

Problemy z zapewnieniem przejezdności na rondzie turbinowym typu Basic przy niestandardowych wlotach krzywoliniowych (studium przypadku)

Problems of ensuring traffic flow on a Basic turbo roundabout with non-standard curvilinear entries (a case study)

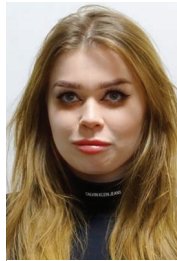


Alicja Sołowczuk

Dr hab. inż., prof. ZUT

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

alicja.solowczuk@zut.edu.pl



Weronika Benedysiuk

Inż.

studentka, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

bw42744@zut.edu.pl

Streszczenie: W dobie wzrastającej ciągle motoryzacji i chęci zapewnienia większego bezpieczeństwa ruchu projektuje się ronda konwencjonalne i ronda turbinowe. Ronda turbinowe dzięki zastosowaniu segregacji ruchu na wlotach i na jezdni ronda zapewniają większe bezpieczeństwo ruchu niż ronda konwencjonalne. W projekcie ronda turbinowego stosuje się zwyczajowo zasady i parametry ronda zalecane w wytycznych holenderskich. Dotyczą one jednak przypadków, gdy wloty ronda nakierowane są prostopadle do siebie, co w praktyce nie zawsze jest możliwe. W artykule podjęto się analizy przejezdności na rondzie turbinowym typu Basic przy wlotach krzywoliniowych nakierowanych względem siebie pod kątem innym niż kąt prosty. Do analiz wybrano w ramach studium przypadku skrzyżowanie na terenie zabudowanym zlokalizowane na przedmieściach Szczecina. W pierwszej fazie projektu ronda turbinowego przyjęto zalecane parametry ronda podane w wytycznych holenderskich w odniesieniu do ronda z pasem separacyjnym szerokości 0,7 m. Po wstępnych analizach korytarzy ruchu przyjętych pojazdów miarodajnych zaszła konieczność indywidualnego projektowania wlotów, ze względu na wloty krzywoliniowe, nakierowane nie prostopadle do siebie. Z analizy zapewnienia korytarzy ruchu na rondzie turbinowym typu Basic przy niestandardowym nakierowaniu wlotów krzywoliniowych wynika, że należy stosować szersze pasy ruchu na jezdni ronda i większe promienie wyokrąglające niż to jest zalecane w wytycznych holenderskich oraz stosować bardziej agresywne skosy wysp dzielących.

Słowa kluczowe: Rondo turbinowe; Pas separacyjny; Analiza korytarzy ruchu; Krzywoliniowe wloty; Najszybsza trasa przejazdu

Abstract: With ever-increasing motorisation and the desire for greater traffic safety, conventional roundabouts and turbo roundabouts are being designed. Turbo roundabouts provide greater traffic safety than conventional roundabouts due to the segregation of traffic at the entries and on the roadway. In the design of a turbo roundabout, the usual roundabout principles recommended in Dutch guidelines can be applied. However, these apply when the roundabout entrances are directed perpendicularly to each other, which is not always possible. This paper undertakes an analysis of the traffic flow on a Basic turbo roundabout with curvilinear entries directed at an angle other than a right angle to each other. A junction in a built-up area located on the outskirts of Szczecin was selected for analysis as a case study. In the first phase of the turbo roundabout design, the recommended roundabout parameters given in the Dutch guidelines were adopted for a roundabout with a 0.7 m wide separation lane. After preliminary swept path analysis of the accepted design vehicles, it became necessary to design the entries individually due to their curvilinear nature and angle. The analysis of the swept paths provision at the Basic roundabout with a non-standard orientation of the curvilinear entries shows that wider lanes and larger corner radius than recommended in the Dutch guidelines should be used. Higher angle splitter island should also be considered.

Keywords: Turbo-roundabout; Raised lane dividers; Swept path analysis; Curvilinear entries; Fastest-path speeds

Wprowadzenie

Przy ciągle wzrastającym postępie gospodarczym i zwiększającym się natężeniu ruchu, co jest przede wszystkim związane z problemami przepustowości i bezpieczeństwa ruchu projektuje się układy komunikacyjne i skrzyżowania zapewniające oczekiwane cele. Między innymi takim rozwiązaniem jest rondo turbinowe. Po

raz pierwszy rondo turbinowe wybudowano w Królestwie Niderlandów w 1996 r. Projektantem i pomysłodawcą pierwszego ronda turbinowego był L.G.H. Fortuijn [18, 33]. Pomysł na rondo turbinowe powstał w wyniku analizy zwiększenia przepustowości rond dwupasowych wraz z zapewnieniem na nich większego bezpieczeństwa ruchu, wynikającego z eliminacji zderzeń bocznych, do których może

dochodzić przy zmianie pasa ruchu. Rondo turbinowe zapewnia: brak konieczności zmiany pasa ruchu na rondzie, brak konieczności ustępowania pierwszeństwa pojazdom jadącym na więcej niż dwóch pasach ruchu oraz małą prędkość na jezdni ronda ze względu na pasy separacyjne z wyniesionym krawężnikiem wysokości 7 cm. W idei ronda turbinowego jest skojarzenie poszczególnych relacji z

Tab. 1. Zestawienie charakterystyki podstawowych zaleceń i wprowadzonych uzupełnień w procesie projektowaniu rond turbinowych

[11, 33]	Zdefiniowano, podstawowe typy rond. Przedstawiono ich projektowanie krok po kroku. Określono zasady klasycznych rond turbinowych. Sformulowano dwa podstawowe założenia projektowe: – pierwsze – wloty powinny być nakierowane prostopadłe do siebie, drugie – samochody osobowe nie mogą najechać na wysepki i pasy separacyjne oraz przejeżdżać przez rondo.
[18, 22, 23, 28, 32]	Zalecono, by na rondach konwencjonalnych wielopasowych zastosować ruch spiralny imitujący ruch na rondach turbinowych. Wprowadzono różne rodzaje oznakowania poziomego na jezdni ronda, bez konieczności stosowania pasa separacyjnego z wyniesionym krawężnikiem.
[8]	Po wstępnych analizach dotyczących długości stosowanych w Nowej Zelandii pojazdów miarodajnych (tj. długości 17,9 m z czterema osiami z tyłu), więc dłuższych niż uwzględniono to w wytycznych holenderskich (16,5 m z trzema osiami z tyłu), w Raportcie zaproponowano korekty położenia wysepki separacyjnej. W zaleceniach projektowych dopuszczono zarówno najazdy na wysepki separacyjną, jak i na część przejeżdżającą ronda przy relacji skrętu w lewo. W publikacji także analizowano korzyści z ruchu pojazdów miarodajnych przy równoczesnej jeździe pojazdów miarodajnych po obu pasach ruchu w relacjach na wprost i w kombinacji relacji skrętu w lewo i relacji na wprost. Pominięto natomiast w analizach równoczesną jazdę na wprost i skręt w prawo, gdyż pojazd wjeżdżający na pas wewnętrzny ronda przejeżdżał zgodnie z założeniami po powierzchni wysepki separacyjnej.
[9]	Przy przyjętych podstawowych parametrach ronda turbinowego wg wytycznych holenderskich [33], przeanalizowano potrzebne szerokości pasów ruchu na jezdni ronda w zależności od przyjętych pojazdów miarodajnych, tj. samochodu ciężarowego długości 9,14 m, autobusu długości 12,36 m ciągnika siodłowego z naczepą długości 15,5 m. Biorąc pod uwagę, że w USA ronda turbinowe są wybudowane bez pasów separacyjnych z wyniesionym krawężnikiem, to zamiast niego autorzy uwzględnili tylko szerokość linii segregacyjnej równą 0,3 m. W publikacji przeanalizowano minimalne szerokości pasów ruchu w odniesieniu do trzech ww. pojazdów miarodajnych na rondach częściowo turbinowych typu: Basic, Egg i Knee, (rondo: mini, małe, średnie i duże).
[39, 40]	Zaproponowano dużo modyfikacji kształtu części nieprzejezdnej ronda, wprowadzając część nieprzejeżdżającą kolistą i zaproponowano różne wersje „spłaszczenia” ronda, dzięki czemu można je było zastosować w ograniczonych powierzchniowo układach komunikacyjnych.
[13, 14, 29, 36]	W publikacjach przeanalizowano różne położenia wysepki separacyjnej ze względu na zapewnienie korytarzy ruchu pojazdów miarodajnych (długości 16,5 m z trzema osiami z tyłu) oraz wykazano pewne nieścisłości tyczenia części przejezdnej ronda i wynikające z nich błędy tyczenia w granicach do 5 cm. W badaniach uwzględniono chorwackie i serbskie zasady oznakowania oraz przyjęto szerokość obu opasek równą 0,5 m, zamiast proponowanej w wytycznych holenderskich szerokości 0,45 m. Na podstawie analizy korytarzy ruchu przyjętych pojazdów miarodajnych zaproponowano: – zastosowanie skorygowanych parametrów turbobloku, w zależności od typu ronda i przyjętej średnicy wyjściowej. – zastosowanie zmiennych promieni wyokrąglających na wjeździe i zjeździe z ronda, zamiast zaproponowanych w wytycznych holenderskich równych 12 m, a także stosowanie luków koszowych o promieniach w granicach 25 – 33 m.
[15]	Wnioski z wcześniejszych badań [13, 14] wykazały, że istniejące procedury projektowania rond, w których analizy trajektorii są przeprowadzane na końcu procesu projektowania, zawierają pewne wady i niedopowiedzenia, które mogą prowadzić do niezadawalającej geometrii ronda, tj. małej przepustowości, małej poprawy bezpieczeństwa ruchu, niskiego komfortu jazdy i wysokich kosztów budowy. W odniesieniu do sformułowanych hipotetycznie nowych propozycji projektowych wykonano badania weryfikujące in situ, potwierdzające wstępne hipotezy.
[26]	Uwzględniono różne specyficzne dla danego kraju projekty rond turbinowych ze szczególnym uwzględnieniem warunków wjazdu na rondo. W analizach uwzględniono przede wszystkim geometryczny układ elementów ronda turbinowego (tj. kształt ronda turbinowego, pasy i wysepki separacyjne), zapewniających fizyczne rozdzielanie ruchu na pasach oraz skuteczność proponowanych innowacyjnych zmian w części wjazdowej (m.in. stosowanie luków koszowych), w porównaniu do zaleceń zawartych w wytycznych projektowych obowiązujących w innych krajach.
[5]	Zaproponowano inny kształt wysepki separacyjnej, jeśli na rondzie zastosowany jest pas separacyjny i zalecono stosowanie pasa separacyjnego szerokości 0,6 m. A także zaproponowano przekształcanie istniejących konwencjonalnych rond dwupasowych na ronda turbinowe z częścią przejeżdżającą o szerokości 1–2,5 m, tyczonych jako przesunięcie części ronda wzdłuż wybranych osi. Ronda te mogą być projektowane z pasami separacyjnymi z wyniesionym krawężnikiem lub mogą to być częściowo turbinowe bez pasów separacyjnych tylko z zastosowanym rozdzielaniem pasów ruchu za pomocą linii oznakowania poziomego.

odpowiednikiem, jakim są relacje na konwencjonalnym rondzie jednopasowym. W wytycznych holenderskich wprowadzono kilka typów rond turbinowych, które powinny spełniać cztery podstawowe zasady [3, 34]:

- na wlotach z dużym natężeniem ruchu powinny być dwa pasy ruchu, rozdzielone pasem separacyjnym i dobrze wskazanymi relacjami za pomocą oznakowania,
- na jezdni ronda powinna być zastosowana czytelna separacja ruchu za pomocą pasa separacyjnego, tak by nie zachodziła potrzeba zmiany pasa ruchu,
- na jezdni ronda musi być zapewniony i dokładnie oznaczony kierunek ruchu, zgodny z zastosowanym oznakowaniem i separacją ruchu na wlotach na rondo, tak by kierowca zajął odpowiedni pas

ruchu przed wjazdem na rondo, d) z pasa zewnętrznego można skręcić w prawo na najbliższym wylocie lub jechać dalej na wprost, a z pasa wewnętrznego można tylko skręcić w lewo lub jechać na wprost.

Jeśli na jakimś rondzie przynajmniej jedna z ww. zasad nie jest dotrzymana, to takie rondo nie jest rondem turbinowym, tylko rondem częściowo turbinowym (w języku niderlandzkim – *Partiële turborotonde*) [3]. Jeśli na rondzie nie zastosowano pasa separacyjnego z wyniesionym krawężnikiem, a segregację ruchu wykonano tylko za pomocą oznakowania poziomego, to takie rondo nazywa się zgodnie z wytycznymi holenderskimi „look-a-like” [3].

W różnych krajach na świecie wy-

budowano już od 1996 r. kilkaset rond turbinowych wg różnych zasad projektowych, (na całym świecie wg danych z [2] w grudniu 2021 było wybudowanych 676 rond, z czego w Królestwie Niderlandów – 396, a w Polsce – 82). Biorąc pod uwagę, że to w Królestwie Niderlandów wybudowano pierwsze rondo turbinowe, to podstawą do ich projektowania były zasady podane w holenderskich publikacjach [11, 18, 33]. Większa część publikacji związanych z rondami turbinowymi związana jest z oceną przepustowości lub bezpieczeństwa ruchu [4, 18, 19, 21, 23, 24, 25, 26, 28, 39]. O zasadach projektowych rond turbinowych, czy ocenie ich działania jest także sporo publikacji i dotyczą one: analizy symulacji ruchu, analizy przejezdności, ocenie szerokości pasów ruchu na jezdni ronda i na wlotach przy różnych konfiguracjach pojazdów miarodajnych, a także lokalizacji pasów separacyjnych i położenia wysepki separacyjnych. Uwzględniając powyższe w kilku krajach wprowadzono w wytycznych projektowych, dotyczących projektowania rond turbinowych, jakieś uzupełnienia, które pokrótce zestawiono w tab. 1.

Powyższe rozważania to tylko część tego, co projektant powinien wziąć pod uwagę przy projektowaniu ronda turbinowego. Kwestia zgodności geometrii ronda i istniejącego parku maszynowego jest aktualna i ściśle związana ze zrównoważonym rozwojem, ponieważ celem planowania układów drogowych jest umożliwienie jak największej mobilności ludności przy zapewnieniu dbałości o środowisko. W procesie projektowym ten cel wymaga od projektantów ciągłej gotowości pójścia na kompromis i prowadzi do ciągłego ulepszania zasad projektowania.

Z przedstawionego przeglądu literatury wynika, że brakuje analiz i wytycznych do projektowania rond z wlotami krzywoliniowymi. W wytycznych holenderskich w przypadku rond turbinowych zaleca się ich projektowanie tylko w przypadku wlotów nakierowanych prostopadłe do siebie i mających przebieg po li-

nii prostej. Jednak w praktyce projektowej spotyka się też inne nakierowanie wlotów, a zachodzi potrzeba zastosowania ronda turbinowego ze względu na potrzebę zwiększenia przepustowości lub poprawę bezpieczeństwa ruchu. Biorąc powyższe pod uwagę w niniejszym artykule przedstawiono studium przypadku zaprojektowania dużego ronda turbinowego typu Basic przy wlotach krzywoliniowych nakierowanych względem siebie nie pod kątem prostym. W pierwszej kolejności wybrano obszar badawczy i zdefiniowano pojazdy miarodajne. Ze względu na warunki rzeczywistej sytuacji krzywoliniowych wlotów i wielkości prognozowanych natężeń ruchu dobrano do analiz rondo duże. W odniesieniu do projektowanego ronda przyjęto jako wyjściowe parametry zalecane w wytycznych holenderskich [33] i zaprojektowano rondo typu Basic. Wykonana analiza przejeźdności wykazała, że nie są zachowane korytarze ruchu wybranych pojazdów miarodajnych. Biorąc powyższe pod uwagę wykonywano iteracyjne korekty na poszczególnych wlotach, w celu zapewnienia korytarzy ruchu. Po kilku iteracjach osiągnięto postawiony cel, czyli po kolejnych poszerzeniach pasów ruchu na jezdni ronda, odgięciu wlotów i korekcie lokalizacji wysepki separacyjnej otrzymano zapewnienie korytarzy ruchu na zaprojektowanym rondzie. Na podstawie wykonanych analiz przejeźdności sformułowano wnioski w odniesieniu do projektowania ronda turbinowego typu Basic z krzywoliniowymi wlotami nakierowanymi względem siebie nie pod kątem prostym.

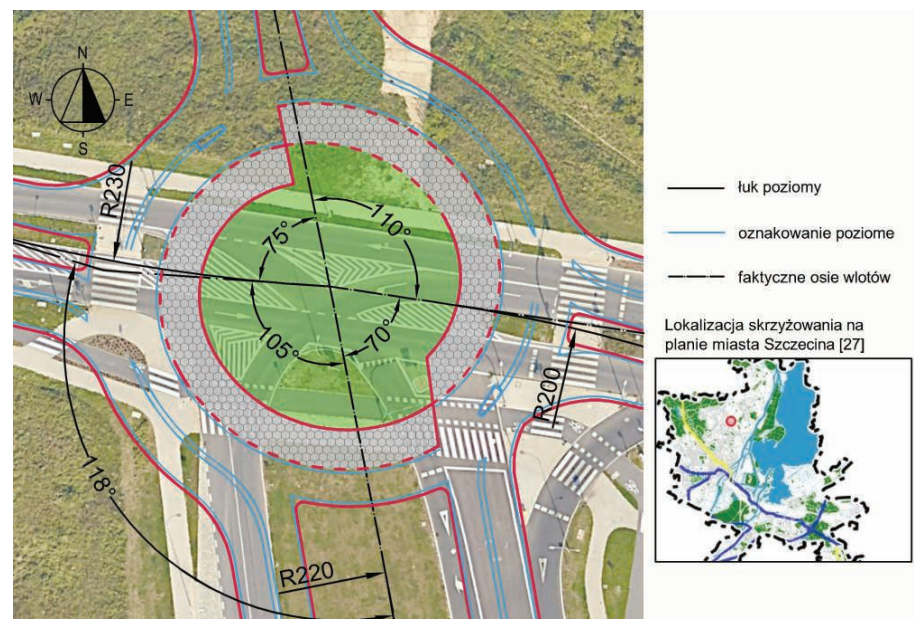
Charakterystyka przyjętego obszaru badań

Biorąc pod uwagę, że w praktyce projektowej nie wszystkie skrzyżowania mają wloty ukierunkowane pod kątem prostym i że nie zawsze można je odpowiednio do tego wymogu dostosować, jako obszar badań wybrano skrzyżowanie z krzywoliniowymi wlotami zlokalizowane w Szczecinie (rys.

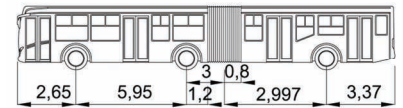
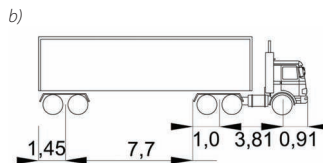
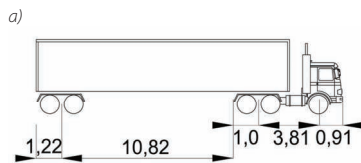
1). W ramach opracowania [6] zaprojektowano we wskazanej lokalizacji rondo turbinowe typu Basic przyjmując, że wloty główne były ukierunkowane w kierunku północnym i południowym. Założono, że projektowany wlot północny będzie stanowił część planowanej obwodnicy Osiedla Warszewo i Bukowego. Na obecnym trzywlotowym skrzyżowaniu z sygnalizacją świetlną wlotami głównymi są wlot zachodni i wschodni. Istniejąca ul. Wkrzańska o nawierzchni gruntowej stanowi obecnie zjazd publiczny, będący dojazdem do nielicznych budynków mieszkalnych i nie stanowi de facto wlotu północnego. Na wlocie południowym pierwotnie w planach zagospodarowania [30] planowano zaprojektować linie tramwajowe, dlatego zaprojektowano szeroki pas dzielący. Jednak ta koncepcja linii tramwajowych nie znalazła dalszego rozwiązania w aktualnym planie zagospodarowania [31]. Biorąc powyższe pod uwagę na wlocie południowym pozostawiono szeroki pas dzielący [6], a na wlocie północnym na planowanej obwodnicy przejęto szerokość pasa dzielącego równą 4 m, stosowaną na ulicach dwujezdniowych. Na wlocie zachodnim i wschodnim zastosowano wyspy dzielące krzywoliniowe. Na wszystkich wlotach docelowo zaplanowano przejścia dla pieszych i przejazdu ro-

werowe, ale tego w niniejszym artykule już nie uwzględniano.

W założeniach sformułowanych w wytycznych projektowych [8, 29, 32, 33, 36] w przypadku rond turbinowych zaleca się projektowanie ronda turbinowego przy wlotach nakierowanych względem siebie pod kątem prostym. Jednak w praktyce projektowej te warunki są trudne do zrealizowania, a projekt ronda turbinowego w rzeczywistości powinien w maksymalnym stopniu uwzględniać rzeczywiste warunki drogowe. Biorąc powyższe pod uwagę do analiz wybrano wyjściową lokalizację z bardzo zróżnicowanymi wlotami na rondo (rys. 1). Wlot północny jest tradycyjnie nakierowany na środek ronda pod kątem prostym. Wlot południowy ma nakierowanie części przyległej do ronda pod kątem prostym, ale w dalszej części wlotu znajduje się odcinek krzywoliniowy o promieniu 220 m, (początek łuku znajduje się w odległości ok. 60 m od środka skrzyżowania). Wlot zachodni jest krzywoliniowy i ma dwa przeciwstawne łuki poziome, wierzchołek łuku pierwszego o promieniu 230 m znajduje się w odległości ok. 30 m od środka skrzyżowania i koniec łuku znajduje się w środku skrzyżowania, a w dalszej części wlotu znajduje się drugi łuk poziomy o promieniu ok. 890 m. Oś krzywoliniowego wlotu zachodniego jest



1. Wizualizacja geometrii wlotów na planowanym rondzie turbinowym typu Basic na tle zdjęcia satelitarnego z programu Google Earth [20] (Źródło: opracowanie autorów)



2. Przyjęte pojazdy miarodajne – ciągniki siodłowe z naczepą PM1 i PM2

- a) PM1 – długość 16,76 m, maks. kąt skrętu kół – 17,7°, maksymalny kąt między ciągnikiem i naczepą 70°
 b) PM2 – długość 13,87 m, maks.y kąt skrętu kół – 23°, maksymalny kąt między ciągnikiem i naczepą 70°

3. Przyjęty pojazd miarodajny – autobus przegubowy

- długości 17,967 m, maks. kąt skrętu kół – 28,3°, maks. kąt skrętu obu części autobusu przegubowego 50°

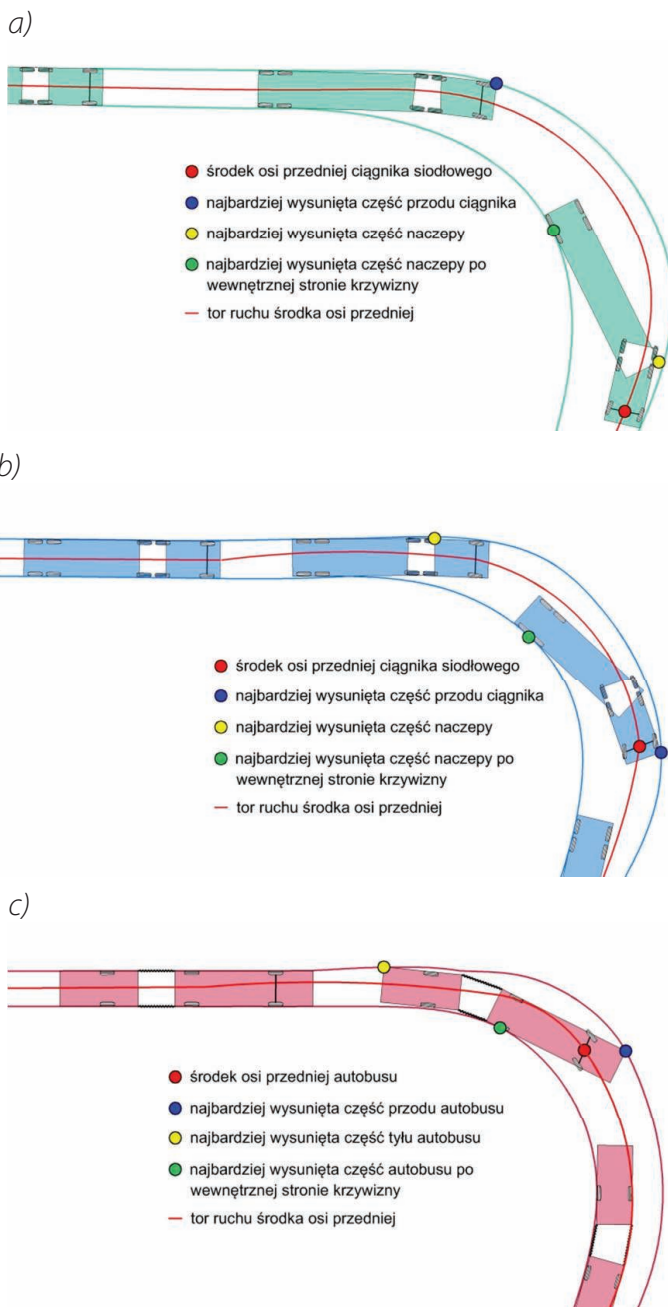
skierowana pod kątem 105° i 118° w stosunku do osi wlotów głównych. Wlot wschodni jest również wlotem krzywoliniowym i początek łuku o promieniu 200 m znajduje się w odległości 15,5 m od środka skrzyżowania. Oś wlotu wschodniego skierowana jest pod kątem 110° w stosunku

do osi wlotów głównych.

Charakterystyka przyjętych warunków ruchu i pojazdów miarodajnych

Kolejnym krokiem było przyjęcie pojazdów miarodajnych. Analogicznie

do treści zawartej w publikacjach [8, 9, 13, 14, 15, 32] w analizach przyjęto różne pojazdy miarodajne uwzględniające specyfikę ruchu w przyjętym obszarze badawczym. Zgodnie z zasadami projektowymi na rondach turbinowych powinien być zapewniony niezakłócony przejazd pojazdu miarodajnego. Pojazd miarodajny ma istotny wpływ na geometrię ronda turbinowego [4, 9, 38]. Biorąc powyższe pod uwagę przy wyborze pojazdu miarodajnego powinno się uwzględniać istniejący park maszynowy w danym regionie/kraju i prognozowaną strukturę rodzajową na danym rondzie. Wyjściowe szablony pojazdu miarodajnego podano w [11], tj. ciągnik siodłowy dwuosiowy z naczepą trzyosiową długości 16,5 m. Jest to pojazd zgodny z Dyrektywą Komisji Europejskiej [12] i najczęściej spotykany w Europie ciągnik siodłowy [1]. W aktualnych polskich wytycznych [34] również zalecono przyjmować ten pojazd, jako miarodajny. Po analizie powyższych zaleceń i analizie danych otrzymanych z pomiarów, wykonywanych in situ, odnośnie kategorii pojazdów stwierdzono [6], że najdłuższym pojazdem ciężarowym na wybranym skrzyżowaniu był ciągnik siodłowy z naczepą dwuosiową o długości ok. 14 m (rys. 2b), a najdłuższym autobusem przegubowym kursującym na wszystkich istniejących wlotach był autobus o długości ok. 18 m (rys. 3). Jednak biorąc pod uwagę wytyczne [11, 12, 34] do analiz uwzględniono również ciągnik siodłowy przedstawiony na rys. 2a. Analizy przejezdności zawarte w niniejszym artykule wykonano w programie komputerowym [7], w którym dostępny był tylko ciągnik siodłowy jedynie z naczepą dwuosiową, długości nieco ponad 16,5 m. Podstawowe jego parametry przedstawiono na

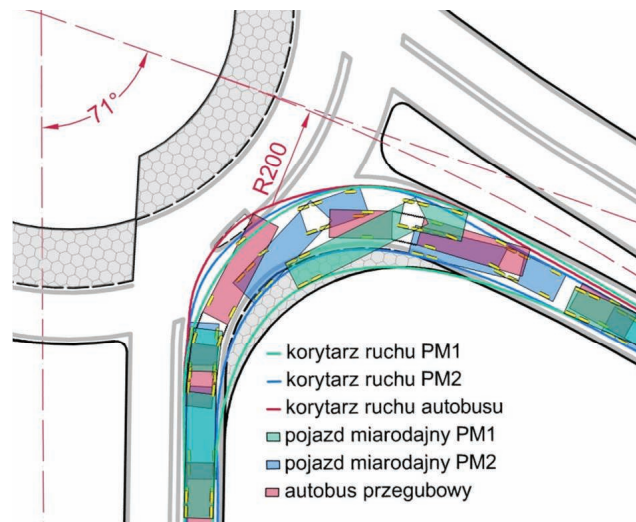


4. Korytarze ruchu i trajektorie ruchu najbardziej wysuniętych punktów przyjętych pojazdów miarodajnych: a) PM1; b) PM2; c) autobusu przegubowego

rys. 2a.

W celu wyznaczenia ostatecznych korytarzy ruchu korzysta się z tradycyjnych trajektorii ruchu najbardziej wysuniętych części pojazdów miarodajnych, co przedstawiono na rysunku 4. Na rysunku 4 oprócz standardowych trajektorii ruchu najbardziej wysuniętych punktów pojazdów przedstawiono również trajektorię ruchu środka osi przedniej.

Na rys. 5 przedstawiono przykładowe porównanie korytarzy ruchu analizowanych pojazdów miarodajnych w relacji skrętu w prawo na najbardziej krętym narożniku analizowanego ronda, w celu wykazania różnic pomiędzy ich powierzchniami i potwierdzenia konieczności wykonywania w procesie projektowym analiz przejezdności w odniesieniu do różnych pojazdów miarodajnych. Podobne założenia badawcze przyjęto również w publikacjach [8, 9], z tą tylko różnicą, że w przypadku analiz opisywanych w wytycznych nowozelandzkich [8] analiza dotyczyła różnic korytarzy ruchu ciągników siodłowych przyjętych w wytycznych holenderskich, krótszych od ciągników spotykanych w Nowej Zelandii. A w publikacji [9] porównywano różne korytarze ruchu: pojazdów ciężarowych bez przyczep, autobusów zwykłych oraz ciągników siodłowych z naczepą i w zależności od analizowanego pojazdu miarodajnego zalecono różne szerokości pasów ruchu na różnych typach rond turbinowych *Basic*, *Egg* i *Knee* w odniesieniu do czterech różnych średnic wyjściowych. Szczegółowa analiza korytarzy ruchu przedstawiona na rys. 5 wskazuje, że na najbardziej krętym narożniku analizowanego ronda korytarz ruchu autobusu przegubowego zajmuje znacznie większą powierzchnię na jezdni ronda w relacji skrętu w prawo, a ciągnik siodłowy PM1 i PM2 zajmuje większą powierzchnię na zewnętrznej części ronda niż korytarz ruchu autobusu przegubowego. Największą powierzchnię na zabruku zajmuje pojazd PM1, ze względu na najmniejszy kąt skrętu kół.



5. Porównanie korytarzy ruchu analizowanych pojazdów miarodajnych na najbardziej zakrzywionym narożniku analizowanego ronda turbinowego

Założenia badawcze przyjęte przy analizie przejezdności wykonywanej w procesie projektowym

W publikacjach [8, 19, 33] zaleca się w projekcie ronda turbinowego projektować wszystkie wloty, jako odcinki proste w planie i nakierowane względem siebie pod kątem prostym. Niestety tego założenie nie da się zawsze zapewnić, gdyż projekt ronda musi się odnosić do rzeczywistej sytuacji drogowej i nie powinien stanowić istotnej bariery ekonomicznej, zakładającej znaczne zwiększenie zajętości terenu, wyburzenie istniejących budynków, itd., tylko ze względu na fakt nakierowania wlotów pod kątem prostym. Uwzględniając powyższe w niniejszym artykule wybrano do analiz lokalizację skrzyżowania z bardzo dużym zróżnicowaniem poszczególnych wlotów, zarówno pod względem nakierowania wlotów względem siebie pod kątem innym niż kąt prosty, jak i pod względem krzywoliniowości wlotu.

W zalecanych szerokościach pasów ruchu zawartych w wytycznych holenderskich [33] uwzględniono korytarze ruchu standardowego pojazdu miarodajnego, podane w [12]. Ponadto dopuszczono, że wyjątkowo koła pojazdu miarodajnego mogą w niewielkim stopniu przekroczyć pasy separacyjne, ale nie mogą jeździć po krawężnikach znajdujących się na pasach separacyjnych. Te założenia po-

twierdzono również w pozostałych publikacjach [4, 16, 29, 36]. Dodatkowo w ww. wytycznych założono, że rzadko na jezdni ronda po obu pasach ruchu będą równocześnie poruszały się pojazdy miarodajne. Na te warunki możliwej równoczesnej jazdy po obu pasach ruchu zwrócono uwagę w publikacjach [8, 9, 13, 26]. Ponadto zwrócono w nich uwagę również na niewielkie różnice w wymiarach pojazdów miarodajnych i konieczne korekty parametrów pasa separacyjnego na jezdni ronda i na wlotach, ze względu na za wąskie pasy ruchu na jezdni ronda. W analizach opisywanych w niniejszym artykule przyjęto warunki ruchowe potwierdzone podczas wizji lokalnych, że na obu pasach ruchu niejednokrotnie równocześnie poruszały się autobusy przegubowe i ciągniki siodłowe z naczepą lub dwa autobusy przegubowe w różnych relacjach. Biorąc powyższe pod uwagę podczas analiz w ramach symulacji ruchu uwzględniano na obu pasach ruchu równoczesną jazdę przyjętych pojazdów miarodajnych. Powyższe założenie stanowiło istotny warunek badawczy, szczególnie odniesiony do krzywoliniowych wlotów.

Powyższe założenia pozwolą porównać otrzymane wyniki koniecznych szerokości obu pasów ruchu na jezdni ronda nie tylko w odniesieniu do przyjętych przez autorów pojazdów miarodajnych (rys. 2 i 3), ale również pojazdów miarodajnych analizowanych w publikacji [9], (tj. autobusu

długości ok. 12,5 m oraz ciągnika siodłowego z naczepą długości 15,5 m), czy też w publikacjach [13, 26], odnoszących się do ciągnika siodłowego typowego dla danego kraju.

Kolejne założenie dotyczyło szerokości pasów separacyjnych. W wytycznych [33, 29, 36] oraz w publikacjach [4, 13, 14, 15, 16, 24, 25, 39, 40] przyjęto szerokość pasa separacyjnego równą 0,7 m. W wytycznych holenderskich [33] zaleca się również szerokość pasa separacyjnego równą 1 m, ale nie zaleca się przy tym innych szerokości pasów ruchu. W analizach opisanych w publikacjach [9, 32] uwzględniając, że w USA na wybudowanych rondach turbinowych nie

stosowano pasa separacyjnego z wyniesionym krawężnikiem, to przyjęto szerokość pasa separacyjnego równą 0,30 m z równoczesnym założeniem, że trajektoria ruchu skrajnego koła będzie się znajdowała w odległości 0,30 m od krawędzi pasa separacyjnego. Powyższe założenie w odniesieniu do korytarza ruchu stanowiło de facto szerokości „teoretycznych” pasów separacyjnych równe 0,9 m. W niniejszym artykule do analiz badawczych przyjęto szerokość pasa separacyjnego równą 0,7 m. Uwzględniając szerokości obowiązujących w Polsce linii oznakowania poziomego i możliwych do zastosowania krawężników przyjęto, że nieznacznie różnicują

one parametry wewnętrzne pasa separacyjnego oraz wewnętrznych i zewnętrznych pasów bezpieczeństwa, tzw. „opasek” na jezdni ronda.

Ostatnie założenie dotyczyło nakierowania korytarza ruchu przy wjeździe na wewnętrzny pas ronda turbinowego. W publikacjach [8, 9, 13, 14, 15] przyjmowano, że pojazd miarodajny wjeżdżając na rondo z pasa wewnętrznego na wlocie nie wjeżdża na część przejezdną ronda i dalej jedzie tylko czasami najeżdżając na jej niewielki fragment. Ponadto w analizach przedstawionych w publikacjach [8, 9, 13, 14, 15] różnie też przyjmowano odległości skrajnej krawędzi korytarza ruchu od krawędzi pasa separacyjnego lub krawędzi linii oznakowania poziomego. Wskazane różnice związane były głównie z szerokością linii oznakowania poziomego, nieznacznie różniących się w poszczególnych krajach. Zawsze jednak utrzymywano podstawowy przekrój poprzeczny jezdni ronda i wymiary poszczególnych elementów ronda. Biorąc powyższe pod uwagę wyjściowe parametry ronda turbinowego, (dotyczące zalecanych szerokości pasów ruchu i pasa separacyjnego), analizowanego w niniejszym artykule przyjęto na podstawie wytycznych holenderskich [33]. Ponadto przyjęto, (podobnie jak w ww. przypadkach), że pojazd miarodajny nie powinien przejeżdżać po pasie separacyjnym, ale może przejeżdżać po wysepce separacyjnej, jednak z zastrzeżeniem nie kolidowania z korytarzem ruchu na sąsiednim pasie.

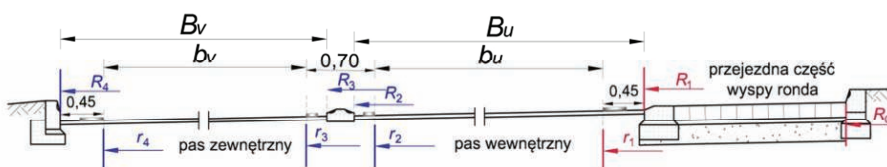
Przyjęta metodyka projektowania ronda turbinowego z krzywoliniowymi wlotami nakierowanymi względem siebie nie pod kątem prostym

Uwzględniając powyżej zestawione charakterystyki obszaru badawczego i warunków ruchowych oraz ww. założenia badawcze, przyjęto następującą metodykę projektowania ronda, w głównej mierze polegającą na analizie korytarza ruchu. Wstępnie przyjęto, jako wyjściowe parametry ronda

Tab. 2. Zestawienie kolejnych iteracji wartości parametrów geometrii ronda turbinowego typu Basic

Główne elementy przekroju normalnego ronda turbinowego typu Basic	Szerokość wybranych elementów, [m]:	Zastosowany promień, [m]:		
		1'	2	3
Kolejna iteracja parametrów ronda:				
Promień lica krawężnika nieprzejezdnej części ronda	R_0			
Szerokość przejezdnej części ronda ($R_1 - R_0$)		5,15	5,15	5,15
Promień lica krawężnika kończącego przejezdną część wyspy	R_1			
Szerokość linii P-7b		0,24	0,24	0,24
Promień krawędzi linii P-7b	r_1			
Szerokość wewnętrznego pasa mierzona pomiędzy wewnętrzną krawędzią przejezdnej części wyspy ronda i krawędzią wewnętrzną separatora, $B_v = b_v + 0,21 + 0,45$	B_v	4,91 ²	5,01	5,01
Szerokość pasa wewnętrznego $b_v = (r_2 - r_1)$	b_v	4,25	4,35 ⁴	4,35
Promień krawędzi linii P-2a	r_2			
Szerokość linii P-2b		0,12	0,12	0,12
Promień wewnętrznego lica krawężnika kamiennego	R_2			
Szerokość krawężnika kamiennego na pasie separacyjnym		0,28	0,28	0,28
Promień zewnętrznego lica krawężnika kamiennego	R_3			
Szerokość linii P-2b		0,12	0,12	0,12
Promień krawędzi linii P-2b	r_3			
Szerokość zewnętrznego pasa pomiędzy krawędzią zewnętrzną separatora i zewnętrzną krawędzią jezdni ronda, $B_v = b_v + 0,21 + 0,45$	B_v	4,71 ³	5,21	5,96
Szerokość pasa zewnętrznego $b_u = (r_4 - r_3)$	b_u	4,05	4,55 ⁵	5,30 ⁶
Promień krawędzi linii P-7b	r_4			
Szerokość linii P-7b		0,24	0,24	0,24
Promień lica krawężnika w zewnętrznej średnicy ronda	R_4			
Zastosowane promienie wyokrągłające				
Promień wyokrąglenia pasa separacyjnego na wlocie				
Promień wyokrąglenia pasa separacyjnego na wylocie				
Promień wyokrąglenia krawędzi jezdni na wlocie				
Promień wyokrąglenia krawędzi jezdni na wylocie				
Odległość pomiędzy punktami obrotu mierzona wzdłuż osi translacji do tyczenia łuków				
Zewnętrznych o promieniach: $R_2, R_3, R_4, r_2, r_3, r_4$	Δ_v	5,15	5,15	5,15
Wewnętrznych o promieniach: R_0, R_1, r_1	Δ_u	4,75	4,75	4,75

- 1) Wartości odpowiednich szerokości i promieni przyjęte wg wytycznych holenderskich [33]
- 2) Zgodnie z publikacją [9] na rondzie dużym w przypadku autobusu długości ok. 12 m, szerokość pasa powinna być równa 4,74 m, a w przypadku ciągnika siodłowego z naczepą długości ok. 15,5 m szerokość pasa wewnętrznego powinna wynosić 4,98 m.
- 3) Zgodnie z publikacją [9] na rondzie dużym w przypadku autobusu długości ok. 12 m, szerokość pasa powinna być równa 4,74 m, a w przypadku ciągnika siodłowego z naczepą długości ok. 15,5 m szerokość pasa zewnętrznego powinna wynosić 4,98 m.
- 4) Przyjęte w niniejszym artykule poszerzenie szerokości pasa wewnętrznego o 0,10 m.
- 5) Przyjęte w niniejszym artykule poszerzenie szerokości pasa zewnętrznego o 0,50 m.
- 6) Ostateczna szerokość pasa zewnętrznego otrzymana przy zachowaniu korytarza ruchu pojazdu PM1.



6. Proponowane parametry ronda wg wytycznych holenderskich [33], na rondzie turbinowym typu Basic z pasem separacyjnych szerokości 0,7 m

turbinowego dużego podane w wytycznych holenderskich [33]. Przyjęte parametry ronda zestawiono na rys. 6 i w tab. 2. Po wykonanej analizie przejezdności założono, że wszystkie zmiany parametrów ronda wykona się iteracyjnie opierając się głównie na analizie korytarzy ruchu wybranych pojazdów miarodajnych, chcąc w efekcie końcowym otrzymać rondo z zapewnioną przejezdnością. Jednak projekt ronda musi zapewniać nie tylko przejezdność, ale także bezpieczeństwo ruchu, które oprócz mniejszej liczby punktów kolizji, powinno wynikać z oczekiwanych mniejszych prędkości, możliwych do realizacji na najszybszych trasach przejazdu, czyli przy jeździe na wprost.

Na rys. 6 przedstawiono ogólne oznaczenia analizowanych parametrów ronda oraz promienie łuków tyuczonych z różnych punktów znajdujących się na osi translacji, zgodnie z przyjętą techniką tyczenia opisaną w [11, 18, 33]. W tab. 2 przedstawiono dodatkowo parametry uzyskane w trakcie kolejnych analiz przejezdności pojazdów miarodajnych i wynikających z niej poszerzeń pasa wewnętrznego lub zewnętrznego oraz korekt promieni wyokrąglenia wlotów. Oprócz tego uwzględniono obowiązujące w Polsce szerokości linii oznakowania poziomego P-7a (0,24 m) i P-2a (0,12 m) oraz szerokość

stosowanego w Polsce krawężnika na pasie separacyjnym równą 0,28 m.

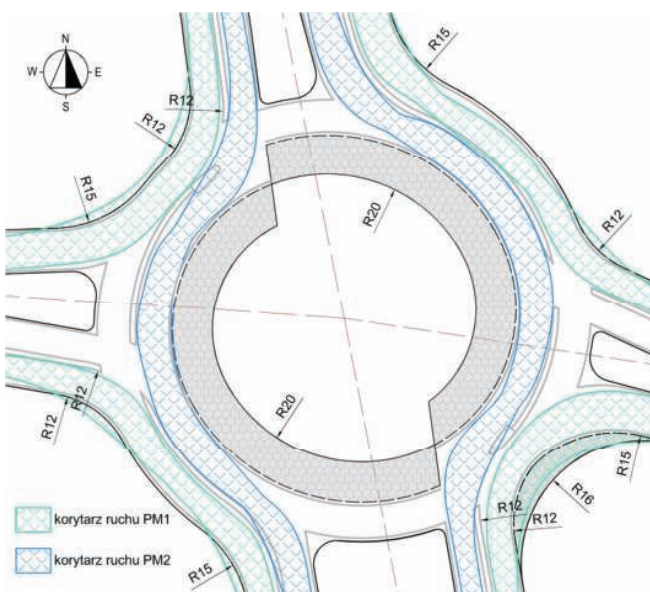
Analiza zapewnienia korytarzy ruchu na rondzie turbinowym typu Basic zaprojektowanym wg wytycznych holenderskich z pasem separacyjnym szerokości 0,7 m

W pierwszej kolejności sprawdzono korytarze ruchu w relacji skrętu w prawo. Otrzymane korytarze ruchu PM1, PM2 i autobusu przegubowego potwierdziły, że na wszystkich wlotach pas zewnętrzny był za wąski oraz, że powinny być zastosowane zabruki, bez względu na nakierunkowanie wlotu i jego krzywoliniowość (rys. 7). Ponadto wszystkie pojazdy miarodajne przejeżdżały po wysepce separacyjnej i po pasach separacyjnych na wlotach i wylotach. Uwzględniając mnogość analiz w odniesieniu do analizowanych pojazdów miarodajnych na rys. 7 przedstawiono tylko wybrane korytarze ruchu pojazdu miarodajnego PM1 w relacjach skrętu w prawo i pojazdu miarodajnego PM2 w relacjach na wprost z wlotów głównych. Analiza pozostałych korytarzy ruchu, w relacjach w lewo z wszystkich wlotów i na wprost z wlotów bocznych, wykazała, że wszystkie analizowane pojazdy miarodajne na jezdni ronda przekraczały krawędzie pasa separacyjnego i oznakowania

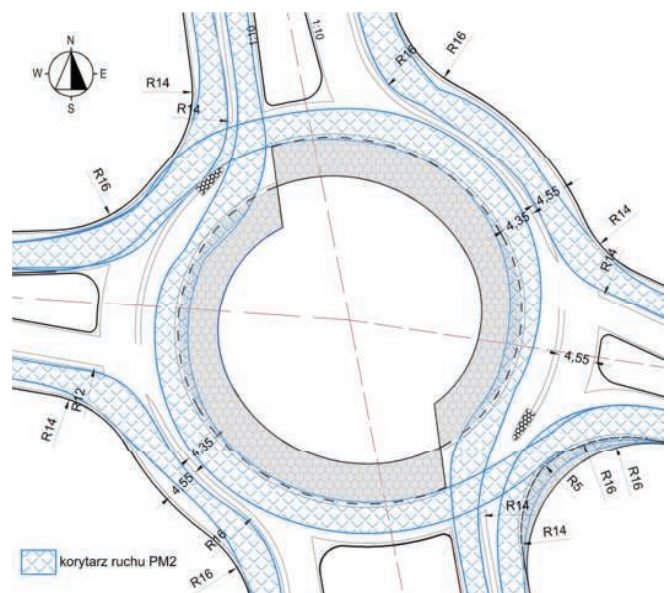
poziomego na zewnętrznej krawędzi ronda, co świadczy o tym, że oba pasy ruchu na jezdni ronda były za wąskie. Powyższe wnioski potwierdzają wnioski z badań opublikowane w artykule [9]. Analiza korytarzy ruchu na wjeździe na rondo z wewnętrznego pasa ruchu natomiast wykazała, że ze względu na krzywoliniowość wlotów i inne ich nakierowanie względem siebie, zajmowały one część pasa sąsiedniego, co potwierdzało, że zlecane w wytycznych [11, 33] promienie wyokrąglenia pasa separacyjnego na wlotach równe 12 m były za małe. Powyższe spostrzeżenia potwierdziły wnioski z badań, opisane w publikacji [13], tym bardziej, że w analizowanym przypadku wloty były krzywoliniowe i nie były nakierowane względem siebie pod kątem prostym.

Analiza zapewnienia korytarzy ruchu na rondzie turbinowym typu Basic po poszerzeniu pasów ruchu na jezdni ronda

Uwzględniając powyższe spostrzeżenia i wnioski wykonano pierwszą iterację i przyjęto poszerzenie pasów ruchu wewnętrznego o 0,10 m i zewnętrznego o 0,30 m. Niestety jednak analiza korytarzy ruchu nie wykazała istotnej poprawy, gdyż korytarze ruchu nadal przekraczały krawędzie pasów separacyjnych na jezdni ronda



7. Pierwszy krok analizy przejezdności na rondzie zaprojektowanym wg wymiarów zalecanych w wytycznych holenderskich [33] (Źródło: opracowanie autorów)



8. Drugi krok analizy przejezdności wybranych relacji pojazdu PM2 po poszerzeniu pasów ruchu na rondzie i zwiększeniu promieni na wlocie i wylocie (Źródło: opracowanie autorów)

i na wlotach. Biorąc powyższe pod uwagę przyjęto kolejne poszerzenie zewnętrznego pasa ruchu (tab. 2) i zastosowano odpowiednie odgięcia końca wysp dzielących w skosach 1:10 (na wlocie północnym, zachodnim i wschodnim), co umożliwiło płynniejszy wjazd na jezdnię ronda z pasa wewnętrznego. Chcąc uniknąć zabruków zastosowano także większe promienie wyokrąglenia wlotów i wylotów (tab. 2). Zastosowane korekty zapewniły korytarze ruchu pojazdu PM2, jednakże pojazd PM2 przy wjeździe na rondo z pasa wewnętrznego na wlotach północnym i południowym najeżdżał na przejezdnią część ronda (rys. 8). Najazd na przejezdnią część ronda przy wjeździe z pasa wewnętrznego nie jest zalecany w wytycznych holenderskich [33], ale dopuszczalny w przypadku ciągnika siodłowego z naczepą w wytycznych [8, 26, 29, 36].

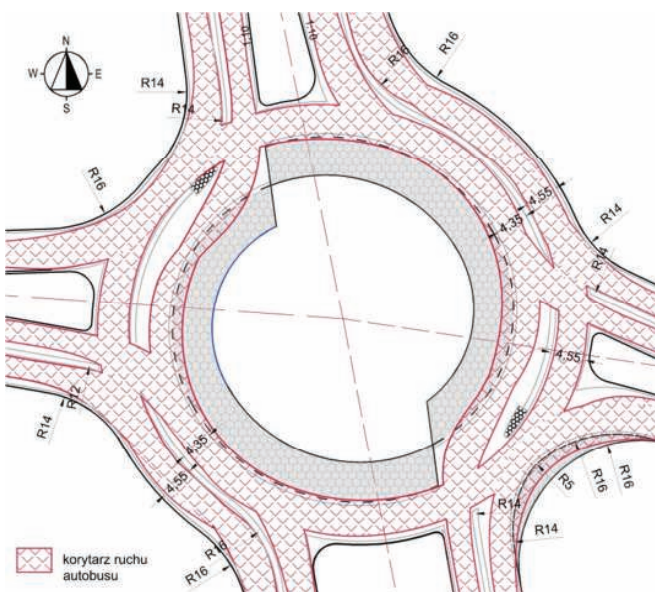
Podobnie korytarze ruchu autobusu przegubowego na wszystkich wlotach przy wjeździe z pasa wewnętrznego zajmowały fragment przejezdnej części ronda (rys. 9). Na rys. 9 przedstawiono wszystkie relacje autobusu przegubowego i połączono wszystkie korytarze. Szczegółowa analiza korytarza ruchu wykazała, że przy relacjach skrętu w prawo na wjeździe na rondo na wszystkich wlotach korytarz ruchu przekraczał krawędź

pasa separacyjnego, co świadczyło o za małym promieniu wyokrąglenia wlotów. Podobnie szczegółowa analiza korytarza ruchu autobusu przegubowego na wjeździe na rondo z pasa wewnętrznego wykazała, że wjeżdża on na część przejezdnią. Zgodnie z holenderskimi wytycznymi [33] pojazdy ciężkie mogą nieznacznie najeżdżać na część przejezdnią podczas jazdy po pasie wewnętrznym jezdni ronda, ale nie powinny najeżdżać na część przejezdnią przy wjeździe na rondo. Jednak w odniesieniu do autobusów przegubowych nie powinno się do tego dopuszczać, gdyż każdy najazd na część przejezdnią może powodować niepożądane odczucia pasażerów z powodu koniecznego pokonywania różnicy wysokości, (pomiędzy pasem wewnętrznym a częścią przejezdnią). Niestety przy przyjętych parametrach końca wyspy dzielącej i zastosowaniu zbyt małego promienia wyokrąglenia na wjeździe z pasa wewnętrznego korytarz ruchu autobusu przegubowego zajmował fragment części przejezdnej. Biorąc powyższe pod uwagę w danym przypadku powinno się przyjąć większe odgięcia wyspy dzielącej od osi wlotu oraz zastosować większe promienie wyokrąglenia na wjeździe na rondo, co pozwoliłoby uniknąć poszerzania pasa wewnętrznego i zapobiegłoby najeżdżaniu na część przejezdnią. Po-

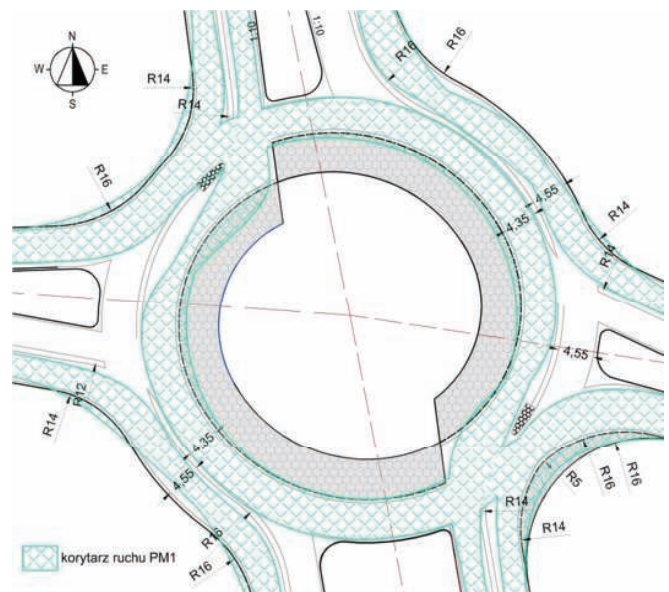
dobnie zastosowanie większych promieni wyokrąglenia na wlotach i wylotach wpłynęłoby na bardziej płynne relacje i pozwoliłoby uniknąć dalszego poszerzania pasa zewnętrznego, bez najazdu na pas separacyjny.

Ostatnia analiza przejezdności korytarza ruchu PM1, na wszystkich wlotach w relacjach skrętu w prawo wykazała, że korytarze ruchu znajdowały się poza zewnętrzną średnicą ronda, czyli powinno się zastosować na wszystkich wlotach i wylotach zabruki (rys. 10). Ponadto w kilku miejscach w relacjach skrętnych korytarze ruchu PM1 przekraczały pas separacyjny. Jednak dalsze poszerzanie pasów ruchu powodowałoby znaczne ich szerokości, co nie wpływałoby pozytywnie na bezpieczeństwo ruchu, gdyż mimo woli prowokowałoby kierowców samochodów osobowych do większych prędkości lub do wyprzedzania, co jest niedopuszczalne.

Zaobserwowane mankamenty nie były zgodne z wcześniejszymi założeniami, dotyczącymi nie wjeżdżania pojazdów miarodajnych na część przejezdnią i pas separacyjny. Ponadto dalsze poszerzanie pasa wewnętrznego mogłoby doprowadzić do sytuacji nadmiernego poszerzenia tzw. „otwartości wjazdu na pas wewnętrzny” na jezdni ronda [9, 13, 26]. Otrzymane szerokości wjazdu na pas wewnętrzny po poszerzeniu pasów



9. Drugi krok analizy przejezdności autobusu przegubowego po poszerzeniu pasów ruchu na rondzie i zwiększeniu promieni na wlocie i wylocie (Źródło: opracowanie autorów)



10. Drugi krok analizy przejezdności wybranych relacji pojazdu PM1 po poszerzeniu pasów ruchu na rondzie i zwiększeniu promieni na wlocie i wylocie (Źródło: opracowanie autorów)

ruchu na jezdni ronda przedstawiono na rys. 11. Po korektach geometrii otrzymano, że na wlocie południowym większa szerokość wjazdu na pas wewnętrzny ronda może zdezorientować kierowcę i umożliwić mu niepożądane zachowanie na rondzie turbinowym. Trzeba jednak podkreślić, że położenie wysepek separacyjnych było prawidłowe i zgodne z zasadami projektowania ronda, czyli znajdowały się one w miejscu połączenia się pasów separacyjnych na jezdni ronda z „teoretycznym przedłużeniem” pasów separacyjnych z wlotów głównych (rys. 11 parametry „otwartości wjazdu” zaznaczone są w kolorze czerwonym).

Analiza zapewnienia korytarzy ruchu na rondzie turbinowym typu Basic po zmianach promieni wyokrąglających wloty i wyloty

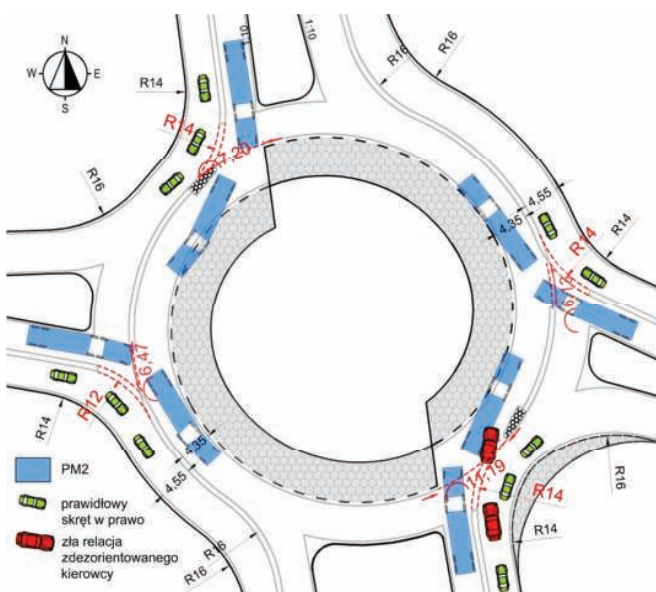
Z wniosków z badań opisanych w publikacji [13] w odniesieniu do wlotów nakierowanych pod kątem prostym i ewentualnie nieznacznie przesuniętych osiach wysp dzielących wynika, że powinno się w podobnych przypadkach zastosować większe promienie wyokrąglenia wlotów i wylotów, dzięki czemu można uniknąć stosowania zabruków i uzyskać zapewnione korytarze ruchu, bez dalszego poszerzania pasów ruchu na

jezdni ronda. I takie podejście zastosowano w kolejnej iteracji omawianego przypadku ronda turbinowego. Parametry przyjęte w kolejnej iteracji zestawione są w tab. 2 (zmienione wartości zaznaczono grubszą czcionką). Jednak trzeba mieć na uwadze, że dalsze zmiany parametrów mogą negatywnie wpłynąć na bezpieczeństwo ruchu, ponieważ wiążą się one z poszerzeniem pasów i „otwartości wjazdu” na pas wewnętrzny ronda. Analiza korytarzy ruchu przedstawionych na rys. 12 – 14 wykazała, że po: poszerzeniu pasa zewnętrznego na jezdni ronda, większym odgięciu pasów wjazdowych na rondo i zmianie promieni wyokrąglających wloty i wyloty wszystkie korytarze ruchu PM1 są zapewnione. Zgodnie z wytycznymi [11, 32, 33] można przy stwierdzonej dużej „otwartości wjazdu” na pas wewnętrzny zastosować powtórzenie strzałek kierujących na pasach wjazdu na rondo, w celu uniknięcia niepożądanych zachowań kierowców. Uwzględniając znacznie poszerzony pas zewnętrzny zgodnie z wytycznym [10, 11, 32] po zaprojektowaniu geometrii ronda należy obowiązkowo sprawdzić prędkości na najszybszej trasie przejazdu, czyli na relacjach na wprost.

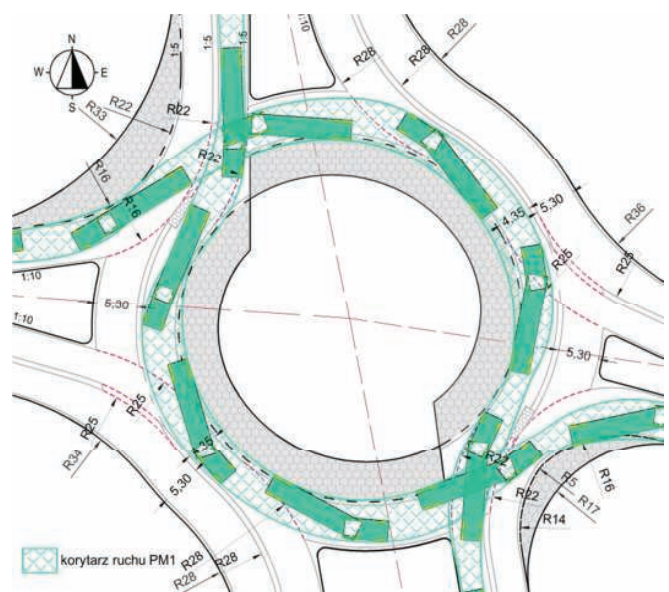
Powyższe wnioski potwierdzają, że przy wlotach krzywoliniowych i nakierowanych nie pod kątem prostym,

powinno się zastosować nie tylko znaczne poszerzenia pasów ruchu na jezdni ronda, ale także należy zastosować odpowiednie odgięcia wlotów oraz przyjąć większe promienie wyokrąglające wloty i wyloty. Ostateczne skorygowane wymiary wybranych newralgicznych parametrów ronda turbinowego przedstawiono na rys. 12 – 14.

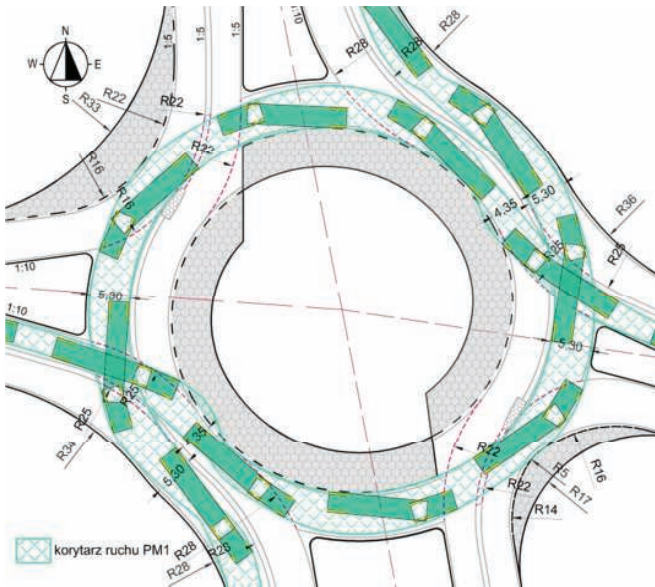
Na podstawie wykonanych analiz przejezdności można stwierdzić, że szerokości pasów ruchu na jezdni ronda z wlotami krzywoliniowymi i nakierowanymi względem siebie nie pod kątem prostym powinny być dobierane w procesie projektowym indywidualnie do danej sytuacji i zawsze na podstawie korytarzy ruchu wybranych pojazdów miarodajnych. Powyższy wniosek wynika również ze szczegółowej analizy szerokości pasów ruchu zalecanych w publikacji [9] w odniesieniu do różnych pojazdów miarodajnych na różnych typach i rodzajach rond turbinowych. Podobny wniosek można sformułować na podstawie porównania promieni wyokrąglających wloty i wyloty zalecanych w publikacji [13] i zastosowanych na analizowanym rondzie. W przypadku ronda z wlotami krzywoliniowymi nakierowanymi względem siebie nie pod kątem prostym, powinno się dobierać promienie wyokrąglające wloty i wyloty na podstawie anali-



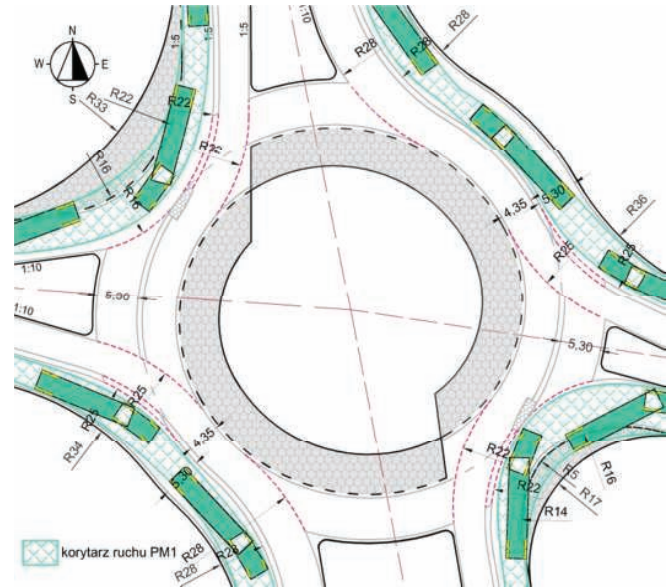
11. Szerokości wjazdu na pas wewnętrzny ronda turbinowego po poszerzeniu pasów ruchu na rondzie i zwiększeniu promieni na wlocie i wylocie (Źródło: opracowanie autorów)



12. Trzeci krok analizy korytarzy ruchu pojazdu PM1 – relacje w lewo z wlotów głównych – po korekcie wlotów i poszerzeniu pasa zewnętrznego na rondzie (Źródło: opracowanie autorów)



13. Trzeci krok analizy korytarzy ruchu pojazdu PM1 – relacje w lewo z wlotów bocznych – po korekcie wlotów i poszerzeniu pasa zewnętrznego (Źródło: opracowanie autorów)



14. Trzeci krok analizy korytarzy ruchu pojazdu PM1 – relacje w prawo – po korekcie wlotów i poszerzeniu pasa zewnętrznego na rondzie (Źródło: opracowanie autorów)

zy konkretnych korytarzy ruchu (rys. 12 – 14), a nie stosować w każdym przypadku wartości promieni obligatoryjnie zalecanych przy klasycznym rondzie turbinowym, tj. w przypadku prostoliniowych wlotów nakierowanych względem siebie pod kątem prostym.

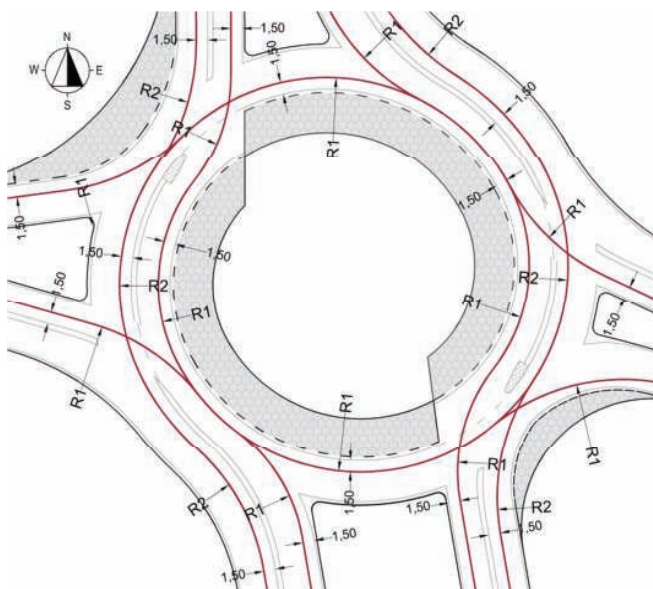
Analiza prędkości w relacjach na wprost na skorygowanym geometrycznie rondzie turbinowym

Biorąc pod uwagę zastosowane w danym przypadku poszerzone pasy ruchu na rondzie względem zalecanych szerokości podanych w wy-

tycznych holenderskich [33] (tab. 2), należy obowiązkowo sprawdzić szacowane wartości prędkości na zaprojektowanym rondzie na najszybszej trasie przejazdu. Uwzględniając, że analizowane rondo jest duże, to prędkość projektowa jest na nim równa 40 km/h, zgodnie z [33, 37]. Analizę prędkości na najszybszej trasie przejazdu na analizowanym rondzie z krzywoliniowymi wlotami nakierowanymi względem siebie pod kątem innym niż kąt prosty, wykonano zgodnie z zaleceniami opisanymi w [10, 11, 32]. Analiza prędkości wyznaczona przez geometrię zaprojektowanego ronda odnosi się do możliwej najszybszej

trasy wjazdu na rondo, przejazdu przez rondo i zjazdu z niego. Jest to najpłynniejsza trasa przejazdu przez rondo odniesiona do samochodu osobowego, przy założeniu braku innych pojazdów poruszających się po danym rondzie. Najszybszą trasę przejazdu przez rondo wyznacza się z reguły w odniesieniu do relacji na wprost, ale można również wyznaczyć ją w odniesieniu do skrętu w lewo lub w prawo [32]. Trzeba to jednak zdecydowanie podkreślić, że konstruowanie najszybszej trasy przejazdu przez rondo nie odzwierciedla oczekiwanych prędkości, a raczej wskazuje na „teoretyczne” prędkości, potrzebne do weryfikacji poprawności zaprojektowanego ronda. Rzeczywiste prędkości realizowane na danym rondzie zależą od: systemu zawieszenia pojazdu, przyspieszenia i opóźnienia, współczynnika tarcia, pochylenia poprzecznego pasa ruchu, warunków atmosferycznych, indywidualnych umiejętności i cech kierowcy, a także od tolerancji kierowcy i pasażerów na siły grawitacyjne.

Uwzględniając krzywoliniowe i nieprostokątne nakierowanie wlotów przyjęto zgodnie z zaleceniami opisanymi w [32] odległość najszybszej trasy przejazdu równą 1,5 m od krawędzi pasa separacyjnego i od zastosowanej linii oznakowania poziomego na pasie wewnętrznym przy wyspach



15. Proces konstruowania geometrii najszybszej trasy przejazdu przez analizowane rondo (Źródło: opracowanie autorów)

dzielących i części przejezdnej, co przedstawiono na rys. 15. Zgodnie z zaleceniem konstruowania najszybszej trasy przejazdu przez rondo samochodu osobowego, zawartym w wytycznych [17, 32, 33], promienie wjazdu na rondo, przejazdu i zjazdu z ronda, (odpowiednio R1 na pasie wewnętrznym i R2 na pasie zewnętrznym), są te same, a zastosowane trzy łuki w miejscu połączenia posiadają tę samą styczną. W dalszej części analiz wykorzystano zależność podaną w wytycznych holenderskich [33] i oszacowano, że prędkość na pasie wewnętrznym była równa 34,7 km/h, a na pasie zewnętrznym 38,1 km/h, czyli w każdym przypadku były to prędkości mniejsze od wartości projektowej równej 40 km/h, przyjętej na rondzie dużym [33, 37]. Otrzymałe prędkości pozwalają praktycznie stwierdzić, że zaprojektowane rondo ma prawidłowo przyjęte parametry i poszerzenie pasów ruchu na jezdni ronda nie wpłynęło zbytnio na zwiększenie prędkości samochodu osobowego jadącego wzdłuż najszybszej trasy przejazdu. W wytycznych holenderskich [33] zaleca się w przypadku przekroczenia wartości projektowej prędkości na jakimś wlocie czy relacji zaprojektowanie „esowania” wlotu, w celu zmniejszenia prędkości wjazdu. W danym przypadku analizowanego ronda takiego przekroczenia prędkości projektowej nie odnotowano, a trzy wloty z analizowanych są i tak krzywoliniowe i mają promienie łuków na tyle małe, że prędkość na dojeździe do ronda i tak jest praktycznie ograniczona.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy studium przypadku ronda turbinowego, z krzywoliniowymi wlotami nakierowanymi względem siebie nie pod kątem prostym, można sformułować następujące wnioski:

- analiza korytarzy ruchu na zaprojektowanym rondzie turbinowym z krzywoliniowymi wlotami, wg zasad projektowych sformułowanych w wytycznych holender-

skich, wykazała, że przy wlotach krzywoliniowych należy zastosować inne skorygowane parametry na podstawie analizy korytarzy ruchu wybranych pojazdów miarodajnych,

- zaproponowany sposób iteracyjnej zmiany wybranych parametrów ronda na podstawie analiz przejezdności zaowocował optymalnym projektem geometrii ronda pod względem przejezdności i zajętości terenu,
- zastosowane iteracyjne zasady wyznaczania poszczególnych parametrów ronda, na każdym etapie projektowym, pozwoliły zapewnić korytarze ruchu najpierw na pasie wewnętrznym, a następnie na pasie zewnętrznym, co wskazuje na konieczność etapowości projektowania,
- zastosowana oryginalna etapowość projektu ronda i przyjmowanie zmiany poszczególnych parametrów ronda zaczynając od wnętrza i kończąc na zewnętrznych granicach ronda wraz z etapową analizą zapewnienia korytarzy ruchu, pozwoliło dostosować projekt ronda do rzeczywistej sytuacji drogowej przy krzywoliniowych bardzo zróżnicowanych wlotach, nakierowanych względem siebie nie pod kątem prostym,
- w przypadku nakierowania wlotów względem siebie pod kątem ostrym równym ok. 70–75° należy się liczyć z koniecznością zastosowania dużego zabruku i większego odgięcia krawędzi wyspy dzielącej oraz pasów ruchu na wjeździe na rondo, a przy kącie rozwartym równym ok. 105–120° można nie stosować zabruku, a zamiast niego zastosować większe promienie wyokrąglenia pomiędzy oboma wlotami,
- na podstawie wykonanej analizy przejezdności w stosunku do trzech różnych pojazdów miarodajnych, różniących się charakterystycznymi parametrami uwzględnianymi w relacjach skrętnych wykazano, że analiza

korytarzy ruchu powinna być przeprowadzona w odniesieniu do pojazdów przewidzianych do ruchu na danym rondzie, a nie zawsze tylko w odniesieniu do standardowego ciągnika siodłowego z naczepą o długości 16,5 m, gdyż może to wpłynąć na znacznie większą zajętość terenu i znaczne poszerzenie pasów ruchu na jezdni ronda, co może wpływać niekorzystnie na zmniejszenie bezpieczeństwa ruchu szczególnie przy dużych szerokościach „otwarcia wjazdu” na rondo,

- przy przyjęciu w analizach przejezdności innych pojazdów miarodajnych niż ciągnik siodłowy z naczepą o długości 16,5 m, na podstawie wykonanych pomiarów ruchu i przewidywanych w dalszej eksploatacji, można osiągnąć bardziej ekonomiczne rozwiązania ronda turbinowego z krzywoliniowymi wlotami nakierowanymi względem siebie nie pod kątem ostrym i zastosować odpowiednie znaki drogowe, informujące o dopuszczalnych pojazdach,
- w przeprowadzonym studium przypadku wybranego ronda wykazano, że w przypadku wlotów krzywoliniowych, nakierowanych względem siebie nie pod kątem prostym należy projekt ronda opierać głównie na analizie przejezdności wybranych pojazdów miarodajnych i na jej podstawie korygować podstawowe parametry ronda,
- dodatkowym praktycznym wkładem tych badań jest możliwość wprowadzenia korekty w istniejących wytycznych projektowych rond turbinowych, a także wprowadzenia dodatkowych zaleceń w nowych wytycznych opracowywanych w krajach, które wciąż nie mają własnych przepisów dotyczących projektowania tego typu rond. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Aurell J., Wadman T. Vehicle combinations based on the modular concept. Report No. 1/2007. Volvo Trucks, 2007. <http://www.nvf-norden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=1589>, dostęp 20.05.2015.
- [2] de Baan D. Aantal 'gespotte' turborotondes, <https://www.dirkdebaan.nl/locaties.html>, dostęp 2.07.2022.
- [3] de Baan D. Typen turborotondes, <https://www.dirkdebaan.nl/types.html>, dostęp 2.07.2022.
- [4] Bastos Silva A., Santos S., Gaspar M. Turbo-roundabout use and design, CITTA 6 th Annual Conference on Planning Research Responsive Transports for Smart Mobility, 17 May 2013 University of Coimbra, https://www.dec.uc.pt/~abastos/Outputs/congressos%20nacional/Citta2013_turbo.pdf, dostęp 12.12.2022.
- [5] Bąk R., Gaca S., Ostrowski K., Tracz M., Woźniak K. Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych, część II: Ronda, WR-D-31-3, Ministerstwo Infrastruktury 2022.
- [6] Benedysiuk W. Projekt koncepcyjny przybudowy skrzyżowania ulic Łącznej, Królewskiego i Wkrzańskiej w Szczecinie, inżynierska praca dyplomowa 2022, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.
- [7] CadTools, <https://cad-tools.software.informer.com/1.1/>, dostęp 20.12.2022.
- [8] Campbell D., Jurisich I., Dunn R. Improved multi-lane roundabout designs for urban areas, Research Report 476, NZ Transport Agency, Wellington 2012.
- [9] Chan S., Livingston R. Design vehicle's influence to the geometric design of turbo-roundabouts, International Roundabout Conference, April 7th – 10th, 2014 Seattle, Washington, pp. 1–17, http://teachamerica.com/RAB14/RAB-14papers/RAB14ppr147_Chan.pdf, dostęp 14.12.2020.
- [10] CROW Eenheid in rotondes. CROW Publication: Ede No. 126, Hague 1998.
- [11] CROW Turbo roundabouts. CROW Publication No. 257, Hague, 2008.
- [12] Directive 2002/7/EC of the European Parliament and of the Council of 18 February 2002, Official Journal of the European Communities, 9.3.2002, L 67/47.
- [13] Džambas T., Ahac S., Dragčević V. Design of turbo roundabouts based on the rules of vehicle movement geometry, Journal of Transportation Engineering, 2016, 142(7), DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000850.
- [14] Džambas T., Ahac S., Dragčević V. Geometric design of turbo roundabouts, Tehnički vjesnik, 2017, 24(1), 309–318, DOI: 10.17559/TV-20151012162141.
- [15] Džambas T., Dragčević V., Korlaet Ž. Optimizing geometric design of standard turboroundabouts Optymalizacja projektu geometrycznego standardowych rond turbo, KSCE Journal of Civil Engineering 2020, 24, 3034–3049. <https://doi.org/10.1007/s12205-020-1689-3>.
- [16] Engelsman J.C., Uken M. Turbo roundabouts as an alternative to two lane roundabouts 26th Southern African Transport Conference (SATC 2007), 9 – 12 July 2007 Pretoria, South Africa.
- [17] Federal Highway Administration Roundabouts: an Informational Guide, US Department of Transportation, Virginia 2000.
- [18] Fortuijn L.G.H. Turborotonde en turboplein: ontwerp, capaciteit en veiligheid, Trail Thesis series T 2013/1, Trail Research School, Dissertation of Delft University of Technology 2013.
- [19] Fortuijn L.G.H. Turbo Roundabouts: Design Principles and Safety Performance, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, [w]: Traffic safety: roundabouts, trucks, older drivers, and traffic law enforcement 2009, 2096, s. 16–24, <https://doi.org/10.3141/2096-03>.
- [20] Google Earth, strona dostępna online: <http://www.earth.google.com>, dostęp 19.09.2022.
- [21] Guerrieri M., Ticali D., Corriere F. Turbo roundabouts: geometric design parameters and performance analysis, GSTF Journal on Computing 2012, vol. 2, no. 1, pp. 227–232. DOI:10.5176_201_0-2283_2.1.1_55.
- [22] Highways England Geometric design of roundabouts CD116, Highways England, London 2020.
- [23] Heller W. Arbeitspapier Turbo-kreisverkehre, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2015
- [24] Macioszek E. The road safety at turbo roundabouts in Poland. Archives of Transport, 2015, 33 (1), 57–67. DOI 10.5604/08669546.1160927.
- [25] Mauro R., Cattani M., Guerrieri M. Evaluation of the safety performance of turbo roundabouts by means of a potential accident rate model, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 2015, 10(1), 28–38, DOI 10.3846/bjrbe.2015.04.
- [26] Petru J., Krivda V. An analysis of turbo roundabouts from the perspective of sustainability of road transportation, Sustainability 2021, 13, 2119, <https://doi.org/10.3390/su13042119>.
- [27] Plan Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Szczecin, Portal Systemu Informacji Przestrzennej Miasta Szczecina, Szczecin 2022. <https://mapa.szczecin.eu/gpt4/?profile=1034&projection=EPSG%3A2180&scale=25000.000000077023&x=209554.4057723&y=627138.6261576>, dostęp 19.05.2022.
- [28] Porter R., Gooch J., Peach K., Chestnutt C., Moore B., Broeren P., Tigelaar J. Advancing turbo roundabouts in the United States: Synthesis Report, No. FHWA-SA-19-027, Federal Highway Administration Office of Safety, Washington, DC, 2019.
- [29] Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji, Dio 5.3 Kružne raskrsnice, Uprava za putevje Srbije, Beograd, 2012.

- [30]Przestrzenny plan zagospodarowania przestrzennego miasta, Urząd Miasta w Szczecinie, 2012. Portal Systemu Informacji Przestrzennej Miasta Szczecina, Szczecin 2012, dostęp 19.05.2022..
- [31]Przestrzenny plan zagospodarowania przestrzennego miasta, Urząd Miasta w Szczecinie, 2022. https://bip.um.szczecin.pl/chapter_11424.asp, dostęp 19.05.2022.
- [32]Roundabouts: An Informational Guide NCHRP Program Report 672, Second Edition, Transportation Research Board Washington, D.C. 2010.
- [33]Roundabouts – Application and design, A practical manual, Royal Haskoning DHV. Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Partners for Roads, Hague 2009.
- [34]Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych, Dziennik Ustaw 2022, poz. 1518 z dn. 20 lipca 2022.
- [35]Smělý M., Patočka M., Radimský M., Apeltauer. J. Metodika pro navrhování turbo-okružních křižovatek, Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta Stavební, Brno 2015.
- [36]Smjernice za projektiranje kruznih raskrizja sa spiralnim tokom kruznog kolnika na drzavnim cestama, Hrvatske Ceste d.o.o. Zagreb, 2014.
- [37]Sołowczuk A., Wałdoch L., Tarko M. Studium kształtowania geometrii czterowlotowych rond turbinowych cz. 3 (rondo turbinowe typu Egg według najnowszych tendencji projektowych), Drogi – Budownictwo Infrastrukturalne, 2013, nr 11, s. 30 – 39.
- [38]Ticali D., Corriere F. Turbo roundabouts: Geometric design parameters and performance analysis. GSTF Journal on Computing (JoC), 2012, 2(1):227-232.
- [39]Tollazzi T. Alternative types of roundabouts. an informational guide, Springer Tracts on Transportation and Traffic STTT, 2015, vol. 6, DOI: 10.1007/978-3-319-09084-9.
- [40]Tollazzi T. „Turbo” krožišča: krožna krožišča s spiralnim potekom krožnega vozišča, Ministrstvo za promet, Direkcija Republike Slovenije za ceste, Slovenian, Ljubljana, 2008.

REKLAMA



RAILPROFILE 2D

LASEROWY POMIAR PROFILU KAŻEGO RODZAJU SZYN ORAZ ROZJAZDÓW

Urządzenie obsługiwane jest przez aplikację na telefonie z systemem Android™.

Railprofile 2D mierzy pełny profil główki szyny oraz wylicza parametry dotyczące obszaru szlifowania. Dostępna jest również funkcja związana z pomiarem rozjazdu lub jego elementów. Urządzenie prezentuje wynik pomiaru bezpośrednio na ekranie aplikacji.

Więcej informacji na www.graw.com

www.goldschmidt.com

