

# Analiza efektywności wyniesionych skrzyżowań w strefie 30 – po kilkunastu latach ich eksploatacji

## Analysis of the effectiveness of elevated intersections in zone 30 - after several years of operation



**Stanisław Majer**

Dr inż.

Zachodniopomorski Uniwersytet  
Technologiczny w Szczecinie

stanislaw.majer@zut.edu.pl  
ORCID 0000-0003-2476-1982

**Streszczenie:** Ciągły rozwój motoryzacji stwarza, szczególnie w miastach, wiele problemów komunikacyjnych związanych z płynnością ruchu i zapewnieniem bezpieczeństwa ruchu jego uczestników zwłaszcza pieszych i rowerzystów. W celu zapewnienia bezpieczeństwa ruchu na ulicach z problemami komunikacyjnymi od wielu lat sukcesywnie wprowadza się różne sposoby uspokojenia ruchu m.in. strefy 30. Zmienia się wówczas organizację ruchu, sterując zarówno drogami przelotowymi, jak i lokalnymi, wewnątrzsiedlowymi, celem jak najlepszego rozwiązania narastających problemów. Jednym z często stosowanych, w strefie 30 środków uspokojenia ruchu jest stosowanie wyniesionych skrzyżowań. Podobne rozwiązanie zastosowano kilkanaście lat temu na ul. Łukasińskiego i na plac Jakuba Wujka w Szczecinie. Ulica Łukasińskiego jest ulicą podmiejską zbiorczą łączącą obszary zabudowy jednorodzinnej i zabudowy szeregowej. Plac Jakuba Wujka rozprowadza ruch lokalny do promieniście zlokalizowanych ulic o mniejszym znaczeniu w obszarze zabudowy jednorodzinnej. W obydwu przypadkach wstępują skrzyżowania z ulicami lokalnymi, prowadzącymi ruch do kilku zaledwie domów jednorodzinnych oraz do zamkniętych kompleksów mieszkalnych lub pojedynczych posesji prywatnych. Prędkości samochodów przed przebudową nierzadko przekraczały dopuszczalną prędkość 50 km/h. Ponadto występowały problemy z wyjazdem ze zjazdów i ulic poprzecznych. Powyższe problemy spowodowały, że władze miasta zdecydowały się na wprowadzenie strefy 30 i wybudowanie wyniesionych skrzyżowań z kostki kamiennej. Autor przeprowadził pomiary prędkości w ruchu swobodnym, celem wykazania, że zastosowane wyniesienia skrzyżowań wpłynęły na uspokojenie ruchu. Wykonał również wizualną ocenę stanu nawierzchni, w celu sprawdzenia, czy wyniesione skrzyżowania i wynikające stąd zmiany prędkości wpłynęły na stan nawierzchni.

**Słowa kluczowe:** Strefa 30; Wyniesione skrzyżowania; Nawierzchnia z kostki kamiennej; Redukcja prędkości

**Abstract:** Continuous development of motorisation creates, especially in towns and cities, many traffic problems related to traffic flow and ensuring the safety of its participants, in particular pedestrians and cyclists. In order to ensure traffic safety on streets with traffic problems various traffic calming measures, e.g. traffic calming zone 30, have been successively introduced for many years. The traffic organisation is then changed, controlling both through and local, intra-neighbourhood roads in order to best solve the growing problems. One of the traffic calming measures often used in Zone 30 is the use of elevated intersections. A similar solution was used a dozen years ago on Łukasińskiego Street and Jakub Wujek Square in Szczecin. Łukasińskiego Street is a suburban collector street connecting single-family and terraced housing areas. Jakub Wujek Square distributes local traffic to radially located minor streets in the single-family development area. In both cases there are intersections with local streets, leading traffic to only a few single-family houses and to enclosed residential complexes or individual private properties. Car speeds prior to the reconstruction often exceeded the speed limit of 50 km/h. In addition, there were problems with exiting exits and cross streets. These problems led the city authorities to decide to introduce a 30 zone and to build elevated intersections with stone blocks. The author carried out free-flow speed measurements to show that the applied elevated intersections had an effect on traffic calming. He also carried out a visual assessment of the pavement condition to see if the elevated junctions and the resulting speed changes affected the pavement condition.

**Keywords:** Zone 30 km/h; Raised junction; Stone block paving; Reduce speed

### Wprowadzenie

Coraz szybszy rozwój gospodarczy i wzrost motoryzacji powoduje, że coraz częściej wprowadza się w terenach zabudowanych nadrzędne zarządzanie układem komunikacyjnym i sterowanie ruchu w poszczególnych dzielnicach lub obszarach. M.in. wprowadza się główne ciągi komunikacyjne, ulice

przelotowe i wprowadza się strefy 30, 40 lub zamieszkania. W strefach wydzielone są ulice rozprowadzające ruch i ulice z ruchem ograniczonym. Bywa, że na niektórych ulicach dopuszcza się komunikację zbiorową, w celu umożliwienia mieszkańcom skorzystania z jej usług. W strefach ruchu uspokojonego stosuje się pionowe i poziome środki

uspokojenia ruchu. Rekomendacje odnośnie parametrów środków uspokojenia ruchu, ich rozstawu, ogólnej akceptacji mieszkańców i zarządców opracowano w Europie już pod koniec XX w. [2, 5, 10, 11, 14, 29, 30] Pierwsze krajowe zalecenia projektowe odnośnie uspokojenia ruchu pojawiły się już na początku XXI w. [1, 34]. W ww.

wytycznych zawarte są zalecenia odnośnie projektowania uspokojenia ruchu, podane są wstępne parametry środków uspokojenia ruchu i wstępnie oszacowane są redukcje prędkości, uzyskane dzięki zastosowaniu danych środków uspokojenia ruchu.

Większość badań naukowych z tego okresu dotyczyła przede wszystkim poprawy bezpieczeństwa ruchu i oszacowania redukcji prędkości [2, 4, 6, 7, 13, 28, 31, 32]. W kilku publikacjach poddano analizom rozmieszczenie środków uspokojenia ruchu [3, 8, 10, 14, 27, 29], stosowanie materiałów użytych do ich wykonania [3, 8, 10, 13, 29] i stosowanie ich zróżnicowanego następstwa, czyli naprzemiennego stosowania środków pionowych i poziomych, wzdłuż odcinka ulicy pomiędzy skrzyżowaniami [10, 13].

Choć dane opublikowane w ww. publikacjach podają różne dane szczegółowe, to analiza wniosków opublikowanych w ww. publikacjach pozwala podsumować, że liczba zdarzeń drogowych w wyniku zastosowanych środków uspokojenia ruchu zmniejszyła się średnio o ok. 25%. Ponadto przeanalizowane środki uspokojenia ruchu przyczyniły się znacznie do redukcji prędkości. Jednak utrzymanie zredukowanej prędkości pomiędzy skrzyżowaniami istotnie zależało od rozmieszczenia środków uspokojenia ruchu i różnorodności ich zastosowania. Szczegółowe analizy odnośnie redukcji prędkości dotyczyły stwierdzenia, że pionowe środki uspokojenia ruchu przyczyniają się bardziej do redukcji prędkości niż poziome [2, 4, 8,

17, 29, 31, 32]. Krajowe badania również potwierdzają ten wniosek [1, 12, 36].

W kilku publikacjach odniesiono się również do efektywności wyniesionych skrzyżowań [8, 13, 17, 29, 31, 32, 34] na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzili, że jeśli zastosowane środki uspokojenia ruchu na ulicach w strefie 30 zmniejszają widoczność poniżej 60 – 70 m, to powinno się koniecznie zastosować wyniesione skrzyżowania. Również Durkin i Pheby [4] oraz Macky, Hodge i Webster [13] na podstawie analizy wyników z przeprowadzonych badań zalecali stosowanie szczególnie w strefie 30 pionowych środków ruchu pomiędzy skrzyżowaniami połączonych z poziomymi środkami i konieczne stosowanie wyniesionych skrzyżowań. Przykłady stosowania wyniesionych skrzyżowań zastosowane na przedmieściach w Szwecji w strefie 30 przedstawiono na rys. 1 i 2. Na rys. 1 przedstawiono rampę sinusoidalną najazdową na wyniesione skrzyżowanie z kostki kamiennej ułożonej w deseń łukowy, oznakowaną malowaną białą-czarną szachownicą. A na rys. 2 rampę zjazdową z wyniesionego skrzyżowania.

Przytoczony powyżej przegląd literatury wykazał, że w analizowanych badaniach uwzględniano głównie bezpieczeństwo ruchu, redukcję prędkości w wyniku perswazyjnego oddziaływania na kierowców, ale brakuje badań dotyczących stanu nawierzchni po kilkunastu latach eksploatacji strefy 30, szczególnie w rejonach zastosowanych pionowych środków uspokojenia

ruchu typu wyniesionych skrzyżowań. Biorąc powyższe pod uwagę w niniejszym artykule przyjęto za cel prowadzonych analiz ocenę efektywności wyniesionych skrzyżowań z uwzględnieniem stanu nawierzchni po kilkunastu latach eksploatacji w dwóch charakterystycznych strefach 30. Zastosowaną kolejność analiz i ocen przedstawiono na rys. 3.

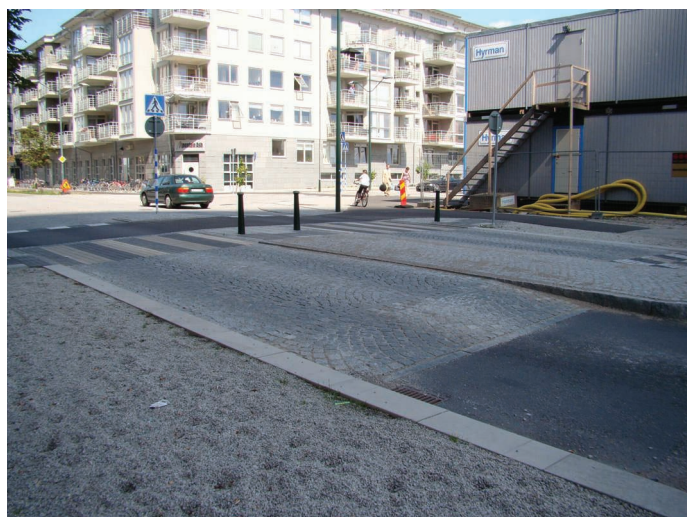
## Obszar badań

Przystępując do badań przeanalizowano dwa główne założenia, tj. wybór ulicy, powszechnie stosowanej w strefie 30, przy rozproszonych osiedlach zabudowy jednorodzinnej oraz wybór ulicy, na której w ramach planowanego uspokojenia ruchu zastosowano tylko wyniesione skrzyżowania.

Uwzględniając najczęściej stosowane lokalizacje stref 30 na przedmieściach miast, do badań wybrano dwa najbardziej charakterystyczne przypadki. Pierwszym przypadkiem jest dwukierunkowa ulica zbiorcza, rozciągająca się po osiedlu z zabudową jednorodziną i szeregową, na której zastosowano cztery wyniesione skrzyżowania z kostki kamiennej. Na wybranej ulicy z racji jej funkcji łącznikowej odbywa się ruch ciężki i przejazdu komunikacji miejskiej (pięć linii autobusowych). Wybrana do badań ulica jest również główną ulicą dojazdową do kolejnych osiedli mieszkaniowych i przemysłowych miasta (rys. 4). Jest to jedno z powszechnie stosowanych rozwiązań układów komunikacyjnych na przedmieściach z wyznaczoną ulicą



1. Przykład rampy najazdowej na wyniesione skrzyżowanie w Malmö (Fot: Stanisław Majer)



2. Przykład rampy zjazdowej z wyniesionego skrzyżowania w Malmö (Fot: Stanisław Majer)

rozprowadzającą ruch do mniejszych osiedli mieszkaniowych i przemysłowych, nierzadko również stref 30 lub stref zamieszkania [1, 35].

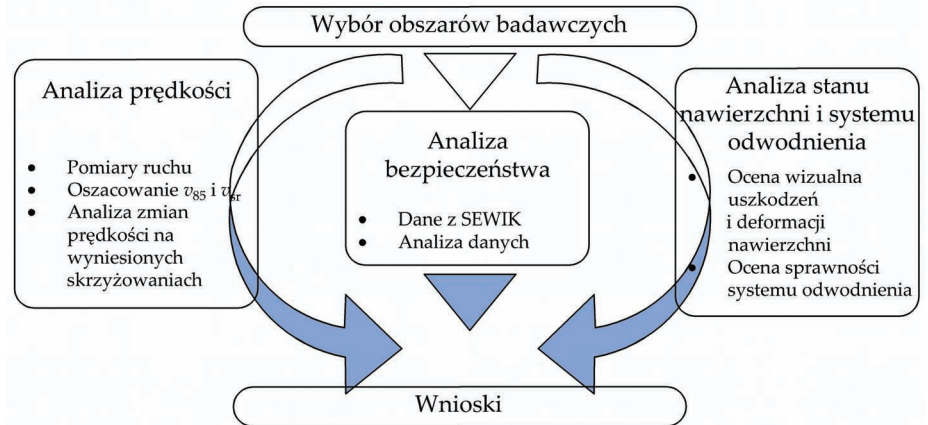
Drugim przypadkiem wybranym do analiz jest gwiaździsty plac z jezdnią rozprowadzającą ruch po promieniście ukształtowanych ulicach bocznych w podmiejskiej historycznej dzielnicy miasta z zabudową jednorodzinną (rys. 5). Jest to również przypadek często obecnie stosowany w dzielnicach podmiejskich lub na osiedlach z zabudową jednorodzinną, przy rewitalizacji historycznych dzielnic lub przebudowie przestrzeni publicznych, z przeznaczeniem centralnego placu na teren rekreacji i okazjonalnych spotkań mieszkańców, czy organizowanych eventów.

## Charakterystyka szczegółowa obszarów badawczych

Ulica Łukasieńskiego (rys. 4 – obszar badawczy nr 1) zlokalizowana jest w dzielnicy Pogodno. Jest to ulica dwukierunkowa o szerokości jezdni równej 7 m. Oba pasy ruchu szerokości po 3 m rozdzielone są przejezdnym pasem dzielącym szerokości 1 m, wykonanym z kostki kamiennej (rys. 6). Pomiędzy wyniesionymi skrzyżowaniami nawierzchnia jest asfaltowa. Wzdłuż ulicy kursują cztery dzienne linie autobusowe i jedna nocna linia, wykorzystywane są autobusy zwykłe i przegubowe. Po obu stronach ulicy znajdują się obiekty użyteczności publicznej, hipermarkety, zjazdy na duże parkingi i do posesji prywatnych oraz zamkniętych osiedli mieszkaniowych. Przy jednej z ulic bocznych zlokalizowana jest pętla autobusowa. Godzinowe natężenie ruchu w godzinach szczytowych wynosi ok. 700–1000 P/h. Wyniesione skrzyżowania wykonane są ze staroużytecznej kostki kamiennej rzędowej (o wymiarach 18x25), ułożonej na podsypce cementowo-piaskowej grubości 5 cm. Podbudowę zasadniczą stanowi warstwa chudego betonu cementowego grubości 20 cm i warstwa z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie grubości 15 cm. Spoiny wypełnione są zaprawą cementowo-piaskową. Na przejezdnym pasie dzielącym ułożone są trzy

rzędy kostki kamiennej oddzielone od nawierzchni asfaltowej krawężnikiem. Nawierzchnia na czterech analizowanych skrzyżowaniach jest wyniesiona do wysokości chodnika. Rampy najezdne i zjazdowe wykonane są na długości równej 2 m i mają pochylenie 7%. Na każdym skrzyżowaniu znajdują się przejścia dla pieszych. Na wyniesionych skrzyżowaniach na rampach i przejściach dla pieszych jest zastosowana również staroużyteczna kostka

kamienna dwukolorowa (grafitowa i szara) w miejscach oznakowania poziomego, (tj. linii P-10 i P-25 – rys. 7). Po kilku miesiącach eksploatacji na rampach na kostce kamiennej koloru grafitowego władze miasta zastosowały jednak oznakowanie cienkowarstwowe poziome wykonane farbami chemoutwardzalnymi koloru białego, w celu lepszej ich widzialności. Na całej długości analizowanej ulicy zastosowane są wpusty krawężnikowe,



3. Zastosowana kolejność analiz (Źródło: opracowanie własne)



4. Lokalizacja obszaru badawczego nr 1 – ul. Łukasieńskiego w dzielnicy Pogodno w Szczecinie (Źródło: opracowanie własne na tle zdjęcia satelitarnego z Google Earth)



5. Lokalizacja obszaru badawczego nr 2 – pl. Jakuba Wujka w dzielnicy Pogodno w Szczecinie (Źródło: opracowanie własne na tle zdjęcia satelitarnego z Google Earth)



6. Wyniesione skrzyżowanie i podział kierunków ruchu za pomocą przejezdnych pasa dzielącego na ul. Łukasińskiego (Fot. Stanisław Majer)



7. Oznakowanie poziome z mas termoutwardzalnych koloru białego zastosowane na rampach na wyniesione skrzyżowanie (Fot. Stanisław Majer)

nieograniczające w żaden sposób szerokości pasa ruchu (rys. 7). Starożyteczna kostka kamienna granitowa 18x25 ułożona jest również na zjazdach i na niewielkich fragmentach wlotów wszystkich ulic bocznych.

Drugim wybranym do analiz obszarem badawczym jest plac Jakuba Wujka (rys. 5), zlokalizowany również w dzielnicy Pogodno. Jest to gwiaździsty plac z niesymetrycznym układem pięciu ulic bocznych. Plac został wybudowany pod koniec XIX w., jako centralny punkt w podmiejskiej dzielnicy poza granicami ówczesnego miasta. Zabudowa mieszkaniowa była inspirowana Westendem w berlińskim Charlottenburgu (rys. 8 i 9). Charakteryzuje się ona dużymi ogrodowo-parkowymi działkami i zróżnicowanymi architektonicznie willami (rys. 9).

Przebudowę tej części dzielnicy na strefę 30 wykonano w latach 2009 – 2010, zwracając obustronnie jedno-

kierunkową jezdnię okrężną i budując wyniesione skrzyżowania do wysokości chodnika. Przebudowa obejmowała również rewitalizację przestrzeni publicznej, w tym wnętrza placu. Na wyspie środkowej placu wybudowano wówczas dwa place zabaw i przestrzeń rekreacyjną dla okolicznych mieszkańców. Jezdnia wokół placu ma szerokość 6,3 m. Na jezdni zastosowano obustronne opaski z granitowej kostki kamiennej, wewnętrzną o szerokości 0,8 m i zewnętrzną o szerokości 1,0 m (rys. 10). Przy zbiegu ulic bocznych wybudowano 5 wyniesionych skrzyżowań o zróżnicowanych parametrach geometrycznych. Średnica zewnętrzna placu wynosi 116 m. Jezdnia okrężna ma nawierzchnię asfaltową, a opaski i wyniesione skrzyżowania wykonane są z łupanej kostki kamiennej granitowej szarej (o wymiarach 15x15), ułożonej na podsypce cementowo-piaskowej grubości 5 cm. Podbudowę

zasadniczą stanowi warstwa chudego betonu cementowego grubości 20 cm i warstwa z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie grubości 15 cm. Na zjazdach zastosowano łupaną kostkę 8x9, a na opasce oddzielającej płyty chodnikowe od krawężnika zastosowano łupaną kostkę kamienną 6x6. Wszystkie spoiny wypełnione są zaprawą cementowo-piaskową. Na rampach wjazdowych i zjazdowych zastosowana jest naprzemiennie kostka kamienna dwukolorowa granitowa koloru szarego i bazaltowa koloru czarnego, w formie oznakowania poziomego P-25 (rys. 11). Rampy najazdowe i zjazdowe są zróżnicowane. Ich szerokość waha się w granicach od 0,9 m do 1,6 m, a pochylenie odpowiednio waha się w granicach od 4% do ok. 14%. Zróżnicowanie pochylenia ramp związane było z krzywoliniową jezdnią okrężną wokół placu i koniecznością dowiązania się do rzędnych pojedyn-



8. Zabudowa wokół pl. Jakuba Wujka inspirowana Westendem w Charlottenburgu (Fot. Stanisław Majer)



9. Duże ogrodowo-parkowo działki i zróżnicowana architektonicznie zabudowa wokół pl. Jakuba Wujka (Fot. Stanisław Majer)



10. Pasy zwiężające szerokość jezdni okrężnej wokół pl. Jakuba Wujka (Fot. Stanisław Majer)



11. Oznakowanie poziome P-25 na rampie wykonane z dwukolorowej kostki kamiennej (Fot. Stanisław Majer)

czych posesji graniczących z wyniesioną nawierzchnią.

## Założenia i zastosowane metody badawcze

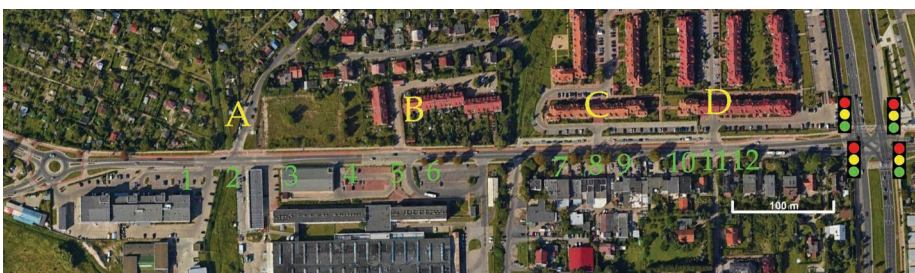
Przystępując do ogólnej oceny strefy 30 zastosowanej w obu obszarach badawczych w pierwszej kolejności wykonano ocenę bezpieczeństwa ruchu na podstawie danych z SEWIK z lat 2000 – 2023 [22]. Z obu obszarów badawczych tylko na pierwszym z nich w okresie przed przebudową doszło do dwóch wypadków z pieszymi, w wyniku których piesi zostali lekko ranni. Po przebudowie na obu analizowanych obszarach badawczych nie odnotowano żadnego zdarzenia drogowego, co świadczy o zapewnieniu bezpieczeństwa ruchu. Uwzględniając powyższe w dalszych analizach nie wykonywano żadnych badań w tym zakresie.

Kolejne założenia badawcze dotyczyły oceny prędkości w obu obszarach badawczych. W tym celu założono wykonać pomiary prędkości przed, na i za każdym wyniesionym skrzyżowaniem wykorzystując zsynchronizowany układ czujników SR4 [26]. Czujniki pomiarowe ustawiano każdorazowo

w odległości 6-8 m przed i za rampą oraz na środku wyniesionego skrzyżowania. Czujniki były umieszczane na dodatkowych słupkach drogowych, ustawianych tylko na czas pomiaru. Założono, że minimalna liczba pomiarów prędkości na każdym wyniesionym skrzyżowaniu będzie równa 100 i będzie dotyczyła tylko pojazdów poruszających się w ruchu swobodnym, tzn. pojazdu, przed którym jest wolna jezdnia na odległość 7 s przed pojazdem [9]. Wybór takiego ruchu umożliwia sposób przedstawiania wyników i wykonywania pomiarów przez czujniki SR4. W danych pomiarowych podawany jest dokładny czas pomiaru, prędkość, kategoria pojazdu, odległość pomiędzy poszczególnymi pomiarami w metrach i w sekundach itd. Wykorzystując te dane można automatycznie wykluczyć z pomiarów te dane, które nie są związane z ruchem swobodnym. Pomiary na każdym skrzyżowaniu kończono, gdy liczba pojazdów poruszających się w ruchu swobodnym w tym samym kierunku przekraczała 100 na ostatnim czujniku z wszystkich trzech. Każde skrzyżowanie było mierzone oddzielnie, ze względu właśnie na zapewnienie 100

pomiarów prędkości w ruchu swobodnym. Podczas pomiarów wykorzystywano również kamerę wideo, co pozwoliło wykluczyć przy późniejszej analizie dane dotyczące pojazdów wykonujących manewry skrętu na lub z ulicy bocznej albo ze zjazdów. Wszystkie pomiary wykonano podczas bezdeszczowej pogody, unikając w ten sposób wpływu niekorzystnych warunków meteorologicznych. Na rys. 12 i 13 oznaczenia literowe zastosowano w odniesieniu do skrzyżowań, a liczbowe do kolejnych przekrojów badawczych. Rozmieszczenie dwunastu przekrojów badawczych na ul. Łukasińskiego przedstawiono na rys. 12, a piętnastu przekrojów badawczych na pl. Jakuba Wujka na rys. 13. Na rys. 12 na wyniesionym skrzyżowaniu A znajdują się po południowej stronie trzy zjazdy publiczne do hurtowni, supermarketów i zakładów przemysłowych oraz na parkingi, a po północnej stronie jest skrzyżowanie z ulicą osiedlową. Na wyniesionym skrzyżowaniu B po południowej stronie znajduje się zjazd na parking i pętlę autobusową. A po północnej stronie zjazd na niewielkie osiedle mieszkaniowe. Podobnie jest na skrzyżowaniu C i D jedynie po północnej stronie znajdują się pojedyncze zjazdy na zamknięte duże osiedla mieszkaniowe.

Następne założenia badawcze dotyczyły oceny stanu nawierzchni z kostki kamiennej. Odnośnie oceny stanu nawierzchni wykonanych z kostki kamiennej brakuje jednak wytycznych zarówno krajowych, jak i zagranicznych. Z krajowych wytycznych oprac-



12. Obszar badawczy nr 1 i schemat rozmieszczenia przekrojów badawczych (Źródło: opracowanie własne)



13. Obszar badawczy nr 2 i schemat rozmieszczenia przekrojów badawczych (Źródło: opracowanie własne)

wanych głównie do nawierzchni asfaltowych [23, 24, 25] można uwzględnić np. metody oceny deformacji nawierzchni, tj. osiadania i sfałowania lub oceny powierzchni uszkodzonych krawędzi jezdni. W publikacjach [18, 19, 20, 21] są zawarte podstawy oceny stanu nawierzchni z kostki kamiennej, ale zastosowanej na zatokach autobusowych. W przypadku oceny stanu nawierzchni na ul. Łukasieńskiego pokrywa się ona z oceną stanu nawierzchni na śladach toczenia się kół, gdyż na tej ulicy, jak już wcześniej wspomniano odbywa się ruch ciężki i jeżdżą autobusy pięciu linii autobusowych. Na wlocie ulicy bocznej, przy której zlokalizowana jest pętla autobusowa, odnotować można również wzmożone oddziaływanie kół autobusów wykonujących relacje skrajne. Przyjęte w powyższych artykułach [18, 21] kryteria oceny stanu nawierzchni z kostki kamiennej jednak można odnieść analogicznie do oceny stanu nawierzchni w strefie 30,

gdyż dotyczą one ubytków kostek lub ubytku zaprawy w spoinach, pęknięcia kostek, obłamania na krawędziach kostek, osiadania lub sfałowania. Są to typowe deformacje i uszkodzenia dotyczące nawierzchni wykonanej z kostki kamiennej. Biorąc powyższe pod uwagę w niniejszym artykule założono, że zastosuje się zasady i kryteria oceny stanu nawierzchni z kostki kamiennej opisane w publikacjach [18, 21].

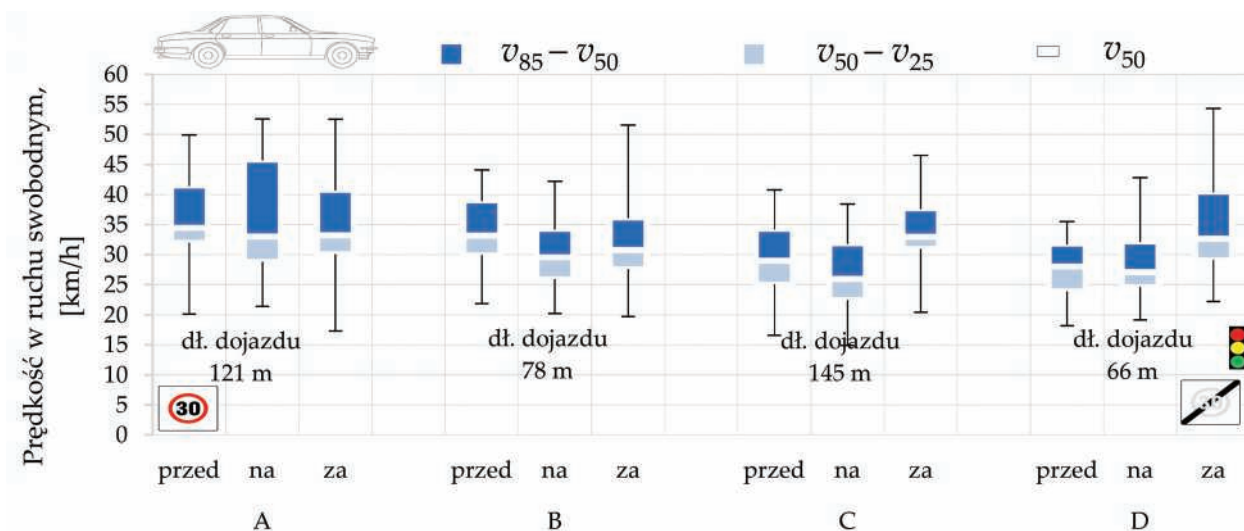
Uwzględniając także najnowsze krajowe wytyczne odnośnie projektowania konstrukcji nawierzchni z kostki kamiennej [33] założono również w odniesieniu do zastosowanej konstrukcji nawierzchni na wyniesionych skrzyżowaniach w strefie 30 oceniać jej stan po kilkunastu latach eksploatacji ze szczególnym uwzględnieniem stanu zastosowanego połączenia nawierzchni asfaltowej i kostkowej w pobliżu ramp najazdowych i zjazdowych z wyniesionej nawierzchni.

## Rezultaty badań ruchu

Na ul. Łukasieńskiego, jak wcześniej wspomniano ruch był dwukierunkowy. Biorąc powyższe pod uwagę analizę danych wykonano dla każdego kierunku ruchu oddzielnie, a rezultaty oszacowania przedziałowego danych pomiarowych przedstawiono na rys. 14 i 15. Na rys. 14 i 15 zastosowane na wykresach wąsy reprezentują minimalne i maksymalne wartości, a górna i dolna krawędź ramki reprezentuje pierwszy i trzeci kwartyl, biała linia oznacza medianę.

Natomiast na rys. 16 przedstawiono dystrybuanty prędkości w obu kierunkach ruchu. Analiza danych wykazała, że na ul. Łukasieńskiego prędkości są bardzo zróżnicowane w obu kierunkach ruchu i na poszczególnych wyniesionych skrzyżowaniach. Na wyniesionych skrzyżowaniach przed, na i za nimi prędkości wahają się w granicach od 30 km/h do 40 km/h. Analiza dystrybuant przedstawionych na rys. 16 wykazała, że różnice w prędkościach przed, na i za są bardzo zróżnicowane, a wyniesione skrzyżowania nie przyczyniły się do redukcji prędkości do 30 km/h, chociaż w niektórych przypadkach prędkości są wyraźnie zmniejszone. Jednak na ich podstawie nie można zdecydowanie stwierdzić, że w danym przypadku wyniesione skrzyżowania jednoznacznie przyczyniły się do uspokojenia ruchu na analizowanej ulicy.

Podsumowując analizy prędkości i efektywność zastosowanych wyniesionych skrzyżowań można przekonująco stwierdzić, że wyniesione skrzyżowania nie przyczyniły się efektywnie w strefie 30 do osiągnięcia redukcji prędkości do 30 km/h. W danej lokalizacji nie ma możliwości zastosowania innych dodatkowych środków uspokojenia ruchu z racji ograniczonego pasa drogowego przez posesje prywatne i granice wyznaczone przez działki obiektów użyteczności publicznej. Biorąc powyższe pod uwagę bardziej wskazane by było zastosowanie na ul. Łukasieńskiego strefy 40 i wówczas zastosowane wyniesione skrzyżowania



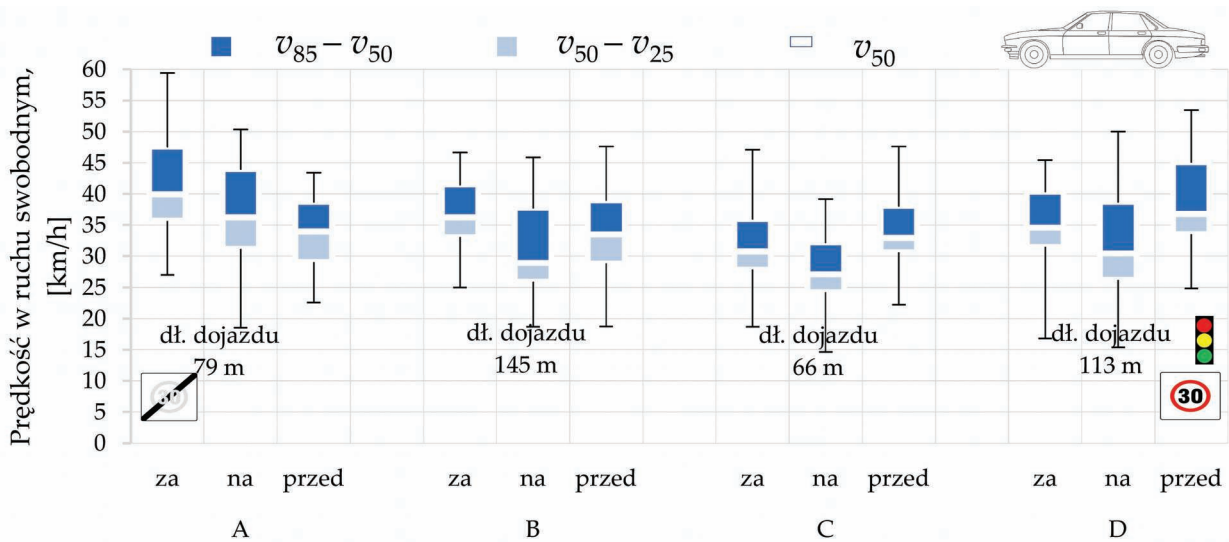
14. Wykres ramka i wąsy prędkości zmierzonych na ul. Łukasieńskiego w kierunku od małego ronda do skrzyżowania z sygnalizacją świetlną (Źródło: opracowanie własne)

okazałyby się efektywne. Ponieważ w strefie 40 prędkość 40 km/h dobrze koreluje z definicją wartości prędkości podaną na znaku drogowym, gdyż wartość podana na znaku drogowym odpowiada 85% kwantylowi prędkości. A analiza wartości 85% kwantyla prędkości przedstawionych na rys. 14 i 15 wskazuje, że na prawie wszystkich fragmentach analizowanej ulicy 85% kwantyl prędkości nie przekracza wartości 40 km/h. Należałoby by wówczas zastosować wyraźne i dobrze widoczne oznakowanie przejść dla pieszych.

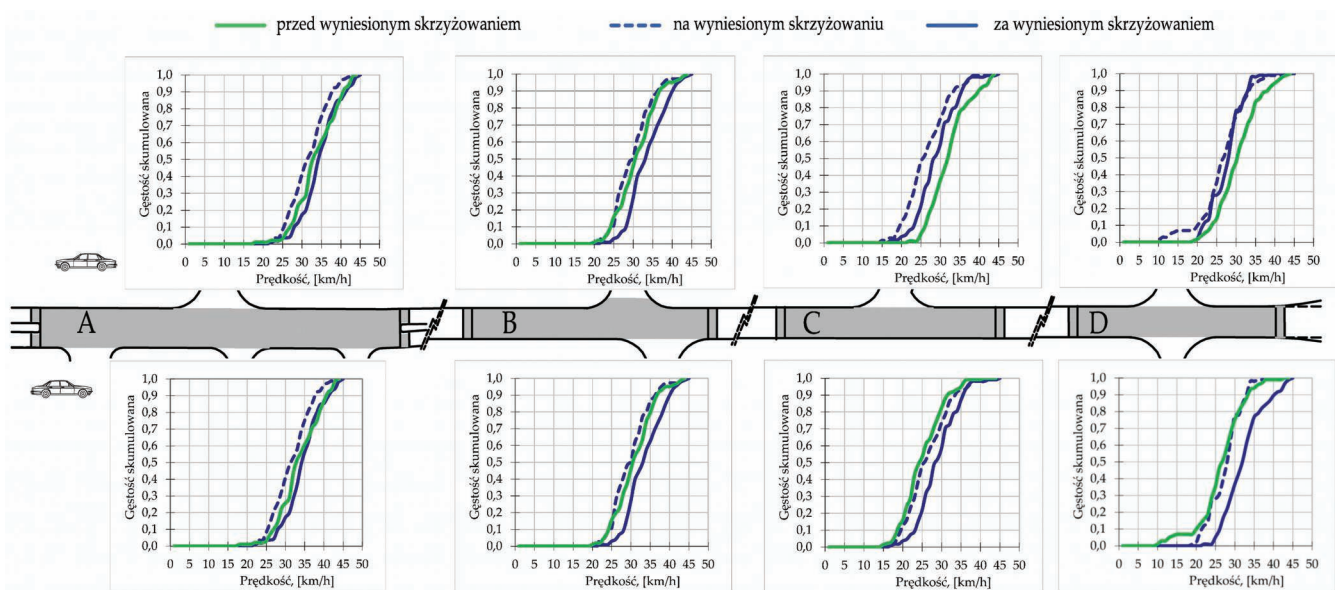
W drugim obszarze badawczym na pl. Jakuba Wujka uzyskano potwierdzenie słuszności stosowania wyniesionych skrzyżowań w strefie 30 (rys.

17 i 18). W żadnym przypadku ani 85 kwantyl prędkości, ani prędkość średnia czy maksymalna nie przekroczyła ograniczenia prędkości do 30 km/h. Zróżnicowane wyniki prędkości prawdopodobnie związane są z krzywoliniowym ruchem na jednokierunkowej okrężnej jezdni placu oraz zaparkowanymi samochodami osobowymi na zewnętrznej części jezdni i częściowo na chodniku. Największe prędkości odnotowano w okolicy trzeciego skrzyżowania C. Prawdopodobnie związane jest to z tym, że ulica boczna jest bez przejazdu i praktycznie na niej możliwy ruch dotyczyć może tylko kilkunastu mieszkańców tej ulicy. A pomiędzy drugim w kolejności analizy i trzecim skrzyżowaniem jest bar-

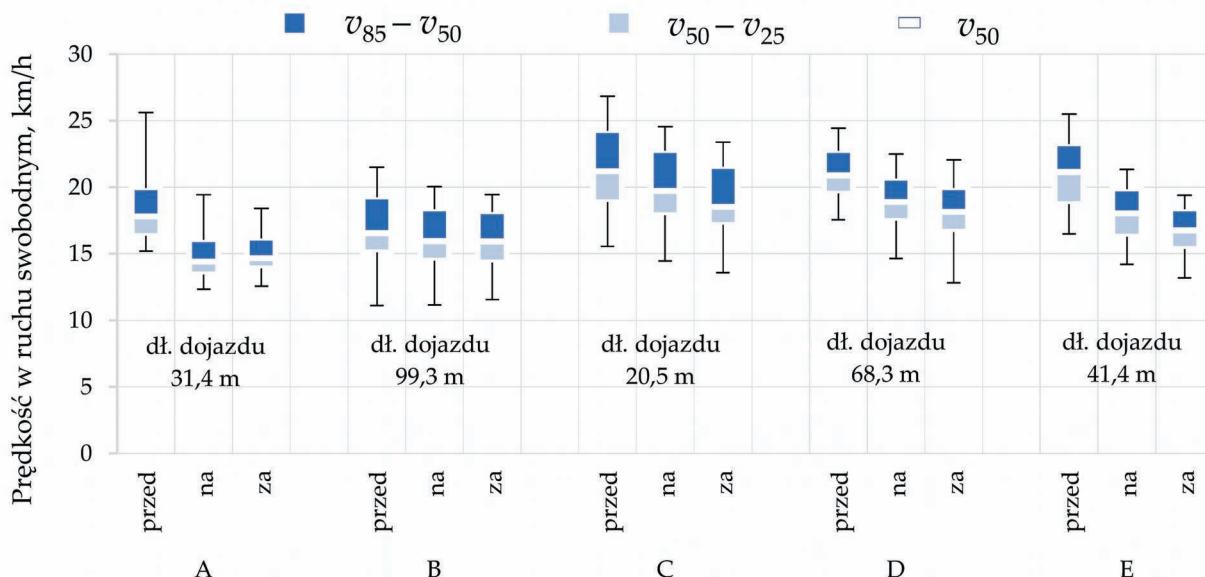
dzo krótki odcinek, na którym rzadko parkują samochody, ze względu na duże place parkingowe na przyległej do placu działce. Brak zaparkowanych samochodów prawdopodobnie może przyczynić się do nieznacznie większych prędkości. Również redukcje prędkości na wyniesionych skrzyżowaniach są zróżnicowane i wahają się w granicach od 1 km/h do 5 km/h. Na to może być wpływ długość wyniesionej nawierzchni, liczba zaparkowanych pojazdów na zewnętrznym pasie jezdni przed i za wyniesionym skrzyżowaniem, a także ukształtowanie przestrzeni publicznej. Na części placu po wewnętrznej stronie jezdni zastosowano słupki krawędziowe w celu eliminacji parkowania niezgod-



15. Wykres ramka i wąsy prędkości zmierzonych na ul. Łukasieńskiego w kierunku od skrzyżowania z sygnalizacją świetlną do małego ronda – oznaczenia jak na rys. 12 (Źródło: opracowanie własne)



16. Rozkład uzyskanych dystrybucji prędkości odnotowanych podczas jazdy wzdłuż ul. Łukasieńskiego (Źródło: opracowanie własne)



17. Wykres ramka i wąsy prędkości zmierzonych na pl. Jakuba Wujka (Źródło: opracowanie własne)

nego z przepisami. Podczas pomiarów odnotowano sporadyczny ruch pieszych, co nie wpływało w żaden sposób na uzyskane wyniki prędkości. Na dwóch skrzyżowaniach pierwszym i ostatnim wyniesione skrzyżowania są dłuższe, gdyż ulice boczne do nich dochodzące mają dwukrotnie większe natężenia ruchu i mają większe znaczenie komunikacyjne w porównaniu do pozostałych. Przy obu tych ulicach w narożnikach zlokalizowane są obiekt-

ty użyteczności publicznej, co wiązało się z większą liczbą zaparkowanych pojazdów na zewnętrznej krawędzi jezdni placu.

W przypadku analizy efektywności zastosowanych wyniesionych skrzyżowań na placu Jakuba Wujka, można stwierdzić, że zastosowane wyniesienia są efektywne i mogą być zalecane w innych realizacjach strefy 30, jako najbardziej skuteczne. Do uzyskanej efektywności przyczyniły się zarówno

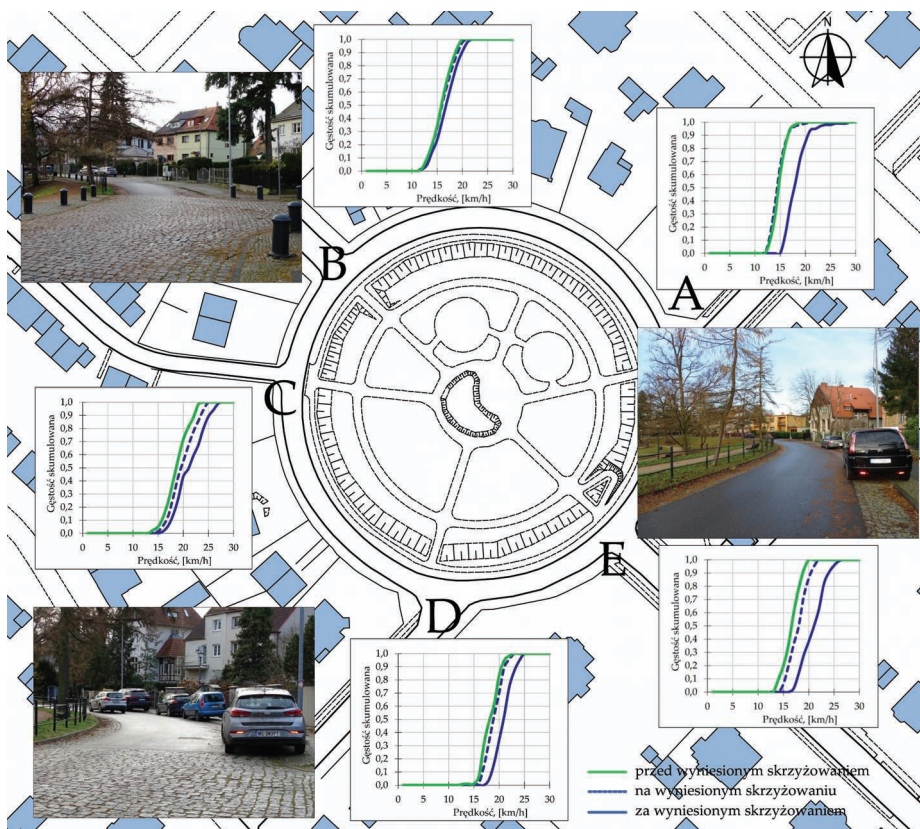
wyniesione skrzyżowania, jak i zwężenie obustronne jezdni okrężnej.

## Rezultaty oceny stanu nawierzchni i systemu odwodnienia

W następnej kolejności wykonano ocenę wizualną stanu nawierzchni z kostki kamiennej na wyniesionych skrzyżowaniach po kilkunastu latach jej eksploatacji. Do głównych deformacji nawierzchni z kostki kamiennej zaliczono osiadania do 2 cm, do 4 cm i więcej, a także braki w spoinach do 2 cm i do 4 cm. W obu przypadkach założono wykonywanie pomiaru powierzchni osiadań lub braku wypełnienia w spoinach, z wykorzystaniem metody obrysu po zewnętrznej krawędzi kostek. Na trzech skrzyżowaniach odnotowano po jednej pojedynczej pękniętej kostce. Jak już wcześniej wspomniano, do nawierzchni na ul. Łukasińskiego wykorzystano kostkę rozbiórkową, a na placu Jakuba Wujka ułożono nową kostkę kamienną łupaną.

Zdecydowanie gorszy stan nawierzchni stwierdzono w pierwszym obszarze badawczym, tj. na ul. Łukasińskiego. Oszacowana łączna powierzchnia osiadań w obszarach ramp najazdowych i zjazdowych wyniosła na kolejnych wyniesionych skrzyżowaniach:

- na skrzyżowaniu A powierzchnia osiadań do 2 m wyniosła 135 m<sup>2</sup>, a do 4 cm i więcej 10 m<sup>2</sup>,
- na skrzyżowaniu B powierzchnia osiadań do 2 m wyniosła 77 m<sup>2</sup>,



18. Rozkład uzyskanych dystrybuant prędkości odnotowanych podczas jazdy wokół placu Jakuba Wujka (Źródło: opracowanie własne)



- a do 4 i więcej cm 18 m<sup>2</sup>,
- na skrzyżowaniu C powierzchnia osiadania do 2 m wyniosła 51 m<sup>2</sup>, a do 4 cm 68 m<sup>2</sup>,
- na skrzyżowaniu D powierzchnia osiadania do 2 m wyniosła 53 m<sup>2</sup>, a do 4 cm 64 m<sup>2</sup>.

Braki w wypełnieniu spoin stwierdzono na kolejnych wyniesionych skrzyżowaniach:

- na skrzyżowaniu A powierzchnia – do 2 m wyniosła 246 m<sup>2</sup>, a do 4 cm 59 m<sup>2</sup>,
- na skrzyżowaniu B powierzchnia – do 2 m wyniosła 185 m<sup>2</sup>, a do 4 cm 361 m<sup>2</sup>,
- na skrzyżowaniu C powierzchnia – do 2 m wyniosła 144 m<sup>2</sup>, a do 4 cm 8 m<sup>2</sup>,
- na skrzyżowaniu D powierzchnia – do 2 m wyniosła 135 m<sup>2</sup>, a do 4 cm 9 m<sup>2</sup>.

Szczegółowa analiza lokalizacji osiadań wykazała, że głębsze osiadania znajdowały się na śladach toczenia się kół i w okolicy przyległej do bocznych zjazdów, po których odbywał się ruch pojazdów ciężarowych. W pojedynczych przypadkach stwierdzono osiadania przed przejściami dla pieszych. Sugeruje to wniosek, że miejsca ze znaczącymi osiadaniami znajdowały się na krzywoliniowych torach ruchu pojazdów ciężkich i w miejscach hamowania, czyli tam gdzie występuje wzmożone oddziaływanie sił poziomych na nawierzchnię.

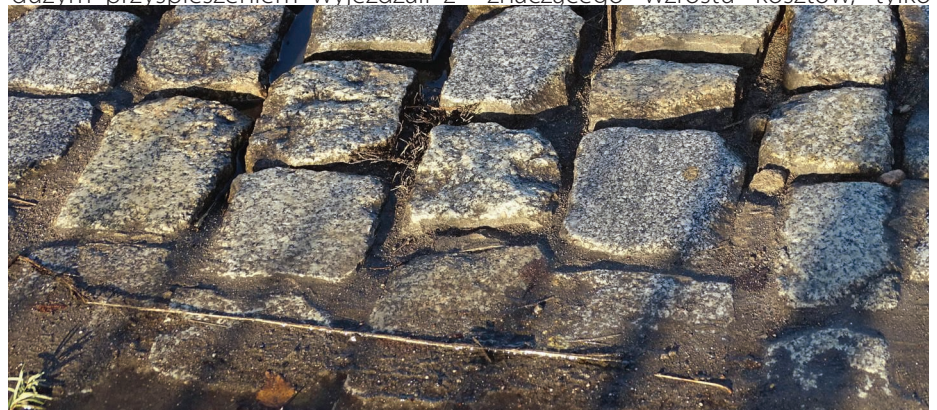
Konstrukcja nawierzchni w obu obszarach badawczych była zbieżna z najnowszymi wytycznymi [33] a nawierzchnia była wykonana 14 lat temu, wobec czego jej stan prawdopodobnie nie może być związany z długim okresem eksploatacji. Główną przyczyną osiadań na ul. Łukasińskiego prawdopodobnie były za szerokie spoiny, (miejscami sięgające do 5 cm – rys. 19) i prawdopodobnie błędy wykonawcze dotyczące nieprawidłowego wypełnienia spoin zaprawą cementowo-piaskową. Szerokość spoin powinna zawierać się w zakresie od 0,8 cm do 1,2 cm, a kostki w sąsiednich rzędach powinny się mijać co najmniej o 1/4 szerokości kostki [15, 16]. W danym przypadku również nie

dotrzymano zaleceń zawartych w [15], o zastosowaniu przy krawężnikach kostek łącznikowych, stosowanych w celu uzyskania mijania się spoin (rys. 20). Kolejnym niedopatrzeniem było nieodpowiednie wypełnienie spoin zaprawą cementowo-piaskową. Zgodnie z zapisami PN [16] wypełnienie spoin zaprawą powinno być wykonane do połowy wysokości koski, natomiast w zaleceniach zawartych w OST [15] podane jest, że wypełnienie spoin zaprawą cementowo-piaskową powinno być wykonane do głębokości ok. 5 cm. Podczas oceny stanu nawierzchni stwierdzono, że w niektórych miejscach spoina była wypełniona zaprawą cementowo-piaskową do głębokości mniejszej niż 5 cm lub odnotowano całkowity jej brak. Zgodnie z zasadami wykonawstwa nawierzchni z kostki kamiennej w przypadku miejsc narażonych na intensywne oddziaływanie ruchu istotne jest, aby zaprawa cementowo-piaskowa całkowicie wypełniała spoiny, w celu stworzenia monolitu z kostką i zapewnienia przenoszenia obciążeń na sąsiednie kostki przez zaprawę spoiny.

Ponadto miejsca osiadań powyżej 2 cm i brak wypełnienia spoin na głębokość powyżej 2 cm pokrywają się z miejscami wyraźnej zmiany prędkości, tj. na wjazdach, przed przejściami dla pieszych, czyli miejscami zwiększonych wartości przyspieszeń i opóźnień. To pierwsze spostrzeżenie może być związane ze specyfiką ruchu bardziej temperamentnych i zniecierpliwionych oczekiwaniem na wyjazd kierowców. Kierowcy ci, co potwierdzono podczas prowadzenia pomiarów, po dłuższym oczekiwaniu na odpowiednią lukę czasową na swojej krzywoliniowej trasie, gwałtownie i z dużym przyspieszeniem wjeżdżali z

parkingu i po wjeździe na żądany pas ruchu na wyniesieniu gwałtownie hamowali, gdyż przed nimi akurat znalazły się inne pojazdy lub na przejściu był pieszy. Biorąc pod uwagę powyższe spostrzeżenia, nasuwa się wniosek, że po pierwsze należałoby zwrócić szczególną uwagę na wykonawstwo nawierzchni z kostki kamiennej i zastosowanie na ulicach o podobnej charakterystyce ruchu i lokalizacji zjazdów z wyniesionej nawierzchni na okoliczne parkingi generatory ruchu. Ponadto w miejscach szczególnie narażonych na występowanie sił poziomych zamiast zaprawy cementowo-piaskowej powinno się stosować fugi żywiczne o wytrzymałości powyżej 50 MPa. Fuga ta charakteryzuje się przede wszystkim tym, że tworzy jednolitą monolityczną nawierzchnię, nieścieralną, odporną na czyszczenie mechaniczne i nieprzerastającą chwastami, czyli spełnia wszelkie warunki środowiskowe i zapewnia długą trwałość. W Szczecinie znajdują się ulice, na których zastosowano takie wypełnienia spoin i po kilkunastu latach pomimo dużego ruchu krzywoliniowego nawierzchni z kostki kamiennej nie uległa żadnym deformacjom.

Kolejnym spostrzeżeniem uwzględniającym zasady zrównoważonego projektowania nawierzchni drogowych w strefie 30 powinno być, zdaniem autora, szczególne uwzględnienie specjalnej nawierzchni na przejściach dla pieszych. Specjalna nawierzchnia oznacza zastosowanie kostek o równej powierzchni górnej, czyli zastosowanie kostki graniowej ciętej i płomieniowanej lub zastosowanie na przejściu dla pieszych nawierzchni asfaltowej. Pierwsze rozwiązanie jest znacznie tańsze i nie powoduje znaczącego wzrostu kosztów, tylko



19. Ubytki i osiadania nawierzchni powyżej 4 cm (Źródło: opracowanie własne)



20. Osiadania nawierzchni w pobliżu ramp wjazdowych i zjazdowych (Źródło: opracowanie własne)



21. Miejsca rekreacji na placu Jakuba Wujka (Źródło: opracowanie własne)

należy zastosować w obrębie przejścia inny rodzaj kostki i wypełnienia spoin. Drugie rozwiązanie znacząco ingeruje w konstrukcję nawierzchni i generuje znacznie wyższe koszty, ale może ono stanowić również problem estetyczny. Aktualnie na przejściach dla pieszych zastosowana jest kostka kamienna łupana, która ma nierówną powierzchnię górną, co powoduje znaczne utrudnienie w poruszaniu się osób niepełnosprawnych.

W drugim obszarze badawczym na placu Jakuba Wujka można stwierdzić niezmienny stan nawierzchni po kilkunastoletniej eksploatacji. Z jezdni okružnej placu głównie korzystają mieszkańcy i ewentualnie pojazdy komunalne. Natężenie ruchu jest niewielkie. I prawdopodobnie, dlatego stan nawierzchni jest bardzo dobry. W danym przypadku nie stwierdzono generalnie na wyniesionych nawierzchniach miejsc osiadań lub braku wypełnienia spoin. Jedynie w przypadku dwóch relacji prawoskrętnych na ulice boczne, tylko w śladzie zewnętrznym toczenia się kół, stwierdzono w sumie na powierzchni równej 3 m<sup>2</sup> niewielkie osiadanie. Tego osiadania nie stwierdzono ani w śladzie wewnętrznym, ani dalej. Prawdopodobnie były to jakieś błędy wykonawcze, które nie spowodowały ani braku wypełnienia w spoinach, ani sfalowań. I co ważniejsze w trakcie deszczu nie gromadziła się w tym miejscu woda opadowa, więc nawierzchnia wyprofilowana było z właściwym spadkiem poprzecznym i podłużnym.

Biorąc pod uwagę, że na terenie pla-

cu znajdują się place zabaw dla dzieci, miejsca rekreacyjne i odbywają się tu eventy (rys. 21) oraz fakt, że zastosowane są specjalne pochylnie dla osób niepełnosprawnych i dla rowerzystów powinno się, zdaniem autora, przynajmniej w miejscu lokalizacji pochylni zastosować na powierzchni przejścia dla pieszych kostkę kamienną ciętą płomieniowaną. Są to warunki podstawowe, jeśli projektowanie konstrukcji nawierzchni i projektowanie strefy 30 ma spełniać podstawowe warunki zrównoważonego budownictwa drogowego.

## Podsumowanie

Strefa uspokojonego ruchu (strefa 30) jest bardzo chętnie stosowana przez zarządców ruchu, wynika to z faktu, że w strefie oznaczanej znakami D-43 i D-44 nie obowiązują szczególne zasady ruchu drogowego, nie potrzeba wyznaczać miejsc do parkowania, można parkować na zasadach ogólnych można stosować skrzyżowania równorzędne, co znacząco ogranicza liczbę stosowanych znaków.

Ponadto przy ograniczeniu prędkości do 30 km/h nie potrzeba stosować dodatkowego oznakowania trwałych elementów, umieszczanych bezpośrednio na drodze.

Strefa 30 dobrze się sprawdza w obszarach zabudowanych z dużą liczbą skrzyżowań, dużym natężeniem ruchu pieszych, rowerzystów, ale i pojazdów. Jednak natężenie ruchu pojazdów ciężarowych (w tym autobusów) powinna być w niej ograniczona.

W artykule przeanalizowano stan nawierzchni z kostki kamiennej zastosowanej na wyniesionych skrzyżowaniach i powierzchniach zjazdów bocznych w strefie 30. Analizowano dwa obszary badawcze, jeden na ulicy zbiorczej położonej na osiedlu, z zabudową jednorodziną i wielorodzinną szeregową, drugi na typowym osiedlu z domami jednorodzinnymi. Powoduje to, że inne jest natężenie ruchu i struktura rodzajowa. W pierwszym po ulicy kursują samochody osobowe, pojazdy komunalne, autobusy i pojazdy ciężarowe, a w drugim obszarze badawczym są to głównie samochody osobowe i tylko pojazdy komunalne.

## Materiały źródłowe

- [1] Bohatkiewicz J., Biernacki S., Drach M. i in., Zasady uspokajania ruchu na drogach za pomocą fizycznych środków technicznych, Ministerstwo Infrastruktury, Warszawa 2008.
- [2] Canadian Guide to Neighbourhood Traffic Calming, Transportation Association of Canada, Ottawa, Canada 1998.
- [3] Directives for the Design of Urban Roads, RASt 06, Road and Transportation Research Association, Köln, Germany 2012.
- [4] Durkin M., Pheby T., York: Aiming to be the uk's first traffic calmed city, 1992, vol. P359, pp. 73–90, Traffic Management and Road Safety,

- Proceedings of Seminar G Held at the PTRC European Transport, Highways and Planning 20th Summer Annual Meeting, September 14-18 1992 London, Vol. P359.
- [5] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z 19 listopada 2008 roku w sprawie zarządzania bezpieczeństwem infrastruktury drogowej 2008/96/WE (Dz.U. UE L.319/59).
- [6] Elvik R., Area-wide urban traffic calming schemes: a meta-analysis of safety effects, *Accident Analysis and Prevention* 2001, 33(3), 327-336. DOI: 10.1016/S0001-4575(00)00046-4.
- [7] Elvik R., Cost-benefit analysis of road safety measures applicability and controversies, *Accident Analysis and Prevention*, 2001, 33, 9-17. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(00\)00010-5](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(00)00010-5)
- [8] Herrstedt L., Kjemtrup K., Borges P., Andersen P., An improved traffic environment – a catalogue of ideas, Danish Road Directorate, Ministry of Transport, Herlev, Denmark 1993.
- [9] Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Washington, USA 2000,
- [10] Huber C.A., Scaramuzza G., Maßnahmen zur Verkehrsberuhigung. Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern, Switzerland 1995.
- [11] Hummel T., Mackie A., Wells P., Traffic calming measures in built-up areas. Literature Review, Swedish National Road Administration, Borlänge, Swedish 2002.
- [12] Kruszyna M., Matczuk-Pisarek M., The effectiveness of selected devices to reduce the speed of vehicles on pedestrian crossings, *Sustainability* 2021, 13, 9678, <https://doi.org/10.3390/su13179678>.
- [13] Mackie A.M., Hodge A.R., Webster D.C. Traffic calming - design and effectiveness of 20 mph zones, 1993, vol. 365, pp. 395-405, *Traffic management and road safety*, Proceedings of Seminar C Held at the PTRC Transport, Highways and Planning Summer Annual Meeting, University of Manchester Institute of Science and Technology, 13-17 September 1993 Manchester, England.
- [14] Ministry of Transport Handboek 30 km/h – maatregelen. Dutch Ministry of Transport, Road Safety Directorate, Hague, Netherlands 1984.
- [15] Ogólne Specyfikacje Techniczne – Nawierzchnia z kostki kamiennej, D – 05.03.01, Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa 1998.
- [16] PN-S-06100, Drogi samochodowe. Nawierzchnie z kostki kamiennej. Warunki techniczne.
- [17] Roads Development Guide, East Ayrshire, Strathclyde Regional Council, London, UK 2010.
- [18] Schab M., Sołowczuk A., Charakterystyka typowych uszkodzeń i deformacji nawierzchni na zatokach autobusowych, cz. 2. nawierzchnie z kostki kamiennej, *Drogi Łądowe – Powietrzne – Wodne*, 2010 nr 10, s. 68–77.
- [19] Sołowczuk A., Majer St., Propozycja metody oceny stanu technicznego nawierzchni zatok autobusowych, V International Conference Kielce'2000 „Durable and safe road pavements”, Kielce 9-10 maja 2000, vol. 2, s. 219–226.
- [20] Sołowczuk A., Majer St., Characteristics of typical damages of pavement in bus coves, Sixth Technical and Scientific Conference With International Participation „ECO - VARNA'2000 – Transport, ecology – stable development”, Varna 18–20 May 2000, pp. 3–10.
- [21] Sołowczuk A., Gardas P., Proponowana metoda oceny stanu nawierzchni w zatokach i na przystankach autobusowych, *Roads and Bridges – Drogi i Mosty*, 2013, 12(4), 425–439, DOI: 10.7409/rabdim.013.027.
- [22] System ewidencji wypadków i kolizji SEWIK, dostęp <https://sewik.pl/> 23.11. 2023.
- [23] System oceny stanu nawierzchni SOSN. Wytyczne stosowania, Warszawa, 1989.
- [24] System oceny stanu nawierzchni SOSN. Wytyczne stosowania, Warszawa, luty 2002.
- [25] Szpinek S., Katalog wybranych uszkodzeń nawierzchni bitumicznych dla potrzeb SOSN, Zeszyt 44, IBDiM, Warszawa, Poland, 1994.
- [26] Speed displays traffic detection, Radar, Detection, Software, Vitronic, Kędzierzyn Koźle 2015.
- [27] Swedish National Road Administration, Traffic safety department traffic calming schemes: opportunities and implementation strategies R-2003-22, Ingrid van Schagen (ed.), SWOV, Leidschendam, Sweden 2003.
- [28] Transportation Association of Canada (TAC) and the Canadian Institute of Transportation Engineers (CITE), Canadian Guide to Traffic Calming, (Second Edition), Transportation Association of Canada, Ottawa 2018, Canada.
- [29] Traffic calming guidelines – chapter 6, Devon County Council, Engineering and Planning Department, Devon, UK 1995.
- [30] Traffic management guidelines, Government Publications Sale Office, Sun Alliance House, Dublin, Ireland 2014.
- [31] Vis A.A., Dijkstra A, Slop M., Safety effects of 30 km/h zones in the Netherlands. Seminar in Copenhagen 14–16 May, 1990. *Accident Analysis & Prevention* 1992 Feb; 24(1):75–86. DOI: 10.1016/0001-4575(92)90074-s.
- [32] Vis A.A., Kaal I., De veiligheid van 30 kmluur-gebieden; Een analyse van letselongevallen in 151 heringerichte gebieden in Nederlandse gemeenten, R-93-17, SWOV, Leidschendam 1993.
- [33] WR-D–63 Katalog typowych konstrukcji nawierzchni jezdni przeznaczonych do ruchu bardzo lekkiego oraz innych części dróg, Ministerstwo Infrastruktury, Warszawa 2022.
- [34] Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych WPSD cz. I, GDDP, Warszawa 2001.
- [35] Wytyczne zarządzania prędkością na drogach samorządowych, pod red. S. Gacy, Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, Kraków/Gdańsk 2016.
- [36] Ziółkowski R. Zachowania kierowców pojazdów w otoczeniu środków uspokojenia ruchu, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok 2022.