do popytu tak, aby utrzymać niewielką rezerwę wolnych miejsc – takie „właściwe” ustalanie cen pozwala niemal całkowicie wyeliminować krążenie [Shoup, 2006, s. 484–485].

Nieodpowiednie zarządzanie parkowaniem generuje ponadto koszty pośrednie. Wskazuje się, że kombinacja opłat parkingowych, czasu krążenia i czasu dojścia pieszo (koszty ponoszone poza pojazdem) jest dla użytkowników istotniejsza niż koszty związane z samą jazdą, takie jak zużycie paliwa czy czas przejazdu [Parmar i in., 2020, s. 120]. Brak wystarczającej liczby miejsc poza jezdnią w często uczęszczanych obszarach miast, zwłaszcza w centralnych dzielnicach biznesowych, zwiększa popyt na parkowanie przyuliczne i nasila krążenie [Parmar i in., 2020, s. 112].

Nielegalne parkowanie, którego skala rośnie wraz z liczbą pojazdów, prowadzi z kolei do obniżenia prędkości i przepustowości ruchu, opóźnień, zatorów, utraty przychodów z legalnych parkingów oraz wzrostu liczby wypadków [Parmar i in., 2020, s. 113]. Co istotne, badania pokazują, że problem nie zawsze wynika z rzeczywistego braku miejsc – połączenie cen, niewygody, utrudnionego dostępu i braku informacji naprowadzającej skłania kierowców do parkowania przy krawężniku lub nielegalnie, podczas gdy miejsca poza jezdnią pozostają niewykorzystane [Parmar i in., 2020, s. 118–119].

Wynika z tego, że wyzwaniem zarządczym jest nie tylko liczba miejsc, lecz również sposób ich wykorzystania i jakość informacji dostarczanej kierowcom. Tradycyjne odpowiedzi miast na te problemy, takie jak nakładanie na deweloperów obowiązku zapewnienia miejsc poza jezdnią czy budowa parkingów komunalnych, sprawdzały się w obszarach o niskiej gęstości zabudowy, lecz w zwartych centrach konkurencja o miejsca przy krawężniku utrzymuje się, często współwystępując z nadmiarem niewykorzystanych miejsc poza jezdnią [Millard-Ball i in., 2014, s. 76].

Proponowane są w związku z tym różnicowanie cen, wyższe stawki za parkowanie przyuliczne niż poza jezdnią oraz struktura opłat zależna od czasu postoju, a także rozwój systemów zarządzania i informacji naprowadzającej, skracających czas poszukiwania miejsca [Parmar i in., 2020, s. 118–119].

Przykładem praktycznego wdrożenia takiego podejścia jest system SFpark uruchomiony w San Francisco, który wykorzystuje inteligentne parkometry zmieniające cenę w zależności od lokalizacji, pory dnia i dnia tygodnia, tak aby na każdym odcinku utrzymać dostępność wolnych miejsc [Millard-Ball i in., 2014, s. 79]. Analizy efektów systemu wskazują na ograniczenie krążenia w poszukiwaniu miejsca o około 50%, przy czym rezultaty te uzyskano mimo równoczesnego łagodzenia limitów czasowych i wzrostu popytu, co czyni je tym bardziej znaczącymi. Zaobserwowano również, że przy utrzymywaniu zajętości poniżej progu bliskiego pełnemu wykorzystaniu krążenie praktycznie zanika [Millard-Ball i in., 2014, s. 91].

Dodatkowym aspektem jest rosnące znaczenie internetu, które sprawia, że konwencjonalne rozwiązania przestają wystarczać, a problem parkowania wymaga ponownego przemyślenia w kategoriach inteligentnego ekosystemu [Lin i in., 2017, s. 3230]. Z uwagi na wzrost liczby ludności miejskiej i zatorów przy jednoczesnym kurczeniu się dostępnych terenów, inteligentne parkowanie staje się zagadnieniem strategicznym – nie tylko badawczym, lecz również o wymiarze ekonomicznym [Lin i in., 2017, s. 3249]. W konsekwencji wskazuje się na potrzebę wprowadzania inteligentnych technologii parkingowych i włączenia ich w inteligentny system zarządzania parkingami, w celu wydajnego i optymalnego wykorzystania zbudowanej infrastruktury [Roj-Rojewski i Porowski, 2025, s. 73].

1.3. Inteligentne systemy parkingowe jako narzędzie zarządzania

Inteligentne systemy parkingowe to rozwiązania automatyzujące poszczególne usługi parkingowe i umożliwiające użytkownikowi samodzielną obsługę całego procesu – od sprawdzenia dostępności miejsca, przez samo parkowanie, po uiszczenie opłaty [Biyik i in., 2021, s. 632]. W odróżnieniu od parkowania tradycyjnego, w którym kierowca samodzielnie poszukuje wolnego miejsca, system inteligentny dostarcza informacji o dostępności miejsc, umożliwia rezerwację i płatność online oraz wspiera nawigację, monitoring i kontrolę dostępu [Alam i in., 2023, s. 119524].

Wynika z tego, że dobrze zaprojektowany system inteligentnego parkowania powinien nie tylko zarządzać wewnętrznymi procesami zachodzącymi w przestrzeniach parkingowych, lecz dodatkowo informować o dostępności i umożliwiać rezerwację, wspierać zaawansowaną nawigację, pobierać opłaty w formie elektronicznej, usprawniać ruch wewnątrz parkingu oraz zapewniać ochronę parkujących pojazdów [Szmidt, 2017, s. 52–53]. Tak rozumiany system stanowi przede wszystkim narzędzie zarządcze, integrujące wiele funkcji wokół celu, jakim jest efektywne gospodarowanie przestrzenią postojową.

Systemy parkingowe można podzielić ze względu na stopień automatyzacji na manualne, półautomatyczne i automatyczne, przy czym różnią się one udziałem człowieka i maszyny w realizacji poszczególnych czynności [Alam i in., 2023, s. 119524].

Z punktu widzenia oferowanych usług wyodrębnia się między innymi systemy naprowadzania i informacji parkingowej, systemy oparte na informacji o transporcie zbiorowym, systemy inteligentnych płatności, systemy e-parkingu oraz systemy w pełni zautomatyzowane [Fahim i in., 2021, s. 17–18; Alam i in., 2023, s. 119525].

Wśród wdrażanych rozwiązań podkreśla się systemy rekomendacji i naprowadzania parkingowego, co potwierdza, że kluczową funkcją ISP jest dostarczanie kierowcy właściwej informacji we właściwym czasie [Alam i in., 2023, s. 119526].

Warunkiem działania inteligentnych systemów parkingowych jest wykorzystanie technologii Internetu Rzeczy, które umożliwiają interesariuszom monitorowanie sytuacji parkingowej w czasie rzeczywistym oraz udostępnianie kierowcom informacji o najbliższych i wolnych miejscach [Biyik i in., 2021, s. 630]. Systemy inteligentne sięgają przy tym po różne technologie i typy czujników – od rozwiązań opartych na bezprzewodowych sieciach czujników i technologiach IoT, przez systemy oparte na komunikacji między pojazdami, po rozwiązania wykorzystujące wizję komputerową i analizę obrazu [Fahim i in., 2021, s. 8–9; Szmidt, 2017, s. 63].

W praktyce najczęściej stosowane są rozwiązania oparte na sieciach czujników i IoT, przy czym istotną rolę odgrywa również wizja komputerowa i przetwarzanie obrazu [Fahim i in., 2021, s. 9]. Wśród czujników szczególne znaczenie zyskuje kamera: mimo pozornie wyższego kosztu wdrożenia obejmuje ona relatywnie duży obszar, umożliwia stały nadzór przestrzeni parkingowej i pełni wiele funkcji jednocześnie, co czyni ją jednym z częściej wykorzystywanych rozwiązań [Fahim i in., 2021, s. 13, 15].

Coraz wyraźniej zaznacza się kierunek rozwoju oparty na sztucznej inteligencji. Systemy zarządzania parkowaniem wykorzystujące wizję komputerową i uczenie maszynowe wskazywane są jako obiecujący obszar rozwoju [Alam i in., 2023, s. 119540]. W odróżnieniu od rozwiązań opartych wyłącznie na czujnikach IoT, które wiążą się z wysokimi kosztami wdrożenia i utrzymania oraz koniecznością instalacji i serwisowania fizycznych urządzeń, systemy oparte na AI wykorzystują istniejącą infrastrukturę kamer i zaawansowane techniki uczenia maszynowego, oferując prostsze i bardziej opłacalne rozwiązanie [Ibrahim i in., 2024, s. 1–2]. Dzięki analizie danych z kamer i czujników systemy AI mogą precyzyjnie wskazywać wolne miejsca, śledzić wjazdy i wyjazdy pojazdów oraz dostarczać kierowcom in-

formacji w czasie rzeczywistym, przy czym najczęściej wykorzystywanymi funkcjami są detekcja miejsc postojowych i rozpoznawanie tablic rejestracyjnych [Ibrahim i in., 2024, s. 2].

Uzupełnieniem tych rozwiązań jest predykcja parkowania, obejmująca prognozowanie zachowań kierowców, popytu na parkowanie oraz dostępności miejsc, która pozwala zarządzającym ruchem i operatorom parkingów podejmować działania regulujące popyt i ograniczające tatory [Ma i in., 2024, s. 701, 708].

Niezależnie od zastosowanej technologii, najważniejszym celem inteligentnych systemów parkingowych jest zarządzanie. Wraz z upowszechnieniem modelu *smart city* rozwiązania te mają porządkować funkcjonowanie parkingów oraz optymalizować wykorzystanie deficytowych zasobów, takich jak paliwo, czas i przestrzeń [Biyik i in., 2021, s. 624; Szpilko i in., 2019].

Oczekuje się, że ISP pomogą zarządzającym miastem ograniczyć ruch i obniżyć koszty zarządzania parkowaniem, a operatorom i właścicielom obiektów – zmaksymalizować wykorzystanie dostępnych miejsc i zasobów w sposób zwiększający przychody przy jednoczesnej poprawie doświadczeń klientów. Systemy te umożliwiają ponadto identyfikację przypadków nielegalnego lub niewłaściwego parkowania oraz wyznaczanie okresów szczytowego nasilenia wykroczeń, co ułatwia wdrażanie odpowiednich środków zaradczych [Biyik i in., 2021, s. 624].

W ujęciu zarządczym inteligentne parkowanie zarządza zasobami miasta w czasie rzeczywistym i udostępnia je kierowcom lokalnie, obejmując zarówno parkowanie przy jezdni, jak i poza nią, płatności elektroniczne oraz integrację istniejących i przyszłych platform, co pozwoliło uznać je za jeden z wiodących paradygmatów inteligentnego miasta [Lin i in., 2017, s. 3249].

1.4. Korzyści i ograniczenia inteligentnych systemów parkingowych

Korzyści

Wdrażając ISP uzyskuje się szeroki katalog korzyści, przy czym z perspektywy zarządczej można je pogrupować w trzy zasadnicze obszary: ekonomiczny, środowiskowy oraz związany z jakością zarządzania i obsługi.

W wymiarze ekonomicznym systemy te pozwalają skrócić czas poszukiwania miejsca, co przekłada się na niższe zużycie paliwa i mniejsze koszty ponoszone przez kierowców, a jednocześnie zwiększa przychody miasta oraz wpływy z parkowania dzięki krótszemu czasowi niewykorzystania miejsc.

Instalacja czujników w miejscach, w których dochodzi do nielegalnego parkowania, umożliwia jego wykrywanie i egzekwowanie opłat, a poprawa płynności ruchu zwiększa mobilność miejską i przepustowość miasta, sprzyjając rozwojowi aktywności gospodarczej [Lin i in., 2017, s. 3229].

Analiza symulacyjna przeprowadzona przez [Mangiaracina i in., 2017, s. 32] pokazała, że wdrożenie inteligentnych systemów transportowych wspierających zarządzanie parkowaniem może istotnie skrócić czas poszukiwania miejsca, a operatorom parkingów pozwolić na zwrot początkowej inwestycji w okresie nie dłuższym niż dwa lata.

Ciekawym przykładem jest badanie przeprowadzone dla belgijskiego miasta Gandawa, w którym wykazano, że w przypadku wdrożenia inteligentnego parkowania przychody miasta z opłat i mandatów byłyby dziesięciokrotnie wyższe niż koszt wdrożenia systemu [Faraji i Nozar, 2019, s. 54–55]. Inteligentne parkowanie może stać się dla zarządzania miejskiego źródłem trwałego dochodu [Faraji i Nozar, 2019, s. 62].

W wymiarze środowiskowym ograniczenie krążenia w poszukiwaniu miejsca prowadzi do zmniejszenia zatorów, a w konsekwencji do redukcji zanieczyszczenia powietrza i związanych z nim zagrożeń dla zdrowia [Fahim i in., 2021, s. 2]. Wbudowanie technologii IoT w infrastrukturę parkingową, obejmujące śledzenie zajętości w czasie rzeczywistym, dynamiczne naprowadzanie oraz analitykę predykcyjną, pozwala zwiększyć efektywność operacyjną, obniżyć emisję i poprawić doświadczenia użytkowników [Mutambik, 2025, s. 2].

Wyniki symulacji dla rozwiązań opartych na naziemnych czujnikach IoT wskazują na istotne usprawnienia względem strategii konwencjonalnych: skrócenie średniego czasu poszukiwania miejsca, ograniczenie zatorów w strefach parkingowych oraz redukcję emisji dwutlenku węgla pochodzącej z krążących pojazdów, przy jednoczesnej poprawie satysfakcji użytkowników [Mutambik, 2025, s. 20].

Do korzyści środowiskowych i przestrzennych zalicza się również możliwość wykorzystania danych generowanych przez systemy parkingowe w planowaniu zrównoważonego rozwoju miasta, na przykład przy projektowaniu ścieżek rowerowych, stref pieszych i efektywnych tras transportu publicznego [Channamallu i in., 2026, s. 2].

W wymiarze zarządczym systemy te dostarczają pełnej i dokładnej informacji o liczbie pojazdów, podnoszą poziom bezpieczeństwa, ograniczają liczbę zaangażowanego personelu i umożliwiają bardziej kompleksowe zarządzanie parkingiem [Faraji i Nozar, 2019, s. 57–58].

W badaniu opartym na opiniach ekspertów wśród mocnych stron inteligentnych parkingów wskazano między innymi zwiększenie dochodów samorządów, ograniczenie kosztów kontroli i nadzoru wykonywanych przez człowieka oraz redukcję błędów ludzkich w zarządzaniu parkowaniem, podniesienie jakości życia mieszkańców, a także wzrost zdolności zarządzania miejskiego w obszarze gospodarowania parkingami [Faraji i Nozar, 2019, s. 62].

Podobne wnioski płyną z analizy [Tomaszewska, 2022, s. 345–346] dotyczącej szerzej rozumianych inteligentnych systemów transportowych, wśród których jako korzyści wymienione są między innymi usprawnienie zarządzania ruchem, efektywniejsze wykorzystanie istniejącej infrastruktury, wykorzystanie płatności elektronicznych, poprawę bezpieczeństwa oraz podniesienie jakości i standardu życia w mieście. W badaniach jakościowych uczestnicy wskazywali z kolei na takie efekty jak zmniejszenie liczby samochodów w ścisłych centrach, redukcja emisji, ograniczenie kongestii oraz rozwój elektronicznych płatności i biletów [Tomaszewska, 2022, s. 348].

Zestawienie korzyści zaczerpniętych z różnych źródeł prowadzi do wniosku, że najczęściej wskazywane efekty ISP obejmują optymalizację wykorzystania miejsc i wsparcie podejmowania decyzji opartego na danych, poprawę jakości systemów transportowych przez ograniczenie ruchu, redukcję negatywnego wpływu na środowisko, poprawę doświadczeń użytkowników oraz stymulowanie rozwoju gospodarczego [Raj i Shetty, 2024, s. 2674].

Ograniczenia

Wdrożeniu inteligentnych systemów parkingowych towarzyszą jednak istotne ograniczenia, które z perspektywy zarządczej można podzielić na bariery technologiczne, ekonomiczno-infrastrukturalne, organizacyjne oraz związane z prywatnością i akceptacją użytkowników.

Obszar prywatności i bezpieczeństwa danych wskazany jest jako jedno z najważniejszych wyzwań. Ochrona prywatności, kontrola dostępu do sieci IoT oraz zaufanie użytkowników należą do problemów, z którymi muszą mierzyć się zwolennicy inteligentnego miasta, przy czym różnorodność sprzętu i protokołów utrudnia stosowanie tradycyjnych zabezpieczeń [Biyik i in., 2021, s. 630].

W przypadku rozwiązań opartych na kamerach, zwłaszcza wykorzystujących rozpoznawanie twarzy do identyfikacji kierowcy, kwestie te nabierają dodatkowego znaczenia w świetle rosnących wymogów regulacyjnych, takich jak Ogólne rozporządzenie o ochronie danych (RODO) obowiązujące w krajach Unii Europejskiej,

które nakłada ściśle ograniczenia na gromadzenie i przetwarzanie danych osobowych [<https://uodo.gov.pl/pl/404/224>, 14.07.2026; Ibrahim i in., 2024, s. 16–17]. Zapewnienie zgodności tych systemów z przepisami przy jednoczesnym utrzymaniu ich niezawodności pozostaje zatem trwałym wyzwaniem, obok takich ograniczeń jak adaptacja do warunków środowiskowych i efektywność przetwarzania [Ibrahim i in., 2024, s. 14].

W obszarze technicznym i infrastrukturalnym wskazuje się, że mimo postępu technologicznego istniejące systemy oparte na IoT wciąż borykają się z opóźnieniami w przesyłaniu danych, problemami interoperacyjności sieci, niedokładnością czujników oraz ograniczeniami skalowalności w środowiskach o dużym zagęszczeniu [Mutambik, 2025, s. 2].

W badaniu eksperckim z [Faraji i Nozar, 2019, s. 63] wśród słabych stron inteligentnych parkingów wymieniono między innymi wysoki koszt infrastruktury i jej niedostatek, niedobór odpowiedniego oprogramowania, a także ograniczoną odporność czujników na warunki atmosferyczne i ryzyko błędnych odczytów wprowadzających w błąd użytkowników. Podkreśla się również wysoki koszt niektórych czujników i sieci, w tym kamer stosowanych w zarządzaniu parkowaniem [Faraji i Nozar, 2019, s. 63].

Wśród wyzwań technicznych zwraca się uwagę na trudność zapewnienia użytkownikom stale aktualnej i dokładnej informacji, ponieważ opóźnienia lub niedokładności mogą kierować ich w niewłaściwe miejsca, potęgując chaos na drogach. Zwraca się też uwagę na złożoność integracji urządzeń pochodzących od wielu dostawców w ramach jednej platformy [Raj i Shetty, 2024, s. 2689].

W obszarze organizacyjnym i finansowym zauważa się, że upowszechnienie i akceptacja ISP wymagają zmiany kulturowej, która wymaga czasu, a wdrożenie infrastruktury wiąże się ze znacznym zaangażowaniem kapitałowym, zniechęcającym część podmiotów do jej realizacji [Raj i Shetty, 2024, s. 2689–2690].

Istotne znaczenie mają również uwarunkowania wewnątrz administracji publicznej: projekty inteligentnego parkowania są zwykle inicjowane i zarządzane przez jednostki samorządowe, a wyzwania organizacyjne i menedżerskie, takie jak opór pracowników wobec zmian, sprzeczne cele czy słabe zarządzanie projektem, mogą prowadzić do niepowodzenia przedsięwzięć [Peng i in., 2017, s. 4–5].

O powodzeniu wdrożenia w decydującym stopniu przesądza akceptacja i faktyczne wykorzystanie systemu przez użytkowników. Decyzje o wyborze, wdrożeniu i uruchomieniu usług inteligentnego miasta powinny być podejmowane z uwzględnieniem rzeczywistych potrzeb mieszkańców jako końcowych odbiorców, a czynniki takie jak umiejętności cyfrowe, świadomość, akceptacja społeczna i dostępność

wpływają na faktyczne wykorzystanie tych rozwiązań [Peng i in., 2017, s. 4–5; Remiszewska i in., 2024].

Badania nad determinantami adoptowania ISP wskazują, że wśród czynników psychologicznych najsilniej oddziałuje wpływ społeczny [Zhang i in., 2023, s. 13–14]. Autorzy podkreślają jednak, że mimo iż postrzegana prywatność okazała się czynnikiem najmniej istotnym, jej rola nie może być pomijana w obliczu rosnącego znaczenia bezpieczeństwa danych osobowych, co uwypukla konieczność stosowania przez operatorów rygorystycznych środków ochrony budujących zaufanie. Podkreśla się także znaczenie różnic demograficznych i potrzebę projektowania strategii dostosowanych do zróżnicowanych grup użytkowników [Zhang i in., 2023, s. 13–14].

Dbłość o użyteczność, ochronę danych oraz niezawodność usługi w godzinach szczytu wskazuje się jako warunek budowania zaangażowania i zaufania oraz zapewnienia trwałej wartości rozwiązań do zarządzania parkowaniem jako narzędzi zorientowanych na użytkownika [Channamallu i in., 2025, s. 220].

1.5. Luka badawcza

Przeprowadzony przegląd literatury pozwala stwierdzić, że problematyka inteligentnych systemów parkingowych jest przedmiotem rosnącego zainteresowania badawczego, jednak dotychczasowy dorobek naukowy cechuje wyraźna nierównowaga tematyczna. Znacząca część opracowań koncentruje się niemal wyłącznie na aspektach technicznych, takich jak architektura systemów, algorytmy operacyjne, modele czy projekty prototypowe, w niewielkim stopniu odnosząc się do pozostałych wymiarów zagadnienia [Biyik i in., 2021, s. 632].

Analogicznie wskazuje się, że publikacje dotyczące inteligentnych systemów transportowych na potrzeby parkowania miejskiego skupiają się głównie na kwestiach technologicznych, pomijając lub jedynie marginalnie traktując zagadnienie tworzenia wartości, w tym analizy kosztów i korzyści [Mangiaracina i in., 2017, s. 28]. Oznacza to, że perspektywa zarządcza, obejmująca ocenę ISP jako narzędzia wspomagającego zarządzanie parkingami miejskimi oraz rozwój inteligentnego miasta, pozostaje w literaturze słabiej rozpoznana.

Drugim obszarem jest uwzględnienie perspektywy użytkownika. Badania pokazują, że nawet udane technologicznie wdrożenie nie gwarantuje ani wysokiego poziomu zaangażowania mieszkańców, ani pełnej realizacji potencjalnych korzyści usługi.

W przypadku systemu inteligentnego parkowania w Londynie, mimo znaczących nakładów poniesionych przez samorząd, dostarczono zaledwie niewielką część

możliwych korzyści ekonomicznych i środowiskowych, co przypisano brakowi świadomości społecznej, niedostatecznemu wykorzystaniu usługi oraz niskiej satysfakcji użytkowników [Peng i in., 2017, s. 26]. Wskazuje to, że przy dużej uwadze poświęcanej rozwojowi i wdrażaniu technologii istnieje wyraźna potrzeba silniejszego uwzględniania zaangażowania i opinii odbiorców, aby możliwe było urzeczywistnienie obietnic tych rozwiązań [Peng i in., 2017, s. 26]. Zwłaszcza w Polsce, w drodze przeprowadzonego przeglądu literatury, nie znaleziono badań na ten temat w obszarze ISP.

Artykuł wpisuje się w oba wskazane obszary: po pierwsze, analizuje inteligentne systemy parkingowe z perspektywy nauk o zarządzaniu, traktując je jako narzędzie wspomagające zarządzanie parkingami miejskimi i rozwój *smart city*, a nie jedynie jako rozwiązanie techniczne; po drugie, konfrontuje korzyści i ograniczenia zidentyfikowane w literaturze polskiej i międzynarodowej z opiniami użytkowników pozyskanymi w drodze badania ankietowego.

Takie ujęcie pozwala uzupełnić dotychczasowy, zdominowany przez perspektywę techniczną dorobek o wymiar zarządczy oraz o głos samych kierowców, których akceptacja i zaangażowanie w decydującym stopniu przesądza o faktycznej wartości wdrażanych rozwiązań.

2. Metodyka badań

Celem badania było poznanie opinii respondentów na temat różnych aspektów inteligentnych systemów parkingowych, w szczególności rozwiązań opartych na czujnikach IoT i kamerach AI, oraz ich znaczenia dla funkcjonowania nowoczesnego miasta. Szczególną uwagę zwrócono na możliwość skrócenia czasu poszukiwania wolnego miejsca, zmniejszenia stresu kierowców oraz poprawy komfortu korzystania z infrastruktury miejskiej.

Do realizacji badania wykorzystano metodę sondażu diagnostycznego z zastosowaniem techniki CAWI (*Computer-Assisted Web Interview*), czyli ankiety internetowej wypełnianej samodzielnie przez 105 uczestników. Narzędziem badawczym był kwestionariusz przygotowany w aplikacji Google Forms. Zebrane dane zostały zestawione w programie Microsoft Excel.

Badanie skierowano do osób mających doświadczenie z parkowaniem w przestrzeni miejskiej. Uczestnicy różnili się pod względem wieku i wielkości miejsca zamieszkania, co pozwoliło uzyskać bardziej zróżnicowane spojrzenie na analizowany problem.

Kwestionariusz obejmował zagadnienia związane z codziennymi trudnościami przy parkowaniu, poziomem stresu podczas szukania miejsca, znajomością rozwiązań IoT oraz gotowością do korzystania z aplikacji wskazujących dostępne miejsca postojowe. Uwzględniono także kwestie akceptacji dodatkowych opłat, wpływu takich rozwiązań na środowisko, organizację ruchu i bezpieczeństwo.

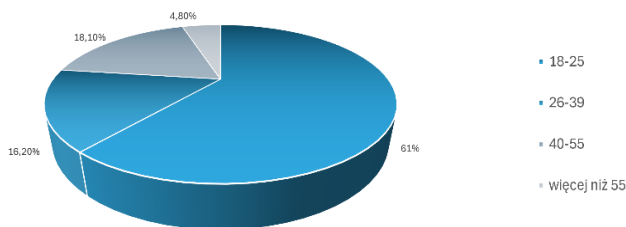
Zakres tematyczny ankiety obejmował:

- doświadczenia z parkowaniem – trudności ze znalezieniem miejsca, rezygnację z wizyty w danej lokalizacji oraz odczuwany stres;
- znajomość technologii IoT – poziom wiedzy respondentów o inteligentnych rozwiązaniach parkingowych;
- preferencje użytkowników – sposób informowania o dostępnych miejscach, gotowość do korzystania z aplikacji oraz akceptację opłat;
- wpływ na funkcjonowanie miasta – ocenę oddziaływania systemów na płynność ruchu, środowisko, bezpieczeństwo i wygodę mieszkańców;
- wykorzystanie kamer AI – opinie dotyczące wykrywania nieprawidłowego parkowania, ochrony miejsc dla osób z niepełnosprawnością oraz monitoring;
- metryczkę – pytania dotyczące wieku i wielkości miejsca zamieszkania.

3. Wyniki badań

3.1. Charakterystyka próby badawczej

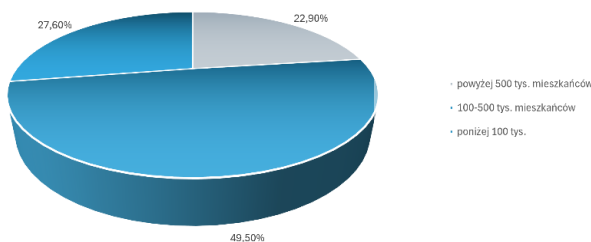
Badanie przeprowadzono wśród osób z różnych przedziałów wiekowych. Jak zaprezentowano na rys. 1, najliczniejszą grupę stanowili respondenci w wieku 18–25 lat, którzy stanowili 61% badanych. Kolejną grupą były osoby w wieku 40–55 lat (18,1%) oraz respondenci w wieku 26–39 lat (16,2%). Najmniej liczną grupę stanowiły osoby powyżej 55. roku życia (4,8%). Łącznie osoby do 39. roku życia stanowiły 77,2% wszystkich ankietowanych, co wskazuje na przewagę młodszych respondentów w badaniu.



Rys. 1. Wiek respondentów

Źródło: opracowanie własne na podstawie badania ankietowego.

Jak przedstawiono na rys. 2, najliczniejszą grupę stanowili respondenci mieszkający w miastach liczących od 100 do 500 tys. mieszkańców – 49,5% badanych. Pozostałe dwie grupy miały zbliżony udział w badaniu. Osoby zamieszkujące miejscowości poniżej 100 tys. mieszkańców stanowiły 27,6%, natomiast respondenci z miast powyżej 500 tys. mieszkańców – 22,9%.



Rys. 2. Miejsce zamieszkania respondentów

Źródło: opracowanie własne na podstawie badania ankietowego.

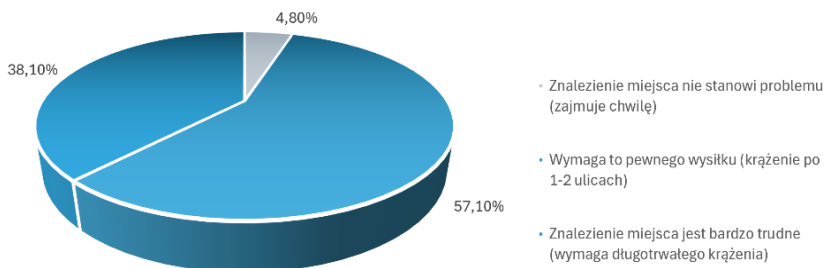
3.2. Doświadczenia kierowców

Kolejna część badania dotyczyła doświadczeń respondentów związanych z parkowaniem w mieście. Pytania obejmowały trudność znalezienia wolnego miejsca, rezygnację z wizyty z powodu braku parkingu oraz poziom stresu podczas poszukiwania miejsca. Analiza tych odpowiedzi pozwala ocenić, jak dużym problemem jest parkowanie dla badanych oraz czy istnieje potrzeba wdrażania inteligentnych systemów parkingowych.

Pierwsze pytanie z tej części odnosiło się do trudności związanych ze znalezieniem miejsca parkingowego, których rozkład przedstawiono na rys. 3. Większość

respondentów, czyli 57,1%, wskazała, że znalezienie miejsca wymaga pewnego wysiłku, najczęściej krążenia po jednej lub dwóch ulicach. Dla 38,1% badanych jest to bardzo trudne i wiąże się z długotrwałym poszukiwaniem. Jedynie 4,8% ankietowanych uznało, że znalezienie miejsca parkingowego nie stanowi problemu i zajmuje tylko chwilę.

Wynik ten pokazuje, że parkowanie w mieście jest dla większości badanych czynnością wymagającą wysiłku, a nie prostym elementem podróży. Może to tłumaczyć pozytywne nastawienie respondentów do rozwiązań, które ograniczają niepewność i pozwalają szybciej znaleźć wolne miejsce.

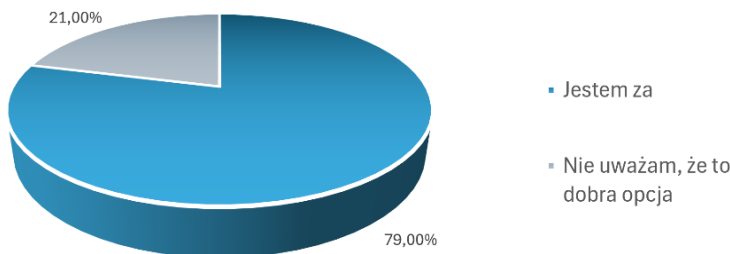


Rys. 3. Trudność znalezienia miejsca parkingowego przez respondentów

Źródło: opracowanie własne na podstawie badania ankietowego.

Na rys. 4 zaprezentowano wpływ trudności z parkowaniem na decyzję o rezygnacji z wizyty w danym miejscu. Zdecydowana większość badanych, bo 69,5%, zadeklarowała, że brak możliwości zaparkowania skłonił ich kiedyś do takiej rezygnacji, natomiast 30,5% nie miało podobnych doświadczeń.

Wyniki wskazują, że problem dostępności miejsc parkingowych może wpływać nie tylko na komfort kierowców, ale także na ich decyzje zakupowe i organizację codziennych spraw. Może to wynikać z chęci uniknięcia straty czasu, stresu oraz frustracji.

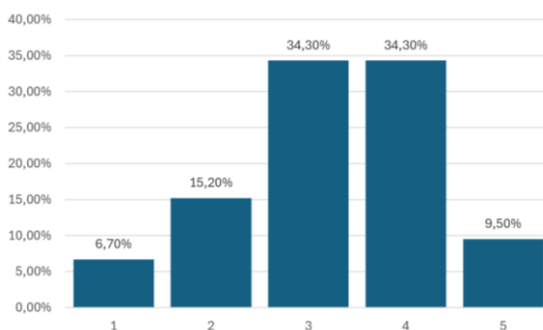


Rys. 4. Rezygnacja z wizyty w danym miejscu z powodu braku możliwości zaparkowania

Źródło: opracowanie własne na podstawie badania ankietowego.

Kolejne pytanie dotyczyło poziomu stresu odczuwanego podczas poszukiwania wolnego miejsca parkingowego, a rozkład odpowiedzi przedstawiono na rys. 5. Najczęściej wybieranymi odpowiedziami były oceny 3 i 4, które wskazało po 34,3% respondentów. Oznacza to, że ponad 2/3 badanych odczuwa stres na poziomie umiarkowanym lub dość wysokim. Najwyższą ocenę, czyli 5, zaznaczyło 9,5% ankietowanych, natomiast niskie wartości 1 i 2 wskazało łącznie 21,9% osób.

Wyniki sugerują, że poszukiwanie miejsca parkingowego może być dla wielu osób sytuacją obciążającą psychicznie. Najczęściej wskazywano poziom umiarkowany lub dość wysoki, co może oznaczać, że kierowcy odczuwają napięcie głównie wtedy, gdy nie mają kontroli nad sytuacją i nie wiedzą, czy znajdą miejsce na czas.



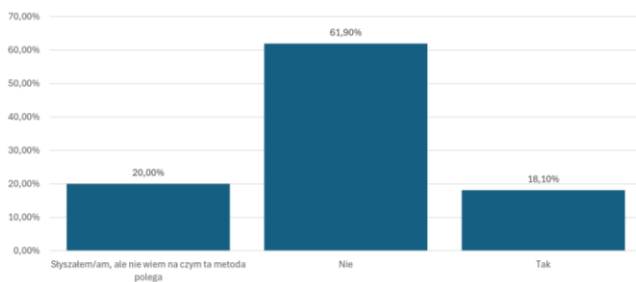
Rys. 5. Poziom stresu respondentów podczas poszukiwania miejsca parkingowego

Źródło: opracowanie własne na podstawie badania ankietowego.

3.3. Technologie i aplikacje

Analizie poddano również poziom znajomości inteligentnych czujników IoT montowanych w nawierzchni miejsc parkingowych, co zaprezentowano na rys. 6. Zdecydowana większość badanych, czyli 61,9%, przyznała, że nie wie, czym są tego typu rozwiązania. Tylko 18,1% respondentów zadeklarowało, że zna tę technologię, natomiast 20% słyszało o niej, ale nie potrafi dokładnie określić, na czym polega jej działanie.

Niska znajomość czujników IoT pokazuje, że respondenci nie zawsze rozpoznają techniczne podstawy inteligentnych systemów parkingowych. Nie oznacza to jednak braku zainteresowania takimi rozwiązaniami. Badani mogą nie znać samej technologii, ale są otwarci na jej praktyczne efekty, jeśli widzą w nich konkretną korzyść.

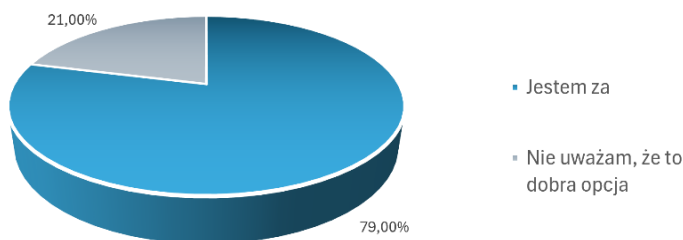


Rys. 6. Znajomość inteligentnych czujników IoT wśród respondentów

Źródło: opracowanie własne na podstawie badania ankietowego.

Opinie respondentów na temat aplikacji pokazującej dostępność miejsc parkingowych w centrum i umożliwiającej ich rezerwację przedstawiono na rys. 7. Zdecydowana większość badanych, czyli 79%, poparła takie rozwiązanie. Przeciwnego zdania było 21% respondentów.

Wysokie poparcie dla aplikacji pokazującej dostępność miejsc wskazuje, że respondenci są skłonni korzystać z nowych technologii, jeśli rozwiązują one realny problem. Można przypuszczać, że najważniejsza jest dla nich wygoda, oszczędność czasu oraz poczucie większej kontroli nad procesem parkowania.

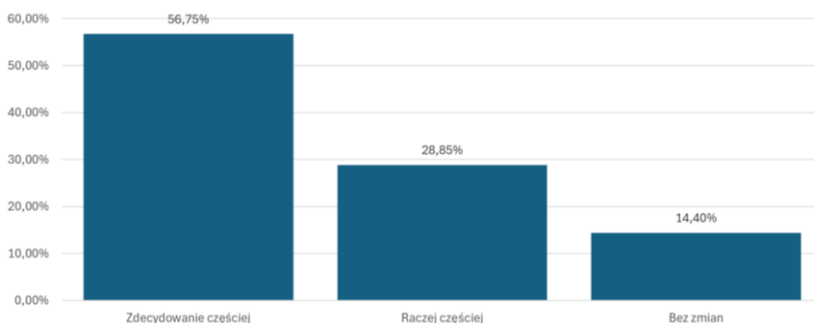


Rys. 7. Opinia respondentów na temat aplikacji do wyszukiwania i rezerwacji miejsc parkingowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie badania ankietowego.

W ramach badania sprawdzono, czy dostęp do podglądu wolnych miejsc parkingowych w czasie rzeczywistym wpłynąłby na częstsze wybieranie parkingów w centrum, co przedstawiono na rys. 8. Największa grupa ankietowanych, czyli 56,7%, zadeklarowała, że zdecydowanie częściej korzystałaby z takiej możliwości. Odpowiedź „raczej częściej” wskazało 28,8% badanych, co oznacza, że łącznie ponad 85% respondentów dostrzega praktyczną wartość takiego rozwiązania. Jedynie 14,4% uczestników badania uznało, że dostęp do informacji o wolnych miejscach nie wpłynąłby na ich decyzje parkingowe.

Taki rozkład odpowiedzi potwierdza, że dostęp do informacji w czasie rzeczywistym może realnie wpływać na decyzje kierowców. Respondenci chętniej wybieraliby parkingi w centrum, gdyby wcześniej wiedzieli, że mają dużą szansę znaleźć wolne miejsce. Oznacza to, że problemem nie jest wyłącznie sama dostępność parkingów, ale również brak pewności i informacji przed przyjazdem.

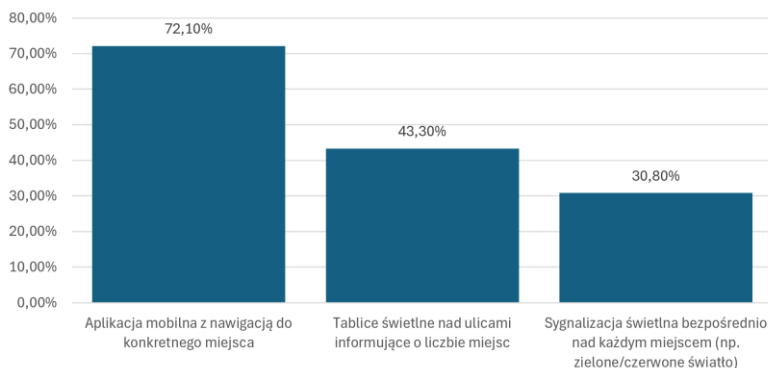


Rys. 8. Wpływ podglądu wolnych miejsc w aplikacji na wybór parkingów w centrum

Źródło: opracowanie własne na podstawie badania ankietowego.

Preferowane przez respondentów formy informowania o wolnych miejscach parkingowych zaprezentowano na rys. 9. Najczęściej wskazywaną odpowiedzią była aplikacja mobilna z nawigacją do konkretnego miejsca – wybrało ją 75 osób, czyli 72,1% badanych. Drugim najpopularniejszym rozwiązaniem były tablice świetlne nad ulicami informujące o liczbie dostępnych miejsc, które wskazało 43,3% respondentów. Najrzadziej wybierano sygnalizację świetlną bezpośrednio nad każdym miejscem parkingowym – 30,8%.

Największe zainteresowanie aplikacją mobilną z nawigacją do konkretnego miejsca wskazuje, że badani preferują rozwiązania szybkie, wygodne i spersonalizowane. Mniej popularne formy, takie jak tablice czy sygnalizacja przy miejscach, mogą być odbierane jako mniej elastyczne, ponieważ nie dają kierowcy informacji jeszcze przed dotarciem na parking.

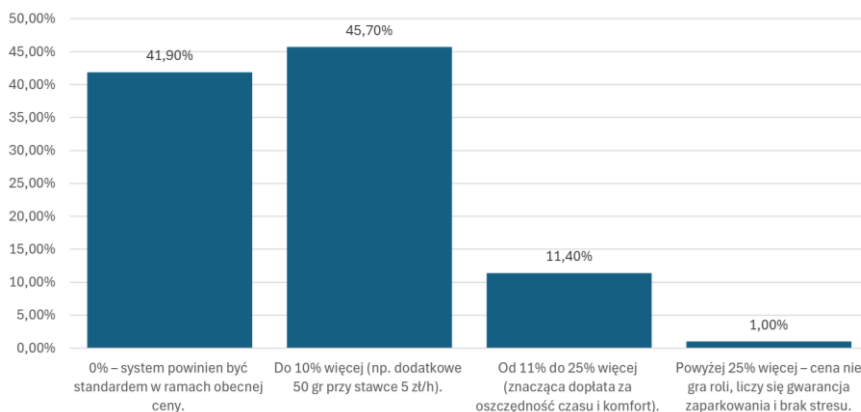


Rys. 9. Preferowane formy informowania o wolnych miejscach parkingowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie badania ankietowego.

Wyniki przedstawione na rys. 10 pokazują, że respondenci dostrzegają wartość systemu IoT, jednak ich gotowość do ponoszenia dodatkowych kosztów jest ograniczona. Największa grupa badanych, czyli 45,7%, zaakceptowałaby dopłatę do 10% więcej, natomiast niewiele mniej, bo 41,9%, uważa, że taki system powinien być standardem w ramach obecnej ceny.

Może to oznaczać, że ankietowani są skłonni zapłacić niewielką kwotę za oszczędność czasu i większy komfort, ale jednocześnie traktują nowoczesne rozwiązania parkingowe jako element usługi, który powinien być zapewniony bez dużych dopłat. Tylko niewielka część badanych zaakceptowałaby wyraźnie wyższą cenę, co wskazuje, że wygoda jest ważna, ale cena nadal pozostaje istotnym czynnikiem decyzyjnym.

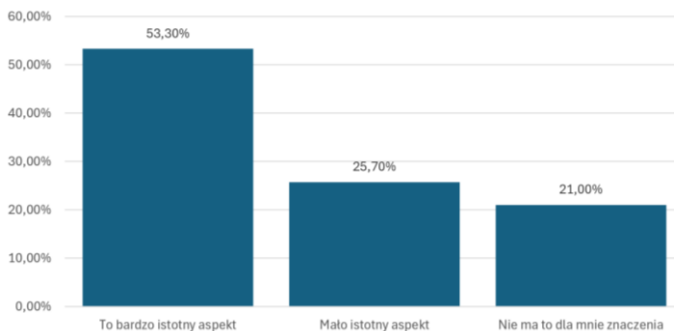


Rys. 10. Gotowość respondentów do poniesienia wyższej opłaty za parking z systemem IoT

Źródło: opracowanie własne na podstawie badania ankietowego.

Na rys. 11 ukazano, że wpływ inteligentnych systemów parkingowych na środowisko został oceniony przez większość badanych pozytywnie. Za bardzo istotny aspekt uznało go 53,3% respondentów, natomiast dla 25,7% miał on mniejsze znaczenie. Z kolei 21% ankietowanych wskazało, że kwestia ograniczenia emisji spalin nie jest dla nich ważna.

Wyniki pokazują, że badani dostrzegają ekologiczny wymiar inteligentnego parkowania, jednak dla części z nich większe znaczenie mogą mieć korzyści bezpośrednie, takie jak oszczędność czasu i wygoda.



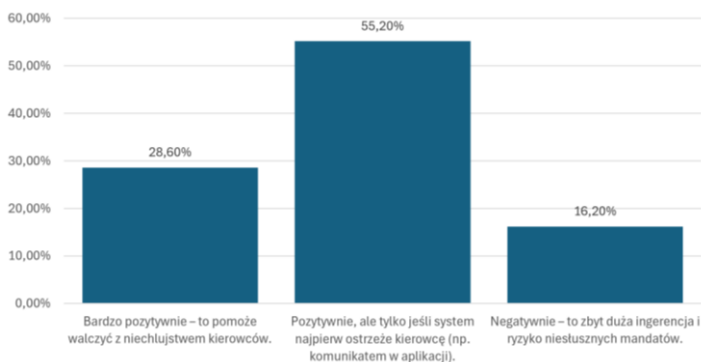
Rys. 11. Ocena wpływu inteligentnych systemów parkingowych na środowisko

Źródło: opracowanie własne na podstawie badania ankietowego.

3.4. Kamery wykorzystujące AI

Ocenę funkcji automatycznego wykrywania pojazdów zajmujących dwa miejsca parkingowe przedstawiono na rys. 12. Największa grupa badanych, czyli 55,2%, oceniła to rozwiązanie pozytywnie, ale pod warunkiem, że system najpierw ostrzeże kierowcę, np. komunikatem w aplikacji. Bardzo pozytywnie funkcję oceniło 28,6% ankietowanych, uznając ją za sposób na walkę z nieprawidłowym parkowaniem.

Negatywną opinię wyraziło 16,2% respondentów, którzy wskazali na ryzyko zbyt dużej ingerencji i niesłuszných mandatów. Wyniki wskazują, że respondenci popierają rozwiązania porządkujące zachowania kierowców, ale niekoniecznie akceptują natychmiastowe karanie. Największe poparcie uzyskała opcja ostrzeżenia, co może oznaczać, że badani oczekują sprawiedliwości, ale także możliwości poprawy błędu przed zastosowaniem sankcji.

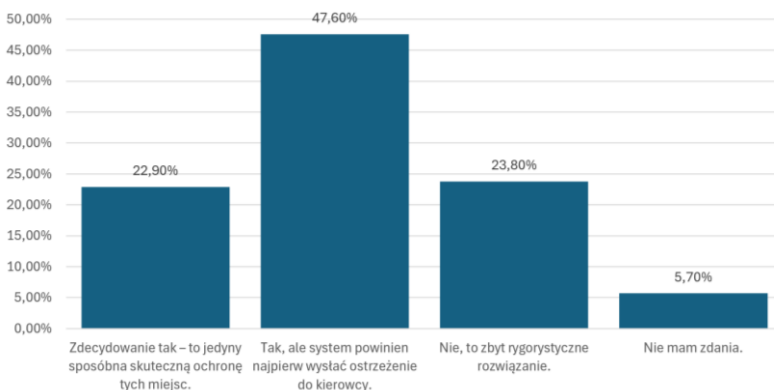


Rys. 12. Ocena funkcji wykrywania pojazdów zajmujących dwa miejsca parkingowe

Źródło: opracowanie własne na podstawie badania ankietowego.

Jak wynika z danych przedstawionych na rys. 13, największa grupa badanych, czyli 47,6%, poparła system IoT automatycznie informujący służby miejskie o nieuprawnionym zajęciu miejsca przeznaczonego dla osób z niepełnosprawnością, ale pod warunkiem wcześniejszego wysłania ostrzeżenia do kierowcy. Zdecydowane poparcie dla natychmiastowego powiadamiania służb wyraziło 22,9% ankietowanych.

Niemal 24% badanych uznało automatyczne powiadamianie służb za zbyt rygorystyczne, mimo że dotyczy ono miejsc wymagających szczególnej ochrony. Może to świadczyć o obawie przed nadmierną kontrolą lub automatycznym karaniem. Jednocześnie większość respondentów popiera ochronę tych miejsc, ale preferuje rozwiązanie etapowe, czyli najpierw ostrzeżenie kierowcy.

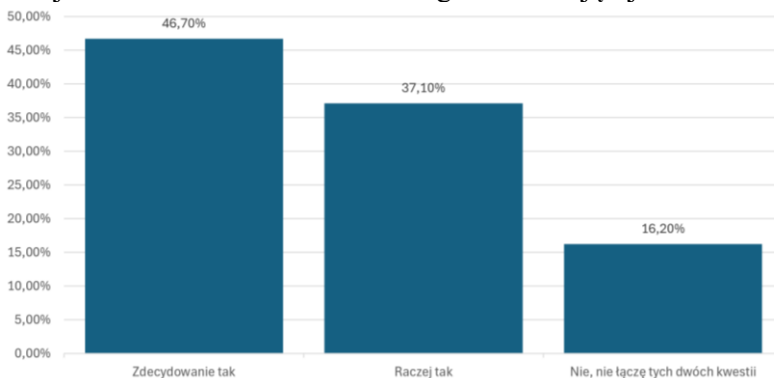


Rys. 13. Ocena systemu powiadamiania służb o nieuprawnionym zajęciu miejsca dla osób z niepełnosprawnością

Źródło: opracowanie własne na podstawie badania ankietowego.

Istotnym elementem ankiety była ocena wpływu inteligentnych kamer na poczucie bezpieczeństwa na parkingu. Zestawienie odpowiedzi na to pytanie zawarto na rys. 14. Większość ankietowanych oceniła to rozwiązanie pozytywnie – 46,7% wybrało odpowiedź „zdecydowanie tak”, a 37,1% „raczej tak”. Oznacza to, że ponad 80% badanych uważa, że taki monitoring mógłby zwiększyć ich poczucie bezpieczeństwa. Przeciwnego zdania było 16,2% respondentów.

Duże poparcie dla inteligentnych kamer pokazuje, że respondenci są skłonni zaakceptować monitoring, jeśli wiąże się on z poczuciem bezpieczeństwa. Ochrona przed kradzieżą, uszkodzeniem pojazdu lub innymi zdarzeniami może być dla badanych ważniejsza niż sama obecność technologii monitorującej.

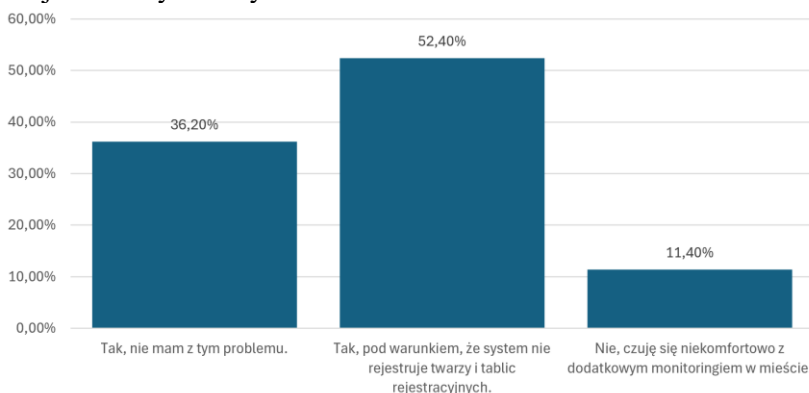


Rys. 14. Wpływ inteligentnych kamer na poczucie bezpieczeństwa respondentów

Źródło: opracowanie własne na podstawie badania ankietowego.

Jednym z poruszonych zagadnień był komfort korzystania z kamer AI, które wskazywałyby wolne miejsca parkingowe na podstawie obrazu z góry, zamiast tradycyjnych czujników umieszczonych w nawierzchni. Rozkład opinii respondentów w tym zakresie przedstawia rys. 15. Największa część badanych, czyli 52,4%, zaakceptowałaby takie rozwiązanie, ale tylko pod warunkiem, że system nie rejestrowałby twarzy ani tablic rejestracyjnych. Pełną akceptację dla tego typu technologii zadeklarowało 36,2% respondentów.

Niechęć wobec dodatkowego monitoringu wyraziło 11,4% ankietowanych. Wyniki pokazują wyraźny kompromis między wygodą a prywatnością. Badani nie odrzucają kamer AI, jednak oczekują jasnych zasad ich działania oraz ograniczenia zakresu rejestrowanych danych.



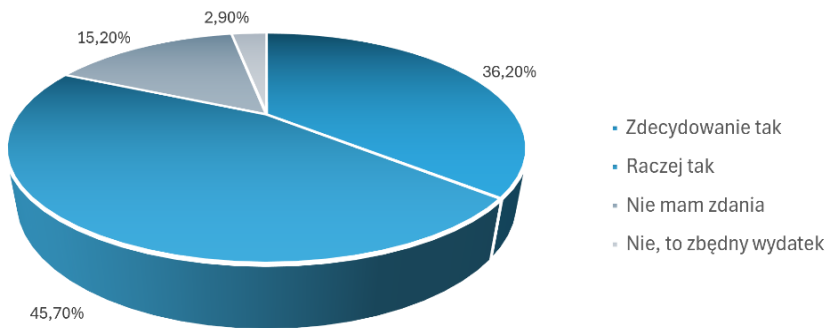
Rys. 15. Ocena komfortu korzystania z kamer AI wskazujących wolne miejsca parkingowe

Źródło: opracowanie własne na podstawie badania ankietowego.

3.5. Systemy IoT jako standard

Ostatni analizowany aspekt dotyczył opinii na temat tego, czy systemy IoT powinny stać się standardem w nowoczesnych miastach. Strukturę odpowiedzi respondentów przedstawiono na rys. 16. Odpowiedź „raczej tak” wskazało 45,7% respondentów, a „zdecydowanie tak” 36,2%, co oznacza, że łącznie ponad 80% badanych popiera wdrażanie takich rozwiązań.

Brak zdania zadeklarowało 15,2% ankietowanych, natomiast jedynie 2,9% uznało systemy IoT za zbędny wydatek. Wyniki pokazują, że respondenci postrzegają inteligentne systemy parkingowe jako potrzebne, szczególnie gdy wiążą się z oszczędnością czasu, większym komfortem i bezpieczeństwem.



Rys. 16. Opinia respondentów na temat wdrażania systemów IoT w nowoczesnych miastach

Źródło: opracowanie własne na podstawie badania ankietowego.

4. Dyskusja wyników

Wyniki badania wskazują, że respondenci dostrzegają realne problemy związane z parkowaniem w mieście, szczególnie w zakresie straty czasu, stresu oraz braku pewności znalezienia wolnego miejsca. Większość badanych pozytywnie ocenia inteligentne systemy parkingowe, zwłaszcza gdy zapewniają one wygodę, bezpieczeństwo i dostęp do informacji w czasie rzeczywistym, jednocześnie oczekując uwzględnienia kwestii kosztów, prywatności oraz stopniowego reagowania na nieprawidłowe zachowania kierowców. Poniżej uzyskane wyniki zestawiono z ustaleniami wcześniejszych badań, co pozwala wskazać zarówno obszary zbieżności, jak i istotne rozbieżności.

4.1. Skala problemu a niepewność informacyjna

Deklaracje respondentów potwierdzają obraz problemu wyłaniający się z literatury: 95,2% badanych wskazało, że znalezienie miejsca wymaga wysiłku lub jest bardzo trudne (rys. 3), co koresponduje z szacunkami przypisującymi poszukiwaniu miejsca od 30% do 50% ruchu w centrach dużych miast [Millard-Ball i in., 2014, s. 76; Parmar i in., 2020, s. 112]. Zjawisko diagnozowane dotąd w kategoriach zagregowanych pomiarów natężenia ruchu jest zatem równolegle rozpoznawane przez samych kierowców.

Szczególnie istotny jest wynik dotyczący stresu, odczuwanego na poziomie umiarkowanym lub dość wysokim przez ponad 2/3 badanych (rys. 5). Wymiar ten

pozostaje w literaturze marginalny [Alam i in., 2023, s. 119533], choć proponuje się przekonujące wyjaśnienie: krążenie w poszukiwaniu miejsca oznacza oczekiwanie w kolejce o nieznaną długości, w której czas oczekiwania jest nieprzewidywalny [Shoup, 2006, s. 485]. Źródłem obciążenia jest więc niepewność informacyjna, a nie sam czas poszukiwania, co ma bezpośrednią konsekwencję zarządczą: rozwiązaniem nie musi być zwiększanie liczby miejsc, lecz dostarczenie kierowcy wiarygodnej informacji.

Deklarowana przez 69,5% badanych rezygnacja z wizyty w danej lokalizacji z powodu braku możliwości zaparkowania (rys. 4) wskazuje ponadto, że dostępność parkingowa oddziałuje na atrakcyjność handlową centrum, co koresponduje z ustaleniem o przewadze kosztów ponoszonych poza pojazdem nad kosztami samej jazdy [Parmar i in., 2020, s. 120].

4.2. Akceptacja efektów technologii bez jej znajomości

Jednym z najbardziej znaczących ustaleń jest rozbieżność między niską znajomością technologii a wysoką akceptacją jej efektów. Aż 61,9% respondentów nie wie, czym są czujniki IoT (rys. 6), podczas gdy 79% popiera aplikację wskazującą wolne miejsca (rys. 7), a 81,9% uważa, że systemy IoT powinny stać się standardem w nowoczesnych miastach (rys. 16). Użytkownicy akceptują zatem korzyść, nie znając mechanizmu, który ją wytwarza.

Ustalenie to koresponduje z wnioskami z badania systemu londyńskiego, w którym mimo znacznych nakładów dostarczono jedynie niewielką część możliwych korzyści, co przypisano brakowi świadomości społecznej i niskiej satysfakcji użytkowników [Peng i in., 2016, s. 26]. Deklarowana akceptacja, nie poparta wiedzą o rozwiązaniu, pozostaje podatna na erozję w zetknięciu z rzeczywistym wdrożeniem.

Potwierdza to zasadność postulatu inwestowania w edukację i dialog społeczny [Roj-Rojewski i Porowski, 2025, s. 73] oraz tezy, że o efektach rozwiązań *smart city* współdecydują świadomość i zaangażowanie użytkowników [Peng i in., 2016, s. 4–5]. Komunikacja nie jest więc działaniem towarzyszącym wdrożeniu, lecz jego integralnym elementem.

Preferencje dotyczące formy informowania potwierdzają natomiast prognozy literatury: zdecydowanie najczęściej wskazywano aplikację mobilną z nawigacją (72,1%), rzadziej tablice świetlne i sygnalizację nad miejscem postojowym (rys. 9). Jest to zgodne z przewidywaniem, że interfejsem przyszłych systemów będzie aplikacja na smartfonie [Fahim i in., 2021, s. 19], oraz z postulatem świadczenia zaawansowanych usług nawigacyjnych [Szmidt, 2017, s. 52–53]. Kierowcy oczekują

informacji, zanim dotrą w okolice parkingu – a więc wtedy, gdy możliwa jest jeszcze zmiana decyzji.

4.3. Informacja jako narzędzie zarządzania popytem

Deklaracja ponad 85% badanych, że częściej korzystaliby z parkingów w centrum, gdyby mieli podgląd wolnych miejsc w czasie rzeczywistym (rys. 8), wskazuje, że bariera nie ma wyłącznie charakteru podażowego. Znajduje to potwierdzenie w badaniach, zgodnie z którymi połączenie cen, niewygody i braku informacji naprowadzającej skłania kierowców do parkowania przy krawężniku lub nielegalnie, podczas gdy miejsca poza jezdnią pozostają niewykorzystane [Parmar i in., 2020, s. 118–119]. Deficyt informacji potrafi zatem wytworzyć pozorny deficyt miejsc.

Prowadzi to do wniosku, że ISP należy traktować przede wszystkim jako narzędzie zarządzania popytem i redystrybucji ruchu w obrębie istniejącej infrastruktury. Podejście takie pozostaje spójne z doświadczeniami systemu SFpark, w którym połączenie elastycznej wyceny z dostarczaniem informacji użytkownikom pozwoliło ograniczyć krążenie o około 50% [Millard-Ball i in., 2014, s. 91]. Dla samorządu oznacza to możliwość poprawy wykorzystania zasobu bez ponoszenia kosztów jego rozbudowy, co w warunkach kurczącej się przestrzeni miejskiej ma szczególne znaczenie [Lin i in., 2017, s. 3249].

4.4. Model finansowania

W trakcie przeglądu literatury zauważono, że największa rozbieżność pomiędzy uzyskanymi wynikami a wynikami prezentowanymi w literaturze dotyczyła modelu finansowania. Literatura eksponuje wymiar fiskalny ISP: wskazuje się, że inteligentne parkowanie może stać się źródłem trwałego dochodu [Faraji i Nozar, 2019, s. 62], że operatorzy mogą odzyskać początkową inwestycję w okresie nieprzekraczającym dwóch lat [Mangiaracina i in., 2017, s. 32], a w badaniu dla Gandawy wykazano, że przychody z opłat i mandatów byłyby dziesięciokrotnie wyższe niż koszt wdrożenia systemu [Faraji i Nozar, 2019, s. 54–55].

Z ankiety wynika, że gotowość użytkowników do współfinansowania tych rozwiązań jest ograniczona: 45,7% badanych zaakceptowałoby dopłatę nieprzekraczającą 10%, a 41,9% uważa, że system powinien być standardem w ramach obecnej ceny (rys. 10). Kierowcy uważają, że ISP powinno być elementem standardu usług publicznych.

Opieranie zwrotu z inwestycji na bezpośredniej dopłacie użytkownika wiąże się więc z ryzykiem obniżenia akceptacji, a uzasadnienie ekonomiczne wdrożenia powinno wspierać się raczej na wzroście rotacji miejsc i ograniczeniu kosztów kontroli manualnej [Faraji i Nozar, 2019, s. 62] oraz na skuteczniejszym egzekwowaniu opłat [Lin i in., 2017, s. 3229]. Wynik ten nie podważa tezy o konieczności właściwej wyceny parkowania przy krawężniku [Shoup, 2006, s. 480–482], lecz sugeruje, że w odbiorze społecznym opłata za miejsce i opłata za informację o nim są kategoriami rozłącznymi.

4.5. Warunki akceptacji ISP

Funkcja kontrolna ISP przedstawiana jest w literaturze w kategoriach jednoznacznie pozytywnych – podkreśla się możliwość identyfikacji naruszeń, ich rejestrowania oraz gromadzenia materiału dowodowego [Biyik i in., 2021, s. 624, 638].

Wyniki badania pokazują natomiast, że użytkownicy popierają porządkowanie zachowań kierowców, lecz warunkują je stopniowaniem sankcji: w przypadku wykrywania pojazdów zajmujących dwa miejsca 55,2% badanych poparło rozwiązanie pod warunkiem uprzedniego ostrzeżenia (rys. 12), a w kwestii miejsc dla osób z niepełnosprawnością bezwarunkowe poparcie dla automatycznego powiadamiania służb wyraziło jedynie 22,9% respondentów (rys. 13).

Rozbieżność tę można interpretować w kategoriach oczekiwania sprawiedliwości proceduralnej – badani akceptują sankcję, lecz oczekują możliwości korekty błędu przed jej zastosowaniem. Obawy te nie są bezpodstawne, skoro sama literatura wskazuje na ryzyko niedokładności informacji [Raj i Shetty, 2024, s. 2690] oraz ograniczoną odporność czujników na warunki atmosferyczne [Faraji i Nozar, 2019, s. 63]. Stopniowanie sankcji postrzegane jest więc nie tylko jako oczekiwanie społeczne, lecz również jako racjonalny mechanizm ograniczania skutków zawodności systemu.

Analogiczna warunkowość dotyczy prywatności. Ponad połowa badanych (52,4%) zaakceptowałaby kamery AI wyłącznie pod warunkiem nierejestrowania twarzy i tablic rejestracyjnych (rys. 15), choć ponad 80% uznało, że inteligentny monitoring zwiększyłby ich poczucie bezpieczeństwa (rys. 14). Jest to zbieżne z literaturą wskazującą na wątpliwości dotyczące ochrony danych, potęgowane przez otoczenie regulacyjne, w tym RODO [Ibrahim i in., 2024, s. 16–17].

Uzyskane wyniki wnoszą jednak istotny niuans wobec wyników badania, zgodnie z którym postrzegana prywatność jest najmniej wpływowym czynnikiem psychologicznym kształtującym intencję korzystania z ISP [Zhang i in., 2023, s. 13–

14]: w badanej grupie prywatność funkcjonuje nie jako czynnik odrzucenia technologii, lecz jako warunek jej przyjęcia. Rozróżnienie to ma znaczenie praktyczne – odpowiednio zaprojektowana architektura przetwarzania danych, realizująca zasadę minimalizacji danych, może usunąć barierę akceptacji bez rezygnacji z funkcjonalności [Channamallu, 2025, s. 220].

4.6. Hierarchia korzyści: perspektywa miasta a perspektywa użytkownika

Zestawienie wyników z literaturą ujawnia odmienną hierarchię korzyści. Literatura silnie eksponuje wymiar środowiskowy, wskazując na ograniczenie zatorów i związaną z tym redukcję zanieczyszczenia powietrza [Fahim i in., 2021, s. 2] oraz na istotną redukcję emisji dwutlenku węgla pochodzącej z krążących pojazdów [Mutambik, 2025, s. 20].

Tymczasem jedynie 53,3% respondentów uznało aspekt środowiskowy za bardzo istotny, a 21% stwierdziło, że kwestia ograniczenia emisji nie jest dla nich ważna (rys. 11), przy jednoczesnym bardzo wysokim poparciu dla korzyści bezpośrednich, takich jak oszczędność czasu, wygoda i bezpieczeństwo.

Rozbieżność ta nie podważa zasadności celów środowiskowych, lecz wskazuje na istotną implikację komunikacyjną: dla użytkownika argumentem przemawiającym za wdrożeniem jest przede wszystkim korzyść indywidualna, podczas gdy efekt środowiskowy stanowi rezultat zagregowany, dostrzegalny z perspektywy zarządzającego miastem. Komunikacja wdrożeń powinna być zatem prowadzona dwutorowo – z akcentem na oszczędność czasu i redukcję niepewności w przekazie kierowanym do kierowców oraz na efekty środowiskowe i ekonomiczne w uzasadnieniu kierowanym do decydentów.

4.7. Ograniczenia przeprowadzonego badania

Interpretując powyższe wnioski, należy uwzględnić ograniczenia badania. Próba liczyła 105 osób i miała charakter niereprezentatywny – respondenci pochodzili z niewielkiej liczby polskich miast i wsi, a jej struktura była wyraźnie przesunięta w stronę osób młodszych (respondenci do 39. roku życia stanowili 77,2% badanych, rys. 1).

Zastosowanie techniki CAWI mogło dodatkowo wzmocnić udział osób aktywnie korzystających z mediów cyfrowych, a tym samym bardziej otwartych na rozwiązania technologiczne, co ma znaczenie wobec wykazanego w literaturze wpływu czynników demograficznych na intencję korzystania z ISP [Zhang i in., 2023, s. 13–

14]. Uzyskany obraz akceptacji może być bardziej optymistyczny niż w populacji ogółem.

Podsumowanie

Celem artykułu była analiza roli inteligentnych systemów parkingowych jako narzędzia wspomagającego zarządzanie parkingami miejskimi i rozwój koncepcji *smart city*, a także porównanie korzyści i ograniczeń zidentyfikowanych w literaturze z opiniami użytkowników. Cel ten zrealizowano poprzez przegląd literatury polskiej i międzynarodowej oraz badanie ankietowe przeprowadzone wśród 105 kierowców i mieszkańców miast.

Przeprowadzone badania pozwalają sformułować kilka zasadniczych wniosków. Po pierwsze, problem parkowania ma dla użytkowników charakter realny i dotkliwy, przy czym jego istotą jest nie tylko niedobór miejsc, lecz przede wszystkim niepewność informacyjna – brak wiedzy o dostępności miejsca przed przyjazdem. Po drugie, użytkownicy wykazują wysoką akceptację inteligentnych systemów parkingowych, lecz akceptacja ta ma charakter warunkowy: dotyczy efektów, a nie technologii, i jest uzależniona od ograniczenia zakresu gromadzonych danych, stopniowania sankcji oraz umiarkowania kosztów. Po trzecie, hierarchia korzyści postrzeganych przez użytkowników odbiega od hierarchii eksponowanej w literaturze: kierowcy cenią przede wszystkim korzyści bezpośrednie, podczas gdy efekty środowiskowe i fiskalne, będące głównym uzasadnieniem wdrożeń w piśmiennictwie, mają dla nich znaczenie wtórne.

Z praktycznego punktu widzenia uzyskane wyniki prowadzą do kilku rekomendacji dla podmiotów zarządzających parkingami miejskimi. Wdrożenie ISP powinno być traktowane przede wszystkim jako inwestycja w informację, umożliwiającą lepsze wykorzystanie istniejącej infrastruktury bez konieczności jej rozbudowy, co ma szczególne znaczenie w warunkach ograniczonej przestrzeni śródmiejskiej.

Podstawowym kanałem dostarczania tej informacji powinna być aplikacja mobilna z funkcją nawigacji, zdecydowanie preferowana przez użytkowników nad rozwiązaniami stacjonarnymi.

Uzasadnienie ekonomiczne wdrożenia należy opierać raczej na wzroście rotacji miejsc, ograniczeniu kosztów kontroli manualnej i skuteczniejszym egzekwowaniu opłat niż na bezpośrednich dopłatach użytkowników, których gotowość do ponoszenia dodatkowych kosztów jest ograniczona.

Funkcję kontrolną systemu warto projektować w modelu stopniowanym, w którym ostrzeżenie poprzedza sankcję, co odpowiada oczekiwaniom sprawiedliwości proceduralnej i zarazem ogranicza konsekwencje ewentualnych błędów detekcji.

Architektura przetwarzania danych powinna zaś realizować zasadę minimalizacji danych, ponieważ to właśnie zakres rejestrowanych informacji, a nie sama obecność kamer, warunkuje akceptację rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji.

Wreszcie, wobec niskiej znajomości technologii wśród użytkowników, działania komunikacyjne i edukacyjne należy traktować jako integralny element wdrożenia, a nie działanie towarzyszące.

Dotychczasowy dorobek koncentruje się przede wszystkim na aspektach technicznych ISP, pomijając lub marginalizując zagadnienia tworzenia wartości oraz perspektywę zarządczą [Biyik i in., 2021, s. 632; Mangiaracina i in., 2017, s. 28]. Niniejsze opracowanie sytuuje inteligentne systemy parkingowe w polu nauk o zarządzaniu, traktując je jako instrument zarządzania popytem i deficytowym zasobem przestrzennym, oraz uzupełnia dorobek o perspektywę użytkownika, której niedostatek wskazywany jest jako jedna z przyczyn niepowodzeń wdrożeń [Peng i in., 2016, s. 26].

Zestawienie ustaleń literaturowych z opiniami kierowców pozwoliło zidentyfikować różnice, dotyczące między innymi modelu finansowania, sposobu egzekwowania przepisów oraz hierarchii korzyści, które w dotychczasowych badaniach były rzadko eksponowane, a które mają istotne znaczenie dla skuteczności wdrożeń.

Uzyskane wyniki należy interpretować z uwzględnieniem ograniczeń badania. Kierunki dalszych badań będą opierać się na rozszerzeniu próby badawczej, zwiększeniu liczebności starszych grup wiekowych oraz przebadaniu większej ilości miejscowości.

ORCID iD

Magdalena Topczewska: <https://orcid.org/0000-0003-4325-1021>

Literatura

1. Alam M.R., Saha S., Bostami M.B., Islam M.S., Aadeeb M.S., Islam A.K.M.M. (2023), *A Survey on IoT Driven Smart Parking Management System: Approaches, Limitations and Future Research Agenda*, IEEE Access 11, pp. 119523–119543.
2. Biyik C., Allam Z., Pieri G., Moroni D., O’Fraifer M., O’Connell E., Olariu S., Khalid M. (2021), *Smart Parking Systems: Reviewing the Literature, Architecture and Ways Forward*, Smart Cities 4(2), pp. 623–642.
3. Buczał M., Michalak D. (2018), *Smart city. Elementy zarządzania środowiskiem i infrastrukturą miasta inteligentnego*, Texter, Warszawa.

4. Channamallu S.S., Kermanshachi S., Rosenberger J.M., Pamidimukkala A., Hladik G. (2025), *Determinants of user satisfaction in smart parking applications*, *Transport Economics and Management* 3, pp. 214–221.
5. Channamallu S.S., Kermanshachi S., Rosenberger J.M., Pamidimukkala A. (2026), *Smart parking systems: A comprehensive review of digitalization of parking services*, *Green Energy and Intelligent Transportation* 5(1), no. 100293.
6. Dobrzański P., Dobrzańska M., Skalska P., Glova J. (2023), *Parking infrastructure management as an element of the smart city concept*, *Humanities and Social Sciences* 30(4 – part 2), pp. 45–60.
7. Fahim A., Hasan M., Chowdhury M. (2021), *Smart parking systems: comprehensive review based on various aspects*, *Heliyon* 7(5), no. e07050.
8. Faraji S.J., Nozar M.J. (2019), *Smart parking :an efficient approach to city's smart management and air pollution reduction*, *Journal of Air Pollution and Health* 4(1), pp. 53–72.
9. Ibrahim I.M., Khaled M., Ashraf M., George M., Abuhadrous I. (2024), *AI-Powered Parking Management Systems: A Review of Applications and Challenges*, *Advanced Sciences and Technology Journal* 1, no. 1011.
10. Lin T., Rivano H., Le Mouël F. (2017), *A Survey of Smart Parking Solutions*, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 18(12), pp. 3229–3253.
11. Ma C., Huang X., Li J. (2024), *A review of research on urban parking prediction*, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* 11(4), pp. 700–720.
12. Mangiaracina R., Tumino A., Miragliotta G., Salvadori G., Perego A. (2017), *Smart parking management in a smart city: Costs and benefits*, 2017 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI), Bari, Italy, pp. 27–32.
13. Millard-Ball A., Weinberger R.R., Hampshire R.C. (2014), *Is the curb 80% full or 20% empty? Assessing the impacts of San Francisco's parking pricing experiment*, *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 63, pp. 76–92.
14. Mutambik I. (2025), *Sustainable IoT-Enabled Parking Management: A Multiagent Simulation Framework for Smart Urban Mobility*, *Sustainability* 17(14), no. 6382.
15. Parmar J., Das P., Dave S.M. (2020), *Study on demand and characteristics of parking system in urban areas: A review*, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* 7(1), pp. 111–124.
16. Peng G.C.A., Nunes M.B., Zheng L. (2017), *Impacts of low citizen awareness and usage in smart city services: the case of London's smart parking system*, *Information Systems and e-Business Management* 15, pp. 845–876.

17. Raj A., Shetty S.D. (2024), *Smart parking systems technologies, tools, and challenges for implementing in a smart city environment: a survey based on IoT & ML perspective*, International Journal of Machine Learning and Cybernetics 15, pp. 2673–2694.
18. Remiszewska A., Remiszewska A., Szpilko D. (2024), *Rola inteligentnych technologii w zaspokajaniu potrzeb mieszkańców polskich miast*, Akademia Zarządzania 8(2), s. 161–181.
19. Roj-Rojewski S., Porowski A. (2025), *Parkingi w przestrzeni miejskiej na przykładzie osiedla Centrum w Białymstoku*, Studia Miejskie 50, s. 47–59.
20. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w sprawie ochrony osób fizycznych w związku z przetwarzaniem danych osobowych i w sprawie swobodnego przepływu takich danych oraz uchylenia dyrektywy 95/46/WE (ogólne rozporządzenie o ochronie danych), <https://uodo.gov.pl/pl/404/224> [14.07.2026].
21. Shoup D.C. (2006), *Cruising for parking*, Transport Policy 13(6), pp. 479–486.
22. Szmidt E. (2017), *Przegląd rodzajów inteligentnych systemów parkingowych*, Transport Samochodowy 4, s. 51–66.
23. Szpilko D., Budna K., Drmeyer H., Remiszewska A. (2023a), *Sustainable and smart mobility – research directions. A systematic literature review*, Economics and Environment 86(3), pp. 31–61.
24. Szpilko D., Jimenez Naharro F., Lăzăroiu G., Nica E., de la Torre Gallegos A. (2023b), *Artificial intelligence in the smart city – a literature review*, Engineering Management in Production and Services 15(4), pp. 53–75.
25. Szpilko D., Szydło J., Winkowska J. (2019), *"Smart" or "Wise" City? A New Approach to City Management*, w: Glińska E., Rollnik-Sadowska E., Kobylińska U. (red.), *CID Conference 2019: International Scientific Conference on Collaborative Innovation Development: Book of Abstracts*, s. 214–219.
26. Tomaszewska E.J. (2022), *Korzyści wdrożenia inteligentnego systemu transportowego w mieście*, Akademia Zarządzania 6(3), s. 333–362.
27. Winkowska J. (2021), *Analiza wdrożeń smart city w Polsce i na świecie*, Akademia Zarządzania 5(3), s. 207–224.
28. Zhang Y., Song X., Tao P., Li H., Zhan T., Cao Q. (2023), *Investigating Factors for Travelers' Parking Behavior Intentions in Changchun, China, under the Influence of Smart Parking Systems*, Sustainability 15(15), no. 11685.

Smart Parking Systems as a Tool Supporting Urban Parking Management and Smart City Development

Abstract

The aim of this article is to analyse the role of smart parking systems (SPS) as a tool supporting urban parking management and the development of the smart city concept, and to compare the benefits and limitations identified in the literature with the opinions of users. Two research methods were applied: a review of Polish and international literature, and a diagnostic survey conducted using the CAWI technique among 105 drivers and urban residents, concerning solutions based on Internet of Things (IoT) sensors and artificial intelligence (AI) cameras.

The study revealed that the vast majority of respondents encounter difficulties in finding a parking space and experience stress as a result, while a considerable proportion have at some point abandoned a visit to a given location due to the inability to park. Although most respondents are unfamiliar with IoT sensor technology, they clearly support solutions providing information on space availability and declare that access to real-time information would encourage them to use city-centre car parks more frequently. Willingness to pay extra is, however, limited, and the acceptance of AI cameras is conditional – respondents expect graduated sanctions and a restricted scope of recorded data.

The conclusions indicate that the value of SPS for urban management lies primarily in their informational function, which enables better use of existing infrastructure without the need to build new spaces, rather than solely in the fiscal and enforcement function emphasised in the literature. Effective implementation requires educational measures, transparent data processing rules, and a graduated enforcement model.

Key words

smart parking systems, urban parking management, smart city, Internet of Things (IoT), artificial intelligence, urban mobility.