WĘZŁY DROGOWE JAKO DZIEŁA INŻYNIERII, ARCHITEKTURY I URBANISTYKI

DOI: 10.37660/integr.2020.6.1.8

WPROWADZENIE

W publikacji przedstawiono zagadnienia węzłów drogowych jako dzieł inżynierii, architektury i urbanistyki. Węzły drogowe są jednymi z największych i najbardziej znaczących obiektów inżynierskich w zagospodarowaniu przestrzennym. Dużą rozległością stwarzają określone problemy przestrzenne i wymagają określenia bardzo starannej lokalizacji oraz rozwiązania funkcjonalno-urbanistycznego, aby zminimalizować konflikty przestrzenno-środowiskowe.

Z drugiej strony stanowią dzieła współczesnej sztuki inżynierskiej o długiej trwałości i są często symbolem przestrzennym obszarów, na których są usytuowane. Pod względem funkcjonalnym węzły jako rozwiązania infrastruktury drogowej powinny odznaczać się odpowiednią przepustowością oraz bezpieczeństwem ruchu drogowego. W aspekcie architektoniczno-urbanistycznym rozwiązania węzłów drogowych powinny zapewnić ciekawe i estetyczne wrażenia wzrokowe użytkownikom przemieszczającym się jezdniami węzła, a ich forma i konstrukcja powinna być pozytywnie odbierana przez obserwatorów z zewnątrz.

Metoda opracowania tematu polega na analizie istniejących rozwiązań węzłów drogowych i analizie porównawczej w ww. aspektach.

W opracowaniu obok podstaw teoretycznych przedstawiono przykłady rozwiązań węzłów drogowych różnych klas pod względem architektoniczno-urbanistycznym oraz wnioski do kształtowania tego typu rozwiązań w zagospodarowaniu przestrzennym.

Analiza zrealizowanych rozwiązań potwierdza, że większość węzłów drogowych przez swe oryginalne i zindywidualizowane rozwiązania to prawdziwe dzieła architektury inżynierskiej, architektonicznej i urbanistycznej.

Autorzy publikacji podjęli ten temat ze względu na jego niewielkie rozpoznanie w literaturze naukowej i technicznej.

STAN BADAŃ NAD WĘZŁAMI DROGOWYMI JAKO DZIEŁEM INŻYNIERSKIM, ARCHITEKTONICZNYM I URBANISTYCZNYM

Przegląd literatury przedmiotu tematu wskazuje, że:

- najwięcej publikacji dotyczy aspektów inżynierskich kształtowania węzłów drogowych [3, 4, 16];

dr hab. inż. Andrzej Zalewski, prof. uczelni, https://orcid.org/0000-0001-8917-141X
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Katedra Architektury i Urbanistyki, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz; andrzej.zalewski2205@gmail.com

dr hab. inż. Jan Kempa, prof. uczelni, https://orcid.org/0000-0002-1769-1923
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Katedra Inżynierii Drogowej, Transportu i Geotechniki, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz; janke@utp.edu.pl

- architektura węzłów drogowych rozważana jest w aspektach:
- rozwiązań obiektów mostowych lub tunelowych tworzących węzeł [3, 4, 19, 24],
- szeroko rozumianej estetyki i piękna [19, 27],
- percepcji elementów węzła przez użytkowników i odbiorców z zewnątrz [1, 25, 27];
- aspekt urbanistyczny podejmowany jest jako:
- element struktury przestrzennej i kształtujący te struktury [5],
- element kompozycji przestrzennej i krajobrazu [18, 20, 23, 25],
- usytuowania węzła w zagospodarowaniu przestrzennym w kontekście zajęcia terenu oraz interakcji między węzłem a zagospodarowaniem [1, 2, 4, 21, 25].

RYS HISTORYCZNY WĘZŁÓW DROGOWYCH

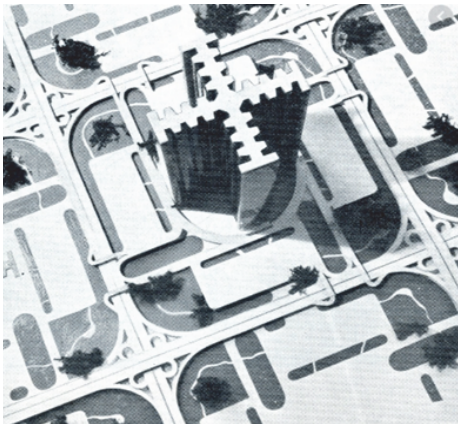
Historia powstawania węzłów drogowych sięga okresu pojawienia się rozwijającej się motoryzacji, tj. przełomu XIX i XX w. Jako pierwszy na świecie traktuje się projekt węzła opracowany przez E. Henarda w roku 1904, który zaproponował dla Paryża skrzyżowanie dróg nakładających się na siebie (rys. 1).

Rys. 1. Węzeł drogowy E. Henarda (1904) – skrzyżowanie dróg nałożonych na siebie – pierwszy projekt węzła drogowego w mieście (źródło: [21])

Fig. 1. E. Henard road interchange (1904) – crossroads imposed on each other – the first project of a road interchange in the city (source: [21])

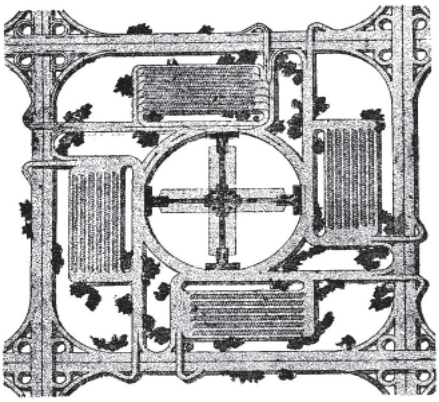
Według obowiązującego dzisiaj nazewnictwa był to węzeł drogowy zbliżony do węzła *karo,* który bardzo dobrze wpisywał się w gęstą zabudowę miejską. Przecinające się kierunki ruchu prowadzone są bezkolizyjnie, natomiast relacje skrętne na jednym z kierunków realizowane są przez skrzyżowania. Rozwiązanie to w czasach, gdy powstało, było nowatorskie, gdyż nikt wcześniej nie wskazał tak efektywnego sposobu usprawnienia ruchu na zatłoczonych ulicach miejskich.

Innym urbanistą pracującym na początku XX w., którego prace w dziedzinie urbanistyki uwzględniały rozwiązania komunikacyjne jako integralny element funkcjonowania miast, był Le Corbusier (I. Jannerret). W swoich modelowych koncepcjach Plan Voisine (1922 r.) – rysunek 2 oraz La Ville Radieuse – Miasto Promienne – rysunek 3 uwzględnił węzły drogowe, bez których rozwój miast nie byłby możliwy. Le Corbusier jako pierwszy zaproponował całkowicie bezkolizyjne węzły typu *koniczyna,* zapewniające wymianę ruchu między głównymi arteriami drogowymi. Różnopoziomowe zjazdy z arterii drogowych zaproponował również na odcinkach między węzłami wyznaczającymi „kwartały" zabudowy. Doceniając wkład Le Corbusiera w rozwój nowych form infrastruktury drogowej w miastach, zauważyć należy, że 100 lat później w gęstej zabudowie miejskiej generalnie unika się zabudowy mieszkaniowej bezpośrednio sąsiadującej z węzłami wielopoziomowymi, a same węzły



Rys. 2. Węzły drogowe – Le Corbusiera – Plan Voisine (1922 r.); (źródło: [21])

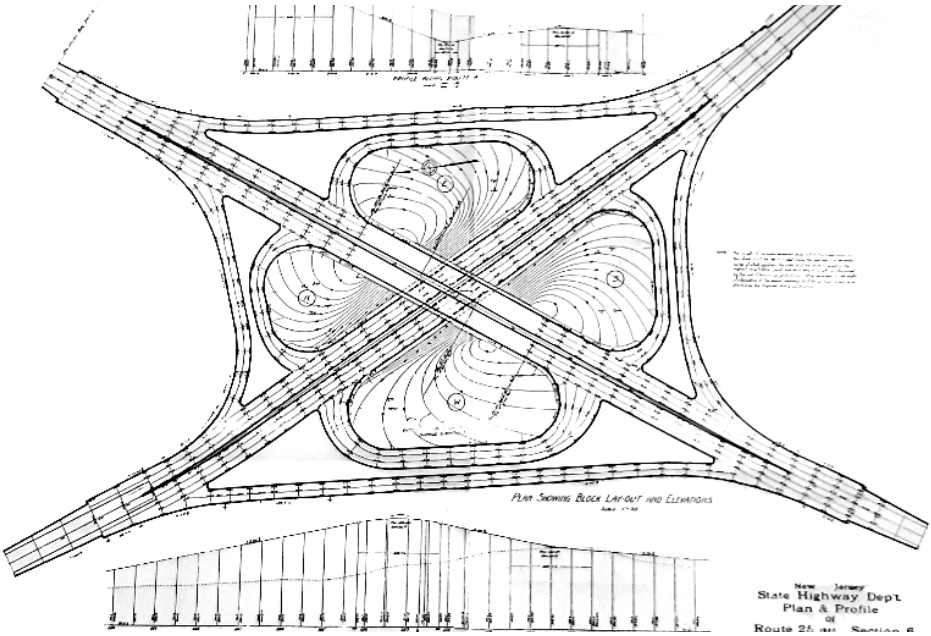
Fig. 2. Roads interchanges by Le Corbusier – Plan Voisine (1922 r.); (source: [21])



Rys. 3. Ville Radieuse (Miasto promienne) 1930 – Schemat dzielnicy administracyjno-gospodarczej (źródło: [21])

Fig. 3. The Radiant City – scheme of administrative and economic district (source: [21])

drogowe służą przede wszystkim do połączenia autostrad, dróg ekspresowych i arterii miejskich (ulice główne ruchu przyspieszonego) z innymi ważnymi drogami miejskimi). Ponadto proponowane przez Le Corbusiera rozwiązanie układu drogowego w Planie Voisne z regularną siatką ulic dwujezdniowych oraz z **węzłami** różnopoziomowymi na ich przecięciu wprowadzają w strukturę miejską efekt bariery przestrzennej, który niesie za sobą budowa dróg szybkiego ruchu, co znacząco



Rys. 4. Pierwszy zrealizowany węzeł drogowy na świecie US Transportation Dep. (źródło: [16])

Fig. 4. First interchange in the world US Transportation Dep. (source: [16])

Rys. 5. Pierwszy węzeł drogowy zrealizowany w Warszawie – Most ks. J. Poniatowskiego z ul. Wioślarską i Wisłostradą (źródło: [6])

Fig. 5. The first completed road junction realized in Warsaw – The Bridge of Prince J. Poniatowski from Wioślarska Street and Vistula Route (source: [6])

utrudnia funkcjonowanie obszarów między nimi zawartych.

Za pierwszy zrealizowany węzeł drogowy na świecie uważa się powstały w USA węzeł na autostradzie stanowej w New Jersey. Jest to węzeł *koniczyna*, którego plan sytuacyjny i profile podłużne jezdni głównych pokazano na rysunku 4. Został zbudowany w 1928 r. w Woodbridge Township na przecięciu dróg 4 (obecnie New Jersey Route 35) oraz nr 25 (obecnie US Route 189). Węzeł nadal funkcjonuje w oryginalnej formie z niewielkimi modyfikacjami geometrii węzła [15].

Zdaniem autorów pierwszym zrealizowanym węzłem drogowym w Warszawie, a chyba również i w Polsce jest węzeł zbudowany na początku lat sześćdziesiątych XX w. na połączeniu Al. Jerozolimskich – most ks. J. Poniatowskiego z ówczesną ul. Czerniakowską biegnącą wzdłuż lewego brzegu Wisły (obecnie Wisłostrada – odc. ul. Wioślarskiej) – rysunek 5.

Węzeł ten pozwalał na połączenie obu ciągu komunikacyjnych. Łącznica południowa prowadzona częściowo na estakadzie umożliwiała ruch dwukierunkowy. W okresie swego powstania węzeł uważany był za prawdziwe dzieło inżynierskie, bardzo dobrze wpisujące się w krajobraz i w zagospodarowanie przestrzenne Warszawy, symbol postępu w drogownictwie rozwijającego się miasta. Kilkakrotnie przebudowywany, funkcjonuje również obecnie. Jest to rozwiązanie dobrze wpisujące się w zagospodarowanie przestrzenne warszawskiego Powiśla i lubiane przez użytkowników.

PODSTAWY ARCHITEKTONICZNEGO KSZTAŁTOWANIA WĘZŁÓW DROGOWYCH

Węzły drogowe, które są kombinacją budowli inżynierskich drogowo-mostowych, podlegają tym samym prawom kształtowania co budynki. Oznacza to konieczność spełniania przez nie określonych zasad i reguł. Według Witruwiusza – rzymskiego architekta z I w p.n.e. – dzieło architektoniczne powinno spełniać wymagania [26]:

- trwałości (*firmitas*),
- funkcjonalności (*utilitas*),
- piękna (*vernustas*).

Reguły architektury według Witruwiusza tworzą:

- *ordinatio* – uporządkowanie, ułożenie poszczególnych części dzieła oraz proporcji całej budowli, która wynika ze stosunku liczbowego, zaś stosunek ilościowy jest modułem opartym na poszczególnych jej elementach;

- *disposito* – dążenie do uzyskania wykwitu dzieła przez odpowiednie zestawienie elementów budowli. Można go osiągnąć przez właściwe zestawienie poszczególnych członków budowli, czyli odpowiedni stosunek wysokości do szerokości, szerokości do długości oraz przestrzeganie reguł symetrii;
- *decor* – stosowność budowli, czyli nienaganny wygląd całości skomponowanej z poszczególnych elementów, uznanych za dobre;
- *distributo* – czyli ekonomia, zaleca odpowiednie gospodarowanie materiałami i przestrzenią, a także oszczędność i umiarkowanie w planowaniu wydatków budowlanych.

Wszystkie te zasady opisywane przez Witruwiusza w kontekście budowy świątyń lub innych budowli miejskich, które królowały w starożytności i w średniowieczu, są stosowane niemal automatycznie w budownictwie mostowym i komunikacyjnym, są aktualne również i obecnie w budownictwie inżynieryjno-komunikacyjnym i odnoszą się do węzłów drogowych.

W opinii autorów nie wszystkie węzły drogowe są rozwiązaniami spełniającymi przedstawione powyżej kryteria oraz adekwatnymi do uwarunkowań przestrzenno-krajobrazowych oraz funkcjonalnych, które mogą ulegać zmianie w czasie swojego funkcjonowania w danych warunkach zagospodarowania przestrzennego. Niemniej jednak wiele rozwiązań na miano dzieł zasługuje.

Powstaje więc zasadnicze pytanie: czy wszystkie węzły drogowe są dziełami inżynierii, architektury i urbanistyki, a jeśli nie – to jakie? Jakie kryteria powinien spełniać węzeł drogowy, aby można powiedzieć, że jest dziełem inżynierii budowlanej, architektury i urbanistyki? Zanim przedstawiona zostanie odpowiedź na powyższe dwa pytania, należy najpierw odpowiedzieć i określić, co to jest dzieło inżynierskie, architektoniczne i urbanistyczne.

Wychodząc z definicji dotyczącej dzieła sztuki i nieruchomego dzieła sztuki zawartych w [13], autorzy proponują przyjęcie dla potrzeb dalszych analiz definicji dzieła budowlanego, inżynierskiego i architektonicznego jako nieruchomego całościowego wytworu technicznego o wysokich walorach artystycznych (piękno) i funkcji użytkowej. Jego twórcą jest człowiek – istota wyposażona w specyficzną wrażliwość. Dzieło będące produktem stara się ukazać za pomocą określonej konwencji (formy) pewną rzeczywistość fizyczną lub/i psychiczną. Węzeł drogowy jako dzieło inżynierskie (budowlane) i architektoniczne stanowi wytwór techniczny charakteryzujący się pięknem, walorami użytkowymi (przez możliwość połączenia różnych kierunków dróg i prowadzenia ruchu drogowego) oraz bezpieczeństwem i sprawnością rozwiązania technicznego i funkcjonalnego, swoją oryginalną i zindywidualizowaną formą przestrzenną oraz estetycznym wkomponowaniem w otaczające zagospodarowanie przestrzenne i krajobraz.

Węzeł drogowy można określić jako dzieło urbanistyczne, jeśli spełnia powyższe kryteria odnoszące się do inżynierskiego dzieła budowlanego i architektonicznego oraz wkomponowuje się w otaczające zagospodarowanie przestrzenne i krajobraz w sposób estetyczny. Węzeł drogowy umożliwia równoczesne sprawne prowadzenie ruchu drogowego i bezkonfliktowe funkcjonowanie zagospodarowania przestrzennego bez nadmiernych uciążliwości środowiskowych w danym momencie (przekroju) czasowym. Uwzględnienie wymiaru czasu w definicji dzieła urbanistycznego jest niezwykle ważne, gdyż stan zagospodarowania przestrzen-

nego zmienia się w czasie i rozwiązanie spełniające kryteria dla danego przekroju czasowego, w innym przekroju czasowym, przy zmianie warunków ciążeń i wielkości ruchu oraz funkcjonowania otoczenia może być postrzegane przez specjalistów z dziedziny urbanistyki i mieszkańców danego obszaru w sposób negatywny, dyskwalifikujący dane rozwiązanie jako dzieło.

Należy ponadto pamiętać, że dane rozwiązanie techniczno-użytkowe można nazwać dziełem inżynierii budowlanej i architektury, jeśli wyróżnia się oryginalnością wśród innych rozwiązań.

WĘZŁY DROGOWE JAKO ELEMENT KOMPOZYCJI I STRUKTUR PRZESTRZENNYCH

Węzły drogowe są bardzo ważnym elementem kompozycji i struktur przestrzennych. Prace teoretyczne Lyncha [18] i Wejcherta [25] wskazują na bardzo ważną rolę dróg i ulic w kształtowaniu struktur przestrzennych miast oraz ich specyfikę oraz integralność z innymi elementami fizjonomii miast. Podobnie jak drogi i ulice węzły drogowe są elementami struktur przestrzennych i kształtującymi te struktury [5].

Rola i specyfika dróg jako elementów zagospodarowania przestrzennego wg Wejcherta [25] polega na tym, że: „drogi i ulice, z towarzyszącą nieodłącznie architekturą ruchu, wprowadzają na scenę miasta w ramy nieruchomych form otoczenia element zmienności. Człowiek staje się tu uczestnikiem przestrzeni, a w pewnym sensie i aktorem na tej rozległej scenie. Główne ulice wraz ze swoim bezpośrednim sąsiedztwem, eksponowanymi budynkami oraz ich wzajemnym powiązaniem najlepiej znane mieszkańcom, stają się symbolami miasta. Są elementami przestrzennymi często dla wielu ludzi »najbliższymi«". Powyższa teza odnosi się również do skrzyżowań i węzłów drogowych.

Lynch [18] i Wejchert [25] wśród elementów fizjonomii miasta zwracają uwagę na specyfikę pasm granicznych, którymi prowadzane są drogi i ulice, a także na węzły drogowe jako punkty węzłowe elementów kompozycji przestrzennej. Oddziałują one na użytkowników przestrzeni miejskiej i stwarzają unikalne możliwości kształtowania przestrzeni oraz ekspozycji jej elementów oraz powstawania specyficznych wrażeń przestrzennych.

Według Wejcherta [25]: „W wielu miastach drogi samochodowe tworzą pasma graniczne przecinające miasto w sposób brutalny, aczkolwiek niepozbawione uroku rozwiązań inżynierskich. W pasmach granicznych pojawia się wiele interesujących, a nawet zaskakujących punktów widokowych, pozwalających obserwatorowi na mniej lub bardziej świadome dokonanie syntezy charakterystycznych i unikalnych cech środowiska miejskiego. Punkty widokowe w pasmach granicznych odsłaniają bowiem dalekie widoki całych zespołów urbanistycznych, dając możliwość oglądania ścian panoramicznych. Można ocenić piękno sylwety widocznej wyłącznie z tego pasma granicznego.

[…] W pasmach granicznych, przez które przebiegają np. estakady i wiadukty dróg szybkiego ruchu, pojawiają się konstrukcje nośne tych estakad, tworząc na pierwszym planie specyficzne ramy dla widoków na różne rejony. Pomimo całej uciążliwości wielkich arterii w pasmach granicznych, nie można pominąć tych wyjątkowych obrazów w analizie struktury miast największych i aglomeracji. Pasma graniczne są zjawiskiem przestrzennym, mogą stanowić także progi psychiczne [..]" [25].

„Wybitne elementy krajobrazu zarysowują się w pamięci obserwatora jako wizytówka otoczenia miasta, a także jako nieodłączna część wielu obrazów ulic czy regionów miasta.

[…] Punkty węzłowe charakteryzują się z jednej strony dużym natężeniem ruchu, są więc ważne funkcjonalnie – a także są zapamiętywane dzięki specyficznej formie przestrzenne".

Punkty węzłowe pełnią w wyobrażeniach człowieka o mieście bardzo doniosłą rolę, zwłaszcza jeśli znajdują się w obszarach o wybitnych cechach indywidualnych. Przyciągają one bardzo często ludzi, ulegających fascynacji szybkim ruchem, nieustanną zmianą sytuacji przedmiotów w sprawnej technicznie maszynie [25].

Wejchert [25] zauważa także, że: „Obraz każdego z elementów krajobrazu miejskiego może być przez mieszkańców odczytywany subiektywnie, dostarczając różnorodnych wrażeń. Przeżywanie przestrzeni otaczającej i siła tego przeżywania ma skalę niesłychanie rozległą. Pozorne niedostrzeganie przestrzeni otaczającej powoduje, że obserwator od układów stałych kieruje swą uwagę na układy zmienne, w tym m.in. na ruch samochodowy. …

Złożony węzeł przestrzenny jako charakterystyczny akcent plastyczny miasta jest widziany w skrótach z wielu punktów. Z węzła otwiera się również szereg dalekich i bliskich widoków na różne części miasta…".

W opinii Wejcherta [25]: „Złożoność postaw wobec architektury przestrzeni pozwala za piękne uznać te założenia i zespoły, które odpowiadałyby jednocześnie wszystkim wymaganiom funkcjonalności, ekonomiki, spełniały swoje zadania społeczne, tworząc ramy dla różnych nurtów życia ludzkiego, których oglądanie dostarczałoby przyjemności zadowolenia".

Rozwiązania dróg, ulic i węzłów pełnią również rolę edukacyjną społeczeństwa, gdyż: „Otoczenie tworzone przez człowieka kształtuje smak estetyczny, wrażliwość, upodobania społeczeństwa, dając zadowolenie, wypoczynek i rozbudzając rozwój zdolności twórczej, jeśli jest harmonijne, piękne lub otępiać człowieka i wyzwalając rozwój najgorętszych cech społecznych, jeśli jest brzydkie, rażące nieporządkiem i brakiem wartości technicznych" [25].

WĘZŁY DROGOWE JAKO ELEMENTY ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO I INFRASTRUKTURY TRANSPORTOWEJ

Każdy węzeł drogowy jako budowla inżynierska powinien spełniać liczne, często bardzo trudne do pogodzenia warunki [22]:

- bezpieczeństwo ruchu,
- sprawność określona dostosowaniem rozwiązania do wymagań ruchu oraz zapewnieniem pożądanego standardu podróżowania,
- ekonomiki określonej minimalizacją kosztów budowy i eksploatacji przy zachowaniu ustalonych standardów bezpieczeństwa i sprawności ruchu.

Powinny ponadto charakteryzować się:

- elastycznością rozwiązania, zapewniającą możliwość etapowania,
- minimalnym zajęciem terenu,
- najmniejszym ujemnym oddziaływaniem na środowisko,
- estetyką obiektów inżynierskich wkomponowanych w otoczenie.

Według aneksu II do europejskiej umowy dotyczącej głównych arterii drogowych Komitetu Transportu Europejskiej Komisji Ekonomicznej ONZ [15] węzły na drogach międzynarodowych powinny spełniać następujące podstawowe warunki:

1) być proste w swej formie geometrycznej, a występując w tym samym ciągu – w miarę zunifikowane: unifikacja rozwiązań geometrycznych powinna wynikać z faktu, że kierowca oczekuje tej samej formy geometrycznej dla danego manewru, nawet na węzłach różnych typów;
2) forma węzłów powinna uwzględniać topografię terenu, odpowiadać strukturze kierunkowej potoków pojazdów i klasom krzyżujących się dróg oraz uwzględniać ewentualność budowy specjalnych wjazdów na płatne autostrady;
3) zjazdy (wyjazdy) z autostrady i wjazdy na nią powinny odbywać się raczej z prawej strony jezdni głównej, zawsze za pośrednictwem pasów wyłączania i włączania, których długości powinny uwzględniać prędkość i natężenie ruchu na jezdni głównej.

Zdaniem Krystka [16] „Wybór sposobu podejścia do zagadnienia projektowania węzła zależy głównie od rangi i lokalizacji krzyżujących się dróg. W warunkach miejskich i podmiejskich coraz częściej projektuje się węzły o parametrach mniejszych od zalecanych, uzyskując w ten sposób dość wysoki wskaźnik jakość/koszty. Rozwiązania takie są zdecydowanie lepsze od tych, cechujących się gigantomanią, będących rozwiązaniami nie wskazaniami nie tylko ze względów środowiskowych, ale głównie z powodu warunków i bezpieczeństwa ruchu. Rozwiązania o parametrach ponadnormatywnych zachęcają do rozwijania zbyt dużych prędkości, co znakomicie przyczynia się do nieprzestrzegania pierwszeństwa przejazdu oraz innych poleceń podawanych za pomocą sygnałów. Tak więc trafny wybór typu, odpowiadającego wymaganiom stawianym przez ruch oraz właściwe określenie rozmiarów węzła, tworzą następnie warunki jego prawidłowego funkcjonowania".

Węzły drogowe są budowlami inżynierskimi wymagającymi uwzględnienia wielu danych wyjściowych z zakresu: zagospodarowania przestrzennego, ruchu drogowego i jego bezpieczeństwa, drogownictwa, geotechniki, budowlanych konstrukcji mostowych, architektury, estetyki, kompozycji przestrzennej, socjologii i psychologii, ekonomii.

Kształtowanie geometryczne węzłów drogowych wymaga od zespołu projektantów rozwiniętej wyobraźni przestrzennej i twórczego myślenia z uwzględnieniem wartości środowiska (w tym wartości krajobrazowych) oraz jego ochrony, wartości historycznych czy zasobów dziedzictwa kulturowego. Ponadto należy zachować wymogi inżynierii ruchu drogowego i bezpieczeństwa użytkowników dróg, a także estetyki. Estetyczne otoczenie przyczynia się do poprawy jakości życia. Estetyka stała się już ważną i powszechnie uznawaną uniwersalną wartością. Estetycznie ukształtowane środowisko ma pozytywny wpływ na zachowania, nie tylko transportowe, użytkowników dróg, a tym samym również i na bezpieczeństwo ruchu [26].

Ze względu na bardzo dużą złożoność i różnorodność kryteriów projektowych projektowanie ma charakter wielostadialny i wielowariantowy. Projektanci węzłów drogowych dużo uwagi poświęcają odpowiedniemu wkomponowaniu i wykorzystaniu walorów terenu przeznaczonego pod projektowany węzeł drogowy.

O niezwykłości rozwiązań jako dzieł inżynierii budowlanej, architektury i urbanistyki świadczy ich wielość oraz duża różnorodność rozwiązań funkcjonal-

no-przestrzennych. Istnieje wiele klasyfikacji węzłów drogowych opartych przede wszystkim na stopniu bezkolizyjności i dostępności oraz liczbie krzyżujących się połączeń [15, 16, 22].

Klasyfikacja według stopnia bezkolizyjności dzieli węzły drogowe na trzy grupy[2] [15, 16, 22]:

- węzły bezkolizyjne typu WA – bez przecinania się torów jazdy i z relacjami skrętnymi realizowanymi tylko jako manewry wyłączania, włączania i przeplatania się potoków ruchu (rys. 6–9),

Rys. 6. Węzeł „koniczyna" Piotrków Trybunalski (Polska) – autostrada A1 i droga ekspresowa S8 (źródło: [8])

Fig. 6. Interchnge „cloverleaf" Piotrków Trybunalski (Poland) – motorway A1 and experssway S8 (source: [8])

Rys. 7. Węzeł „trąbka" Stanisławie (Polska) – auto-strada A1 (źródło: [6])

Fig. 7. Interchange „trumpet" Stanisławie (Poland) – motorway A1 (source: [6])

Rys. 8. Węzeł „Krzyż maltański" A4, A12 – Vlietbuurt – Niderlandy (źródło: [10])

Fig. 8. Interchanger „Maltese Cross" A4 and A12 Vlietbuurt – The Netherlands (source: [10])

Rys. 9. Węzeł „turbina" Montreal Quebec (źródło: [6])

Fig. 9. Interchanger „turbine" Montreal, Quebec (source: [6])

[2] W klasyfikacji zawartej w [15] do węzłów drogowych zaliczane są również rozwiązania polegające na połączeniu dróg bocznych do drogi głównej tylko przez skręty w prawo – Grupa D oraz jako grupa E – bezkolizyjne przecięcia dróg bocznych bez połączeń między nimi.

- węzły z ograniczoną kolizyjnością, częściowo bezkolizyjne typu WB – z przecinaniem się torów jazdy niektórych relacji na jednej z dróg; w ramach węzła funkcjonuje wówczas na tej drodze skrzyżowanie lub ich zespół, jednak relacje o dominujących natężeniach są prowadzone bezkolizyjnie (rys. 10);
- węzły kolizyjne typu WC – z jezdniami dróg krzyżującymi się w różnych poziomach, natomiast relacje skrętne na obu drogach odbywają się na skrzyżowaniach (rys. 11).

Najbardziej rozbudowaną klasyfikacją węzłów drogowych, uwzględniającą łącznie 193 węzły podzielone na 8 grup i 9 podgrup, jest klasyfikacja według Ken-ichi-Takebe [14] zawarta w pracy [16]. Węzły drogowe zostały sklasyfikowane jako:

1. węzły symetryczne względem punktu (liczba rozwiązań: 73),
2. węzły symetryczne względem osi jednej trasy (20),
   2.1. przeplecione jezdnie dla ruchu na wprost (10),
   2.2. drogi piętrowe dla ruchu na wprost (20),
3. węzły asymetryczne (16),
4. węzły z przeplataniem (8),
   4.1. węzły z przeplataniem i węzłami kolizji (14),
   4.2. przeplatanie na jezdniach głównych (1),
5. węzły z punktami kolizji (31),
6. węzły niepełne (4),
7. węzły kombinowane (3),
8. węzły trójwlotowe (18),
   8.1. węzły bezkolizyjne (10),
   8.2. węzły z przeplataniem (4),
   8.3. węzły z punktami kolizji (4),
   8.4. węzły kombinowane (2),
   8.5. węzły wielowlotowe (2).

Rys. 10. Węzeł drogowy typu B „karo" Bydgoszcz (Polska), Trasa Uniwersytecka na skrzyżowaniu z ul. Fordońską; (źródło: [11])

Fig. 10. Interchange type B „diamonds" Bydgoszcz (Poland); University Road at the intersection with Fordońska Street; (source: [11])

Rys. 11. Węzeł drogowy typu C – droga krajowa nr 2 i droga wojewódzka nr 803 (Żelków Kolonia – Polska) (źródło: [8])

Fig. 11. Interchange type C – national road no 2 and regional road no 803 (Żelków Kolonia – Poland) (source: [8])

W projektowaniu węzłów przyjmuje się zasadę (poza nielicznymi wyjątkami), że muszą być one kompletne, czyli powinny mieć połączenia wszystkich kierunków z sobą. Brak jakieś relacji na węźle powoduje zaskoczenie kierowców, głównie obcych, nieznających węzła i wskutek tego węzły niepełne stwarzają kłopoty eksploatacyjne.

PRZEGLĄD WYBRANYCH PRZYKŁADÓW REALIZACYJNYCH WĘZŁÓW DROGOWYCH JAKO DZIEŁ INŻYNIERII, ARCHITEKTURY I URBANISTYKI

Węzły drogowe, jak wspomniano wcześniej, charakteryzują się dużą różnorodnością i oryginalnością rozwiązań. Wiele z nich jest prawdziwymi dziełami sztuki inżynierskiej i architektury. Dotyczy to przede wszystkim węzłów, na których krzyżują się drogi wysokich klas, prowadzą duże potoki ruchu, z dużymi natężeniami w relacjach skrętnych, co wymusza projektowanie łącznic bezpośrednich i półbezpośrednich, powierzchnia terenu jest ograniczona, co wymaga od projektujących dużych umiejętności geometrycznego kształtowania tych rozwiązań, a także prawidłowego, zgodnego z zasadami sztuki, wpisania węzła w krajobraz i zagospodarowanie przestrzenne. Poniżej przedstawiono kilka wybranych przykładów, które zdaniem autorów – ze względu na swoje unikalne rozwiązania – mogą pretendować do określenia ich jako dzieła. Na rysunku 12 pokazano największy na świecie węzeł drogowy pod względem wielkości potoków ruchu drogowego. Jest nim czterowlotowy bezkolizyjny węzeł Harry'ego Pregersona w Los Angeles (Kalifornia, USA), usytuowany na przecięciu dróg stanowych 110 i 105. Jest to rozwiązanie zrealizowane jako pięciopoziomowe. Najwyższe estakady prowadzone są na wysokości 40 m w stosunku do poziomu terenu. Zastosowane rozwiązania geometryczne węzła przyczyniły się do poprawy bezpieczeństwa i zwiększenia przepustowości, a tym samym do zmniejszenia zatorów. Węzeł z uwagi na swo-

Rys. 12. Węzeł drogowy Harry'ego Pregersona – Los Angeles (USA) – (im. sędziego H. Pregersona); (źródło: [7])

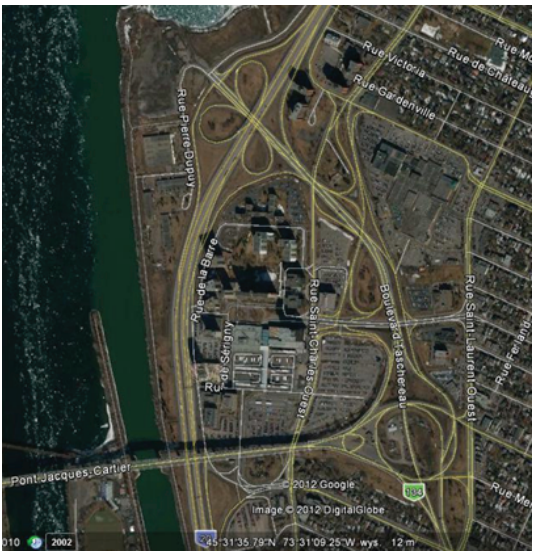
Fig. 12. Harry Preggerson Interchange – Los Angeles (USA) – (name of judge H. Pregerson); (source: [7])

Rys. 13. Węzeł „Turcot" w Montrealu (Quebec) – najbardziej obciążony węzeł drogowy w Kanadzie (źródło: [8])

Fig. 13. The „Turcot" in Montreal (Quebec) – interchanger is most busy road interchange in Canada; (source: [8])

Rys. 14. Gliwice Sośnica – największy węzeł drogowy w Polsce (źródło: [13])

Fig. 14. Gliwice Sośnica (Poland) – the largest road junction in Poland (source: [13])



Rys. 15. Longeuil (Quebec) – układ węzłów zespolonych w centrum miasta w pobliżu Mostu J. Cartier przez rzekę Św. Wawrzyńca, łączący z Montrealem (źródło: [8])

Fig. 15. Longeuil (Quebec) – layout of interconnected interchangers near the J. Cartier Bridge by the San Laurence River connecting with Montreal (source: [8])

ją unikatowość został wyróżniony wieloma nagrodami. Jest bardzo rozpoznawalnym obiektem na świecie.

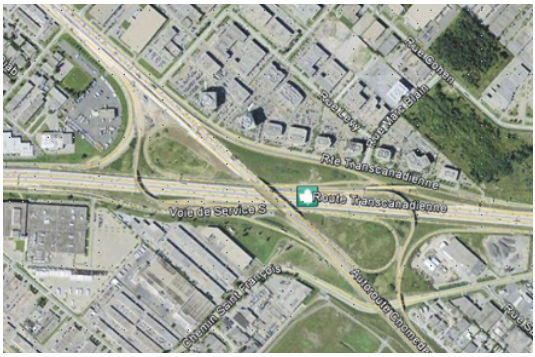
Węzeł ten na początku XXI w. obsługiwał codziennie ponad 80 000 P/d . Jego specyfiką jest pięć wlotów oraz usytuowanie w śródmieściu Montrealu. Został zbudowany w latach pięćdziesiątych ubiegłego stulecia. Nadal spełnia funkcję obsługi dużych potoków ruchu miejskiego, lecz wydaje się, że wobec aktualnych tendencji ograniczania ruchu drogowego w śródmieściach miast z pewnością obecnie nie byłby zbudowany w takiej formie jak na rysunku 13.

Za dzieło inżynierii, architektury i urbanistyki można z pewnością uznać największy węzeł drogowy w Polsce, a według Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad również i w Europie, czyli węzeł Sośnica w Gliwicach, który obsługuje ruch na autostradach A1, A4 oraz drogowej trasie średnicowej DTŚ (droga ekspresowa) i drodze krajowej nr 44 (ul. Pszczyńska). W obecnej formie funkcjonuje od końca 2009 r. (rys. 14).

Obsługa ruchu realizowana jest 32 bezkolizyjnymi łącznicami oraz przejazdem na wprost ul. Pszczyńską, a także relacjami kolizyjnymi w postaci ronda z sygnalizacją świetlną, pozwalającymi na wjazd oraz zjazd z ul. Pszczyńskiej [13]. Można rzec, że węzeł Sośnica jest drogowym sercem Górnego Śląska, umożliwiającym dojazd do najważniejszych miast Metropolii Silesia.

Zdaniem autorów, do dzieł inżynierii budowlanej, architektury i urbanistyki zaliczyć można układ węzłów zespolonych w centrum

miasta w pobliżu Mostu J. Cartier przez rzekę św. Wawrzyńca, łączący Longeuil z Montrealem, przedstawiony na rysunku 15. Oryginalność tego rozwiązania polega na wpisaniu w strukturę przestrzenną miasta arterii drogowych łączących się bezkolizyjnie z autostradą prowadzoną wzdłuż rzeki.



Rys. 16. Montreal (Quebec) – węzeł typu WA o małym kącie przecinających się dróg (źródło: [8])

Fig. 16. Montreal (Quebec) Interchanger type A with a small angle of inter-section roads (source: [8])

Na miano dzieła zasługuje również rozwiązanie węzła drogowego pokazanego na rysunku 16, w którym krzyżują się dwie autostrady. Jest to węzeł typu WA przy małym kącie krzyżowania przecinających się dróg, z dwiema łącznicami bezpośrednimi i półbezpośrednimi oraz jezdniami serwisowymi jednej z autostrad.

Węzeł usytuowany jest w warunkach intensywnej zabudowy miejskiej przy bardzo ograniczonej powierzchni dostępnego terenu. Zaprojektowanie bezkolizyjnego węzła przy tych znaczących uwarunkowaniach zostało zrealizowane w sposób perfekcyjny i zdaniem autorów predestynuje to rozwiązanie do zaszczytnego określenia dzieła inżynierii budowalnej, architektury i urbanistyki.

Rys. 17. Najbardziej skomplikowany węzeł drogowy na świecie Huangjuewan (drogowy rollercoaster) – Chongqing (Chiny). Huangjuewan Motorway Interchange (źródło: [13])

Fig. 17. Interchange Huangjuewan (road rollercoaster) – most complicated road interchange in the world - Chongqing (China). Huangjuewan Motorway Interchange (źródło: [13])

Do dzieł inżynierii budowlanej ze względu na skomplikowaną formę przestrzenną i techniczną zaliczyć można rozwiązanie uważane za najbardziej skomplikowany węzeł drogowy na świecie Huangjuewan Motorway Interchange (drogowy „rollercoaster"), usytuowany w mieście Chongqing w Chinach (rys. 17). Węzeł ma ok. 20 łącznic prowadzonych w pięciu poziomach i łączy drogi w 8 kierunkach, w tym 3 drogi ekspresowe. Unikatowe w skali światowej rozwiązanie może budzić duże wątpliwości w kontekście architektonicznym i urbanistycznym. Niemniej jednak sam fakt połączenia aż 8 kierunków dróg powoduje jego skomplikowanie i jednocześnie sprawia, że bezkolizyjne przeprowadzenie wszystkich łącznic wymusza jego wielopoziomowość.

Podobnie jak inne rodzaje dzieł inżynierii i architektury węzły drogowe mogą być odbierane w szczególny sposób w różnych warunkach oświetlenia i o różnej porze dnia. Przykładem wręcz wyjątkowego dzieła inżynierskiego jest estakada im.

M. Sudaka na węźle drogowym w Toruniu, która prowadzi ruch drogowy od strony miasta na most drogowy przez Wisłę. Estakada odznacza się szczególnymi walorami estetycznymi. Odpowiednio dobrane oświetlenie nocą te walory znacząco wzbogaca i czyni ten element infrastruktury niezwykle atrakcyjnym przestrzennie (rys. 18).

Rys. 18. Węzeł drogowy w Toruniu – estakada M. Sudaka nocą – przykład architektury mostowej – symbol kompozycji przestrzennej i punkt orientacyjny (źródło: [12])

Fig. 18. Road Interchange in Toruń – Overflow M. Sudak by night – an example of spatial composition and landmark (source: [12])

W opinii autorów publikcji cały węzeł drogowy prowadzący do mostu jest dziełem inżynierskim, architektonicznym i urbanistycznym. Wspomniana estakada podwieszanym pomostem opartym o dwa pylony wraz ze wstęgami łącznic bardzo dobrze została wpisana w krajobraz i jest symbolem współczesnej architektury mostowej nie tylko miejsca, gdzie się znajduje, ale również naszego kraju. Pod względem urbanistycznym cały węzeł estetycznie wpisuje się w strukturę przestrzenną.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawione w opracowaniu rozważania dotyczące węzłów drogowych jako dzieł inżynierskich, architektonicznych i urbanistycznych wskazują, że węzły drogowe są:

- integralnym elementem struktur przestrzennych miast i terenów pozamiejskich,
- elementem tych struktur, jak również elementem kształtującym te struktury, co sprawia, że oddziałują na otaczającą przestrzeń.

Specyfika rozwiązań funkcjonalno-technicznych powoduje, że węzły drogowe są rozwiązaniami:

- wymagającymi szerokiej wiedzy interdyscyplinarnej z zakresu inżynierii drogowej i mostowej, architektury, zagospodarowania przestrzennego, kompozycji przestrzennej, kształtowania krajobrazu, mechaniki ruchu pojazdów oraz estetyki,
- niepowtarzalnymi przez swą formę przestrzenną i każdorazowo odmienne wpisanie w teren i otaczający krajobraz.

Węzły drogowe:

- są jednymi z najtrwalszych elementów struktur przestrzennych,
- zajmują z reguły znaczną powierzchnię i wraz z formą stanowią punkty orientacyjne w przestrzeni.

Jednym z najważniejszych kryteriów stanowiących o walorach funkcjonalno-użytkowych i estetycznych węzłów drogowych jest ich wkomponowanie w otaczające zagospodarowanie przestrzenne, uwzględniające zasady kształtowania przestrzeni.

Spełnienie kryteriów projektowych uwzględniających zapewnienie sprawnego i bezpiecznego funkcjonowania wraz z lokalizacją minimalizującą konflikty z zago-

spodarowaniem przestrzennym sprawia, że węzły drogowe są dziełami inżynierii, architektury i urbanistyki oraz świadectwem czasów, w których zostały zbudowane! Dlatego też ze względu na wieloletnią trwałość rozwiązań oraz wpływ na zagospodarowanie przestrzenne powinny być projektowane w sposób przemyślany, aby dobrze świadczyły o poziomie kultury i inżynierii czasów, w których powstały.

LITERATURA

[1] Buchner A., 1981. Trasy mostowe w krajobrazie miasta. Instytut Urbanistyki i Planowania Przestrzennego Politechniki Warszawskiej, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa – Łódź.

[2] Cała C., 1979. Rola autostrad w zagospodarowaniu przestrzennym na podstawie doświadczeń włoskich. Instytut Urbanistyki i Planowania Przestrzennego Politechniki Warszawskiej, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa – Łódź.

[3] Chrostowska H., Rolla St., Wrześniowski Z., 1975. Autostrady – projektowanie, budowa, ekonomia. WKiŁ Warszawa.

[4] Czarnecki W., 1965. Planowanie miast i osiedli, t. I-VI. Miejsca pracy i zamieszkania, t. II i t. III, Warszawa.

[5] Gawlikowski A.,1992. Ulica w strukturze miasta. Instytut Urbanistyki i Planowania Przestrzennego, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

[6] Google Earth Pro (dostęp: 17.05.2020).

[7] https://www.google.com/&sxsrf=ALeKk01Hj-xEe6DGElDk4UhtQF2xMMgJ6w:1590042412116&source=univ&tbm=isch&q=plan+voisin&ved=2ahUKEwjMlpvJqcTpAhVMEncKHUL-CycQiR56BAgKEAw&biw=1366&bih=630#imgrc=snaTBdyRndxhPM (dostęp: 10.05.2020).

[8] https://www.google.com/maps (dostęp: 20.04.2020).

[9] https://www.google.com/maps/place/Vlietbuurt,+Haga,+Holandia (dostęp: 20.04.2020).

[10] https://www.google.com/maps/search/Bydgoszcz+PKS/@53.1229901, 18.0184386, 276m/data=!3m1!1e3 (dostęp: 17.05.2020).

[11] https://www.google.com/search?q=Estakada+im.+Marka+Sudaka+w+Toruniu&sa (dostęp: 02.04.2020).

[12] https://www.rynekinfrastruktury.pl/wiadomosci/drogi/w-chinach-otwarto-naj-bardziej-pogmatwany-wiadukt-na-swiecie-58766.html (dostęp: 02.04.2020).

[13] https://pl.wikipedia.org/wiki/W%C4%99ze%C5%82_autostradowy_Gliwice-So%C5%9Bnica.

[14] Ken-ichi-Takebe, 1969. Theoretical Analysis of Interchange Compositions. TEJ, 8.

[15] Komitet Transportu Europejskiej Komisji Ekonomicznej ONZ, 1987. Annex II of the European Agreement on Main International Traffic Arteries.

[16] Krystek R. (red. pracy zbiorowej), 1998 i 2008. Węzły drogowe i autostradowe. WKiŁ, Warszawa.

[17] Le Corbusier, 2013. Urbanistyka. Fundacja Centrum Architektury Fundamenty, Warszawa.

[18] Lynch K., 2011. Obraz miasta. Wydawnictwo Archivolta Michał Stępień, Kraków.

[19] Łagoda G., 2001. Wiadukty nad autostradami. Wybrane zagadnienia kształtowania konstrukcyjnego i estetycznego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

[20] Nowicki J., 2001. Kształtowanie środowiska – architektura i urbanistyka w perspektywie przełomu stuleci. Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania w Warszawie, Warszawa.
[21] Ostrowski W., 1975. Urbanistyka współczesna. Arkady, Warszawa.
[22] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dz.U. Nr 43 poz. 430 z dnia 2 marca 1999.
[23] S. Sierakowski, 1812. Architektura obeymuiąca wszelki gatunek murowania i budowania. Tom I, Drukarnia Akademicka, Kraków.
[24] Wasiutyński Z., 1971. Architektura mostów. PWN, Warszawa.
[25] Wejchert K., 1984. Elementy kompozycji urbanistycznej. Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
[26] Witruwiusz M., 1956. O architekturze ksiąg dziesięć. tłum. z łac. K. Kumaniecki, ilustr. P. Biegański i in., PWN, Warszawa.
[27] Żakowska L., 2001. Wizualizacja w projektowaniu dróg. Aspekty bezpieczeństwa i estetyki. Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Architektura, nr 44, Kraków.

WĘZŁY DROGOWE JAKO DZIEŁA INŻYNIERII, ARCHITEKTURY I URBANISTYKI

STRESZCZENIE. Węzły drogowe są jednymi z największych i najbardziej znaczących obiektów inżynierskich w zagospodarowaniu przestrzennym. Swą dużą rozległością powodują określone problemy przestrzenne i wymagają bardzo starannej lokalizacji oraz rozwiązania funkcjonalno-urbanistycznego, aby zminimalizować konflikty przestrzenno-środowiskowe. Węzły drogowe stanowią dzieła współczesnej sztuki inżynierskiej o długiej trwałości i są często symbolem przestrzennym obszarów, na których są usytuowane. Pod względem funkcjonalnym jako rozwiązania infrastruktury drogowej powinny zapewniać odpowiednią przepustowość oraz bezpieczeństwo ruchu. Powinny zapewnić ciekawe i estetyczne wrażenia wzrokowe użytkownikom przemieszczającym się jezdniami węzła, a ich forma i konstrukcja powinny być pozytywnie odbierane przez obserwatorów z zewnątrz. Metoda opracowania tematu polegała na przeglądzie i analizie porównawczej istniejących rozwiązań węzłów drogowych. W publikacji obok podstaw teoretycznych przedstawiono rozwiązania węzłów drogowych różnych typów oraz wnioski do kształtowania tego typu rozwiązań w zagospodarowaniu przestrzennym. Analiza zrealizowanych rozwiązań wskazuje, że większość węzłów drogowych to prawdziwe dzieła inżynierii, architektury i urbanistyki.

Słowa kluczowe: węzły drogowe, autostrada, estetyka, forma przestrzenna, dzieło, inżynieria, architektura, urbanistyka

ROAD INTERCHANGES AS WORKS OF ENGINEERING, ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

SUMMARY. Road interchanges are one of the largest and most significant engineering structures in spatial development. They create specific spatial problems with their large extent and require a very careful location as well as functional and urban solutions to minimize spatial and environmental conflicts. They are the works of modern engineering art with long time durability and are often a spatial symbol of the areas where they are located. In terms of functionality as road infrastructure solutions should be ensuring adequate capacity and traffic safety. Road interchanges should provide interesting and aesthetic visual experience

to users moving on the junction's roads, and their form and structure should be positively received by outside observers.

The method for developing the topic was to review and benchmark existing road junction solutions. In the article, next to the theoretical foundations, solutions of road interchanges of various types and conclusions for shaping such solutions in spatial development are presented. Analysis of implemented solutions indicates that most road interchanges are true works of engineering, architecture and urban planning.

Key words: road interchanges, motorway, aesthetics, spatial form, work, engineering, architecture, urban planning