



**POLITECHNIKA
BYDGOSKA**

Wydział Budownictwa,
Architektury i Inżynierii Środowiska



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Techniczne aspekty projektowania rond turbinowych w Polsce

Wrzesień 2023

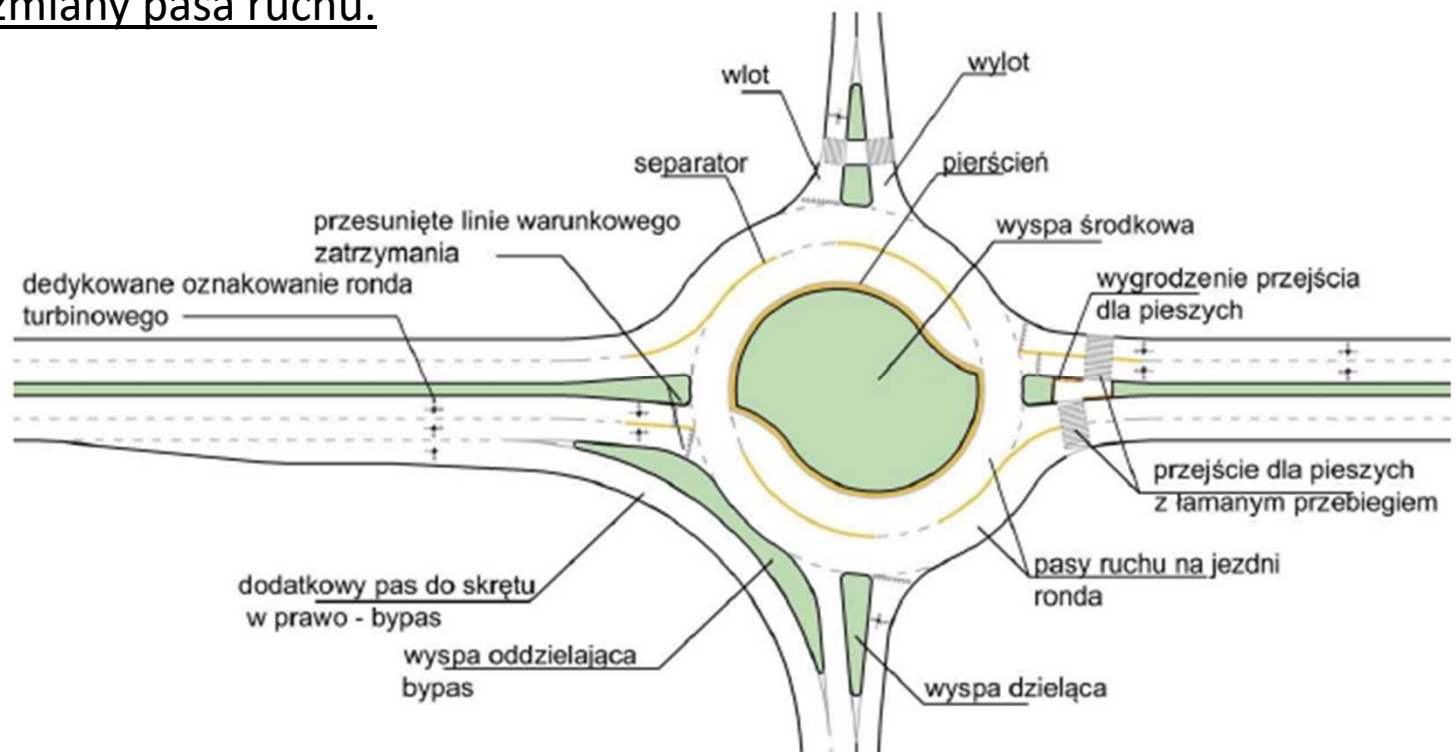
motohigh.pl



Rondo turbinowe jest skrzyżowaniem o ruchu okrężnym, na którym przynajmniej na jednym z wlotów są wyznaczone dwa pasy ruchu posiadające kontynuację w postaci dwupasowej jezdni wokół wyspy środkowej na części obwiedni. Liczby pasów na wlotach jak również na odcinkach jezdni ronda pomiędzy wlotami są dostosowane do wielkości natężenia poszczególnych relacji ruchowych. Na jezdni ronda nie ma potrzeby zmiany pasa ruchu, a wybór kierunku ruchu następuje poprzez wybór właściwego pasa ruchu, przed wjazdem na rondo zgodnie ze znakami pionowymi i poziomymi.



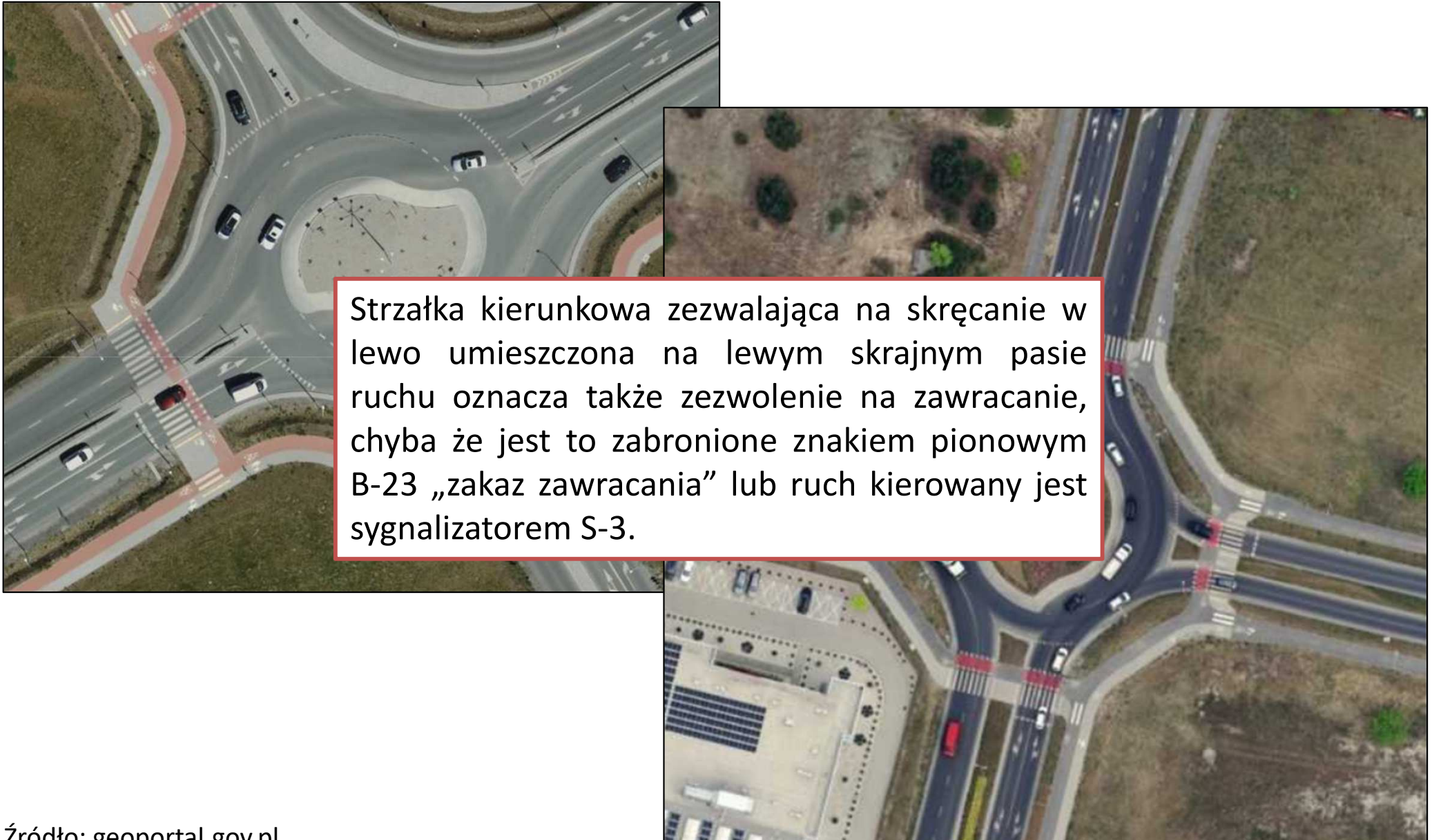
- (1) Zasadą rozwiązania geometrycznego ronda turbinowego jest brak możliwości zmiany pasa ruchu na jezdni ronda, wybranego uprzednio na wlocie ronda przez kierującego pojazdem.
- (2) Wybór pasa ruchu na wlocie następuje z wykorzystaniem znaków pionowych i poziomych.
- (3) Rozwiązanie geometryczne i oznakowanie ronda turbinowego eliminuje kolizje związane ze zmianami pasa ruchu na jezdni ronda oraz kolizje boczne na wlotach i wylotach z ronda (charakterystyczne dla ronda dwupasowego).
- (4) Pasy ruchu na jezdni ronda turbinowego zaleca się rozdzielać separatorami zamontowanymi na trwałe w jezdni. Zastosowanie separatorów poprawia czytelność prowadzenia ruchu oraz eliminuje niepożądane zmiany pasa ruchu.



Oznakowanie ronda turbinowego



Oznakowanie ronda turbinowego



Strzałka kierunkowa zezwalająca na skręcanie w lewo umieszczona na lewym skrajnym pasie ruchu oznacza także zezwolenie na zawracanie, chyba że jest to zabronione znakiem pionowym B-23 „zakaz zawracania” lub ruch kierowany jest sygnalizatorem S-3.

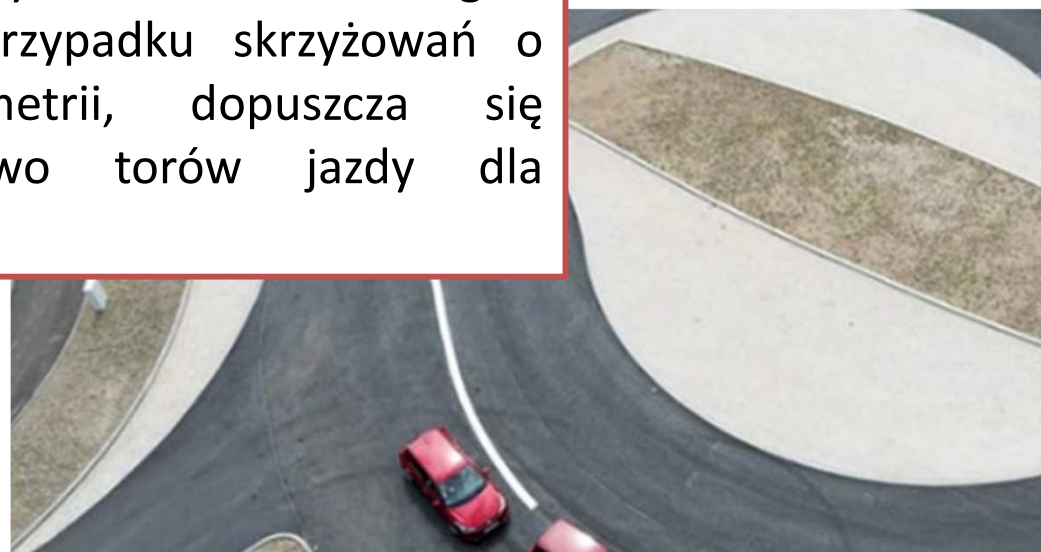
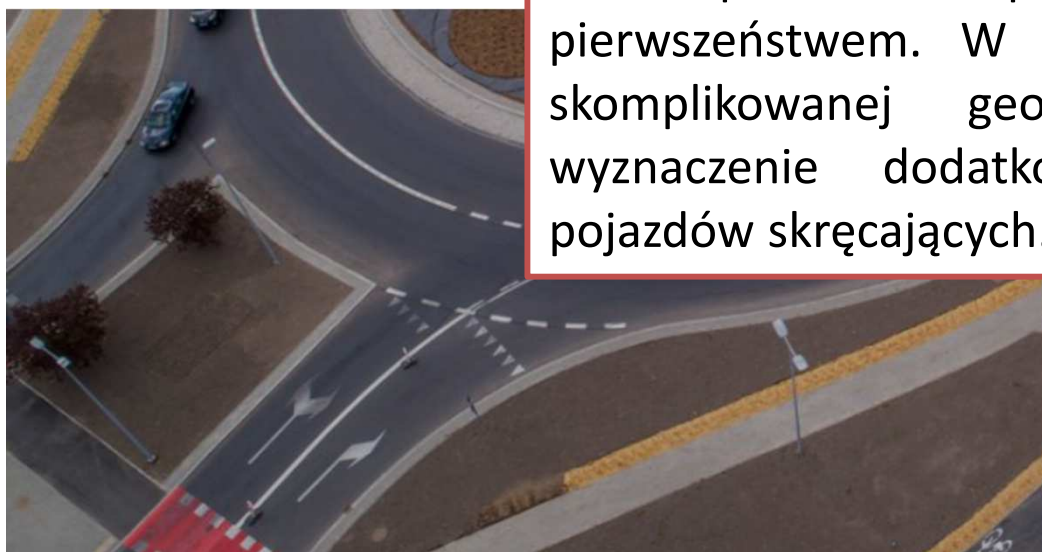
Oznakowanie ronda turbinowego



Oznakowanie ronda turbinowego



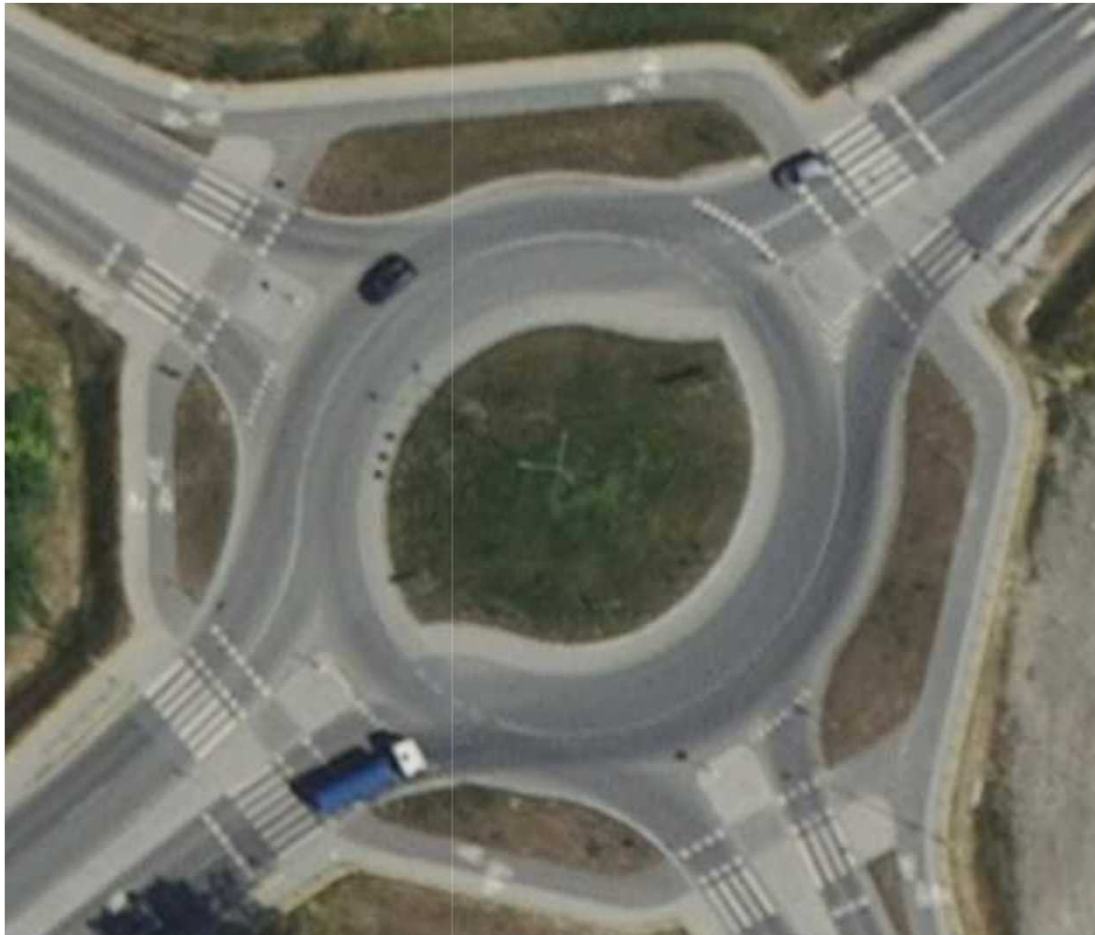
Oznakowanie poziome stosuje się przede wszystkim na skrzyżowaniach leżących w ciągach dróg z pierwszeństwem przejazdu, wyznaczając na ich powierzchni pasy ruchu wzdłuż drogi z pierwszeństwem. W przypadku skrzyżowań o skomplikowanej geometrii, dopuszcza się wyznaczenie dodatkowo torów jazdy dla pojazdów skręcających.



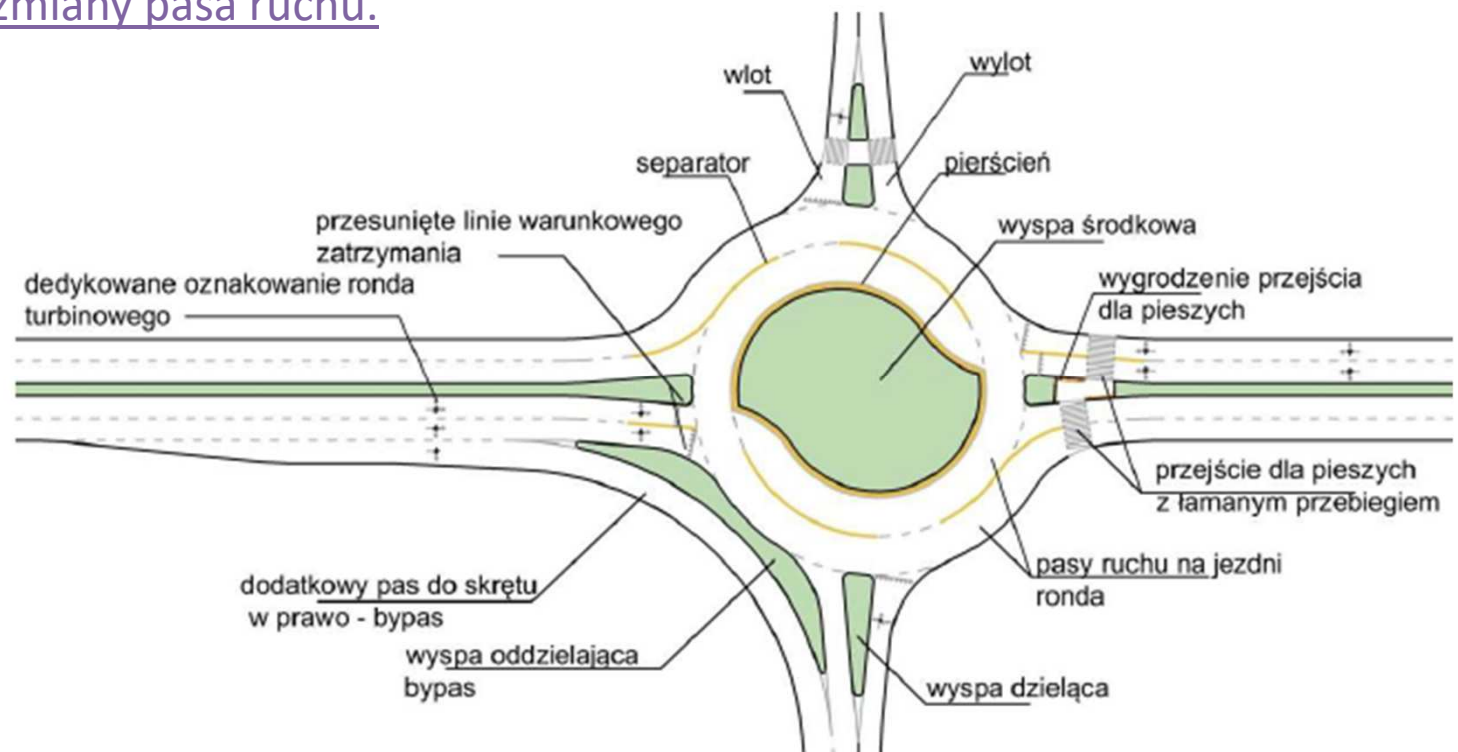
Oznakowanie ronda turbinowego



Oznakowanie ronda turbinowego



- (1) Zasadą rozwiązania geometrycznego ronda turbinowego jest brak możliwości zmiany pasa ruchu na jezdni ronda, wybranego uprzednio na wlocie ronda przez kierującego pojazdem.
- (2) Wybór pasa ruchu na wlocie następuje z wykorzystaniem znaków pionowych i poziomych.
- (3) Rozwiązanie geometryczne i oznakowanie ronda turbinowego eliminuje kolizje związane ze zmianami pasa ruchu na jezdni ronda oraz kolizje boczne na wlotach i wylotach z ronda (charakterystyczne dla ronda dwupasowego).
- (4) Pasy ruchu na jezdni ronda turbinowego zaleca się rozdzielać separatorami zamontowanymi na trwałe w jezdni. Zastosowanie separatorów poprawia czytelność prowadzenia ruchu oraz eliminuje niepożądane zmiany pasa ruchu.

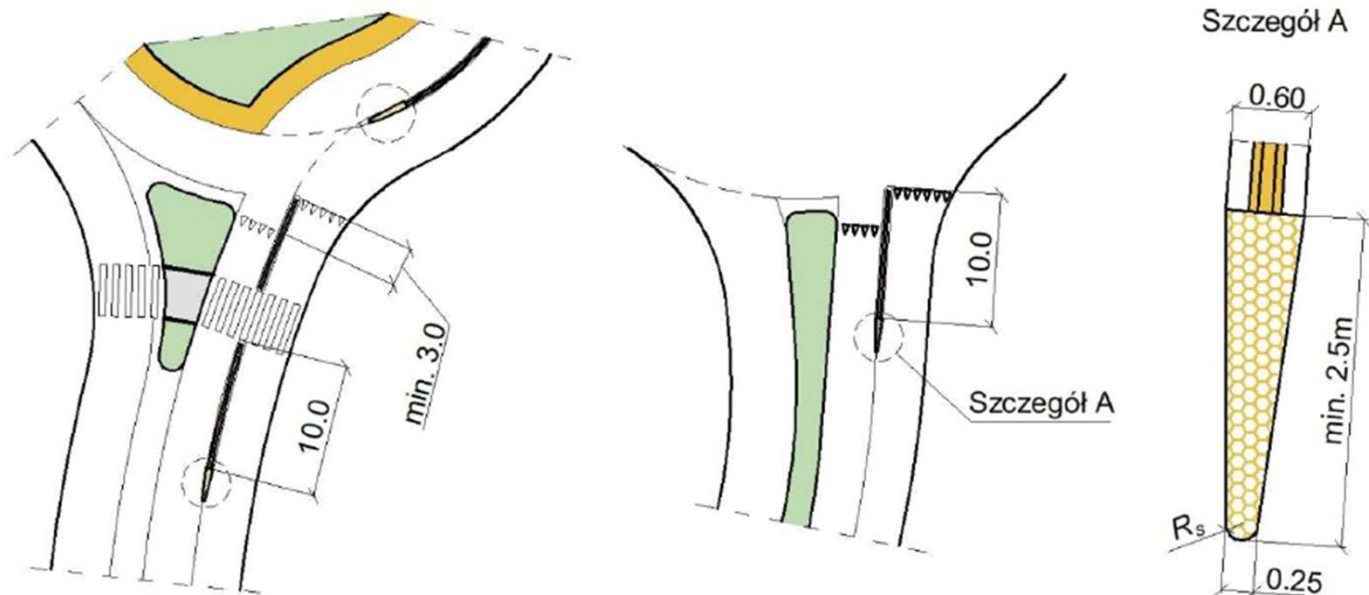




Separatory rychnu



- (1) Separator umieszcza się na jezdni ronda turbinowego pomiędzy pasami ruchu, rozpoczynając przed wjazdem na jezdnię ronda w odległości 10,00 m przed linią zatrzymań, przejściem dla pieszych lub przejazdem dla rowerów (rys. 7.4.1).
- (2) Początek separatora wyposaża się w dobrze widoczny, przejezdny element ostrzegawczy, poprawiający dostrzegalność miejsca rozdziału pasów ruchu (rys. 7.4.1 – szczegół A). Jego kształt i długość dostosowuje się do korytarza ruchu pojazdu miarodajnego. Dopuszcza się usytuowanie przejezdnego elementu ostrzegawczego przy linii warunkowego zatrzymania, jeżeli wynika to z potrzeb przejezdności pojazdu miarodajnego.
- (3) Separator wbudowuje się trwale w nawierzchnię jezdni. Trapezowa konstrukcja separatora umożliwia powolny przejazd pojazdu na sąsiedni pas ruchu, gdy zaistnieje potrzeba ominięcia unieruchomionego pojazdu (w tym przez pojazdy uprzywilejowane).

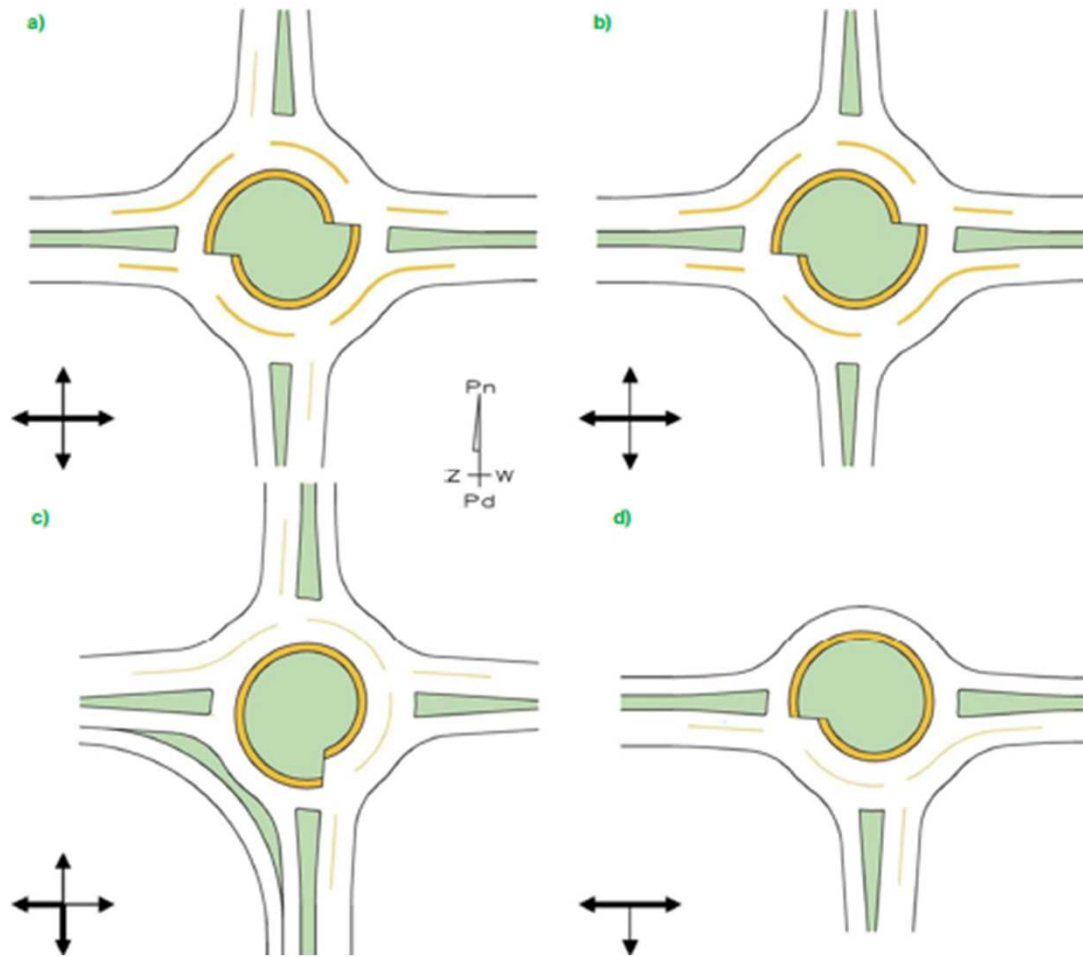


- (4) Wysokość separatora powinna być nie większa niż 0,08 m i nie mniejsza niż 0,06 m. Zalecana wysokość separatora wynosi 0,07 m.
- (5) Separatory nie powinny utrudniać odwodnienia ronda. Nie dopuszcza się, aby woda opadowa pozostawała na jezdni ronda. Studzienki kanalizacyjne lokalizuje się w najniższych punktach krawędzi pasa ruchu jezdni ronda, rozdzielonego separatorem ciągłym. Potrzebę lokalizacji studzienek kanalizacyjnych należy każdorazowo wykazać i uzasadnić na planie warstwicowym ronda turbinowego.
- (6) Dopuszcza się stosowanie separatorów nieciągłych o długości nie mniejszej niż 1,00 m i nie większej niż 1,50 m, z przerwami o długości nie mniejszej niż 0,15 m i nie większej niż 0,25 m, zapewniających sprawny odpływ wody opadowej, w sposób nie zagrażający BRD.
- (7) Separatory wykonuje się z materiałów kontrastujących kolorystycznie z nawierzchnią jezdni ronda. Dodatkowo, w celu poprawy dostrzegalności separatorów, stosuje się znaki poziome (rys. 7.3.1). Zaleca się także stosowanie elementów odblaskowych prowadzących (tzw. „kocich oczek”), które umieszcza się na znakach poziomych przy separatorach.
- (8) Dopuszcza się niestosowanie separatorów przy przebudowie istniejących rond dwupasowych lub semidwupasowych na ronda turbinowe i w trudnych warunkach.

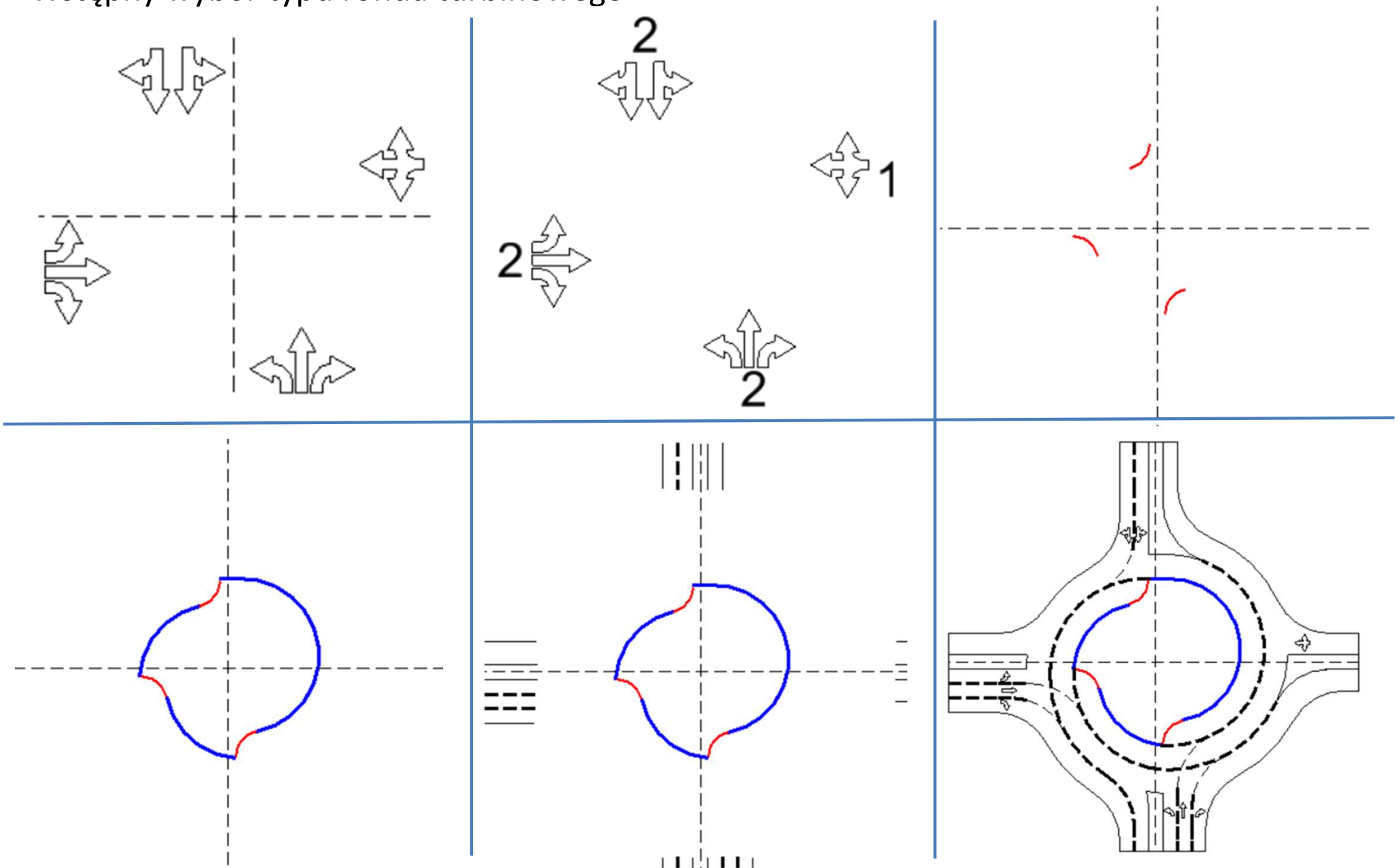
(6) Procedura projektowania ronda turbinowego obejmuje następujące kroki:

- a) wstępny wybór typu ronda turbinowego, liczby oraz przeznaczenia pasów ruchu na podstawie wielkości natężeń miarodajnych i ich struktury kierunkowej oraz klasy i przekroju poprzecznego łączących się dróg; uwzględnia się wielkość oraz wahania ruchu, w tym struktury kierunkowej i rodzajowej,
- b) przeprowadzenie analiz przepustowości i warunków ruchu metodą polską, mających na celu ocenę jakości funkcjonowania i poprawności przyjętego wstępnie rozwiązania geometrycznego; w przypadku uzyskania wyników niezadowolających przeprowadza się korekty geometrii ronda i organizacji ruchu na wlotach ronda, celem optymalnego ukształtowania przyjętego wstępnie rozwiązania z uwzględnieniem natężeń miarodajnych i struktury kierunkowej ruchu, w tym rozważa się zaprojektowanie bypassów lub zmienia się typ ronda turbinowego,
- c) ustalenie pojazdu miarodajnego do projektowania geometrii ronda oraz stref wlotowych i wylotowych z ronda,
- d) ostateczne przyjęcie typu, geometrii;
- e) zaprojektowanie poszczególnych elementów ronda turbinowego, tj. wyspy środkowej, pierścienia i jezdni ronda, stref wlotowych i wylotowych z ronda, bypassa, wysp kanalizujących ruch, separatorów i – w razie potrzeby – kontrałuków zmniejszających prędkość pojazdów na dojeździe do ronda, wraz ze sprawdzeniem przejezdności,
- f) zaprojektowanie przejść dla pieszych, przejść sugerowanych lub przejazdów dla rowerów oraz innych elementów związanych z ruchem niechronionych uczestników ruchu drogowego, a także przystanków komunikacyjnych,
- g) zaprojektowanie organizacji ruchu oraz urządzeń do oświetlenia.

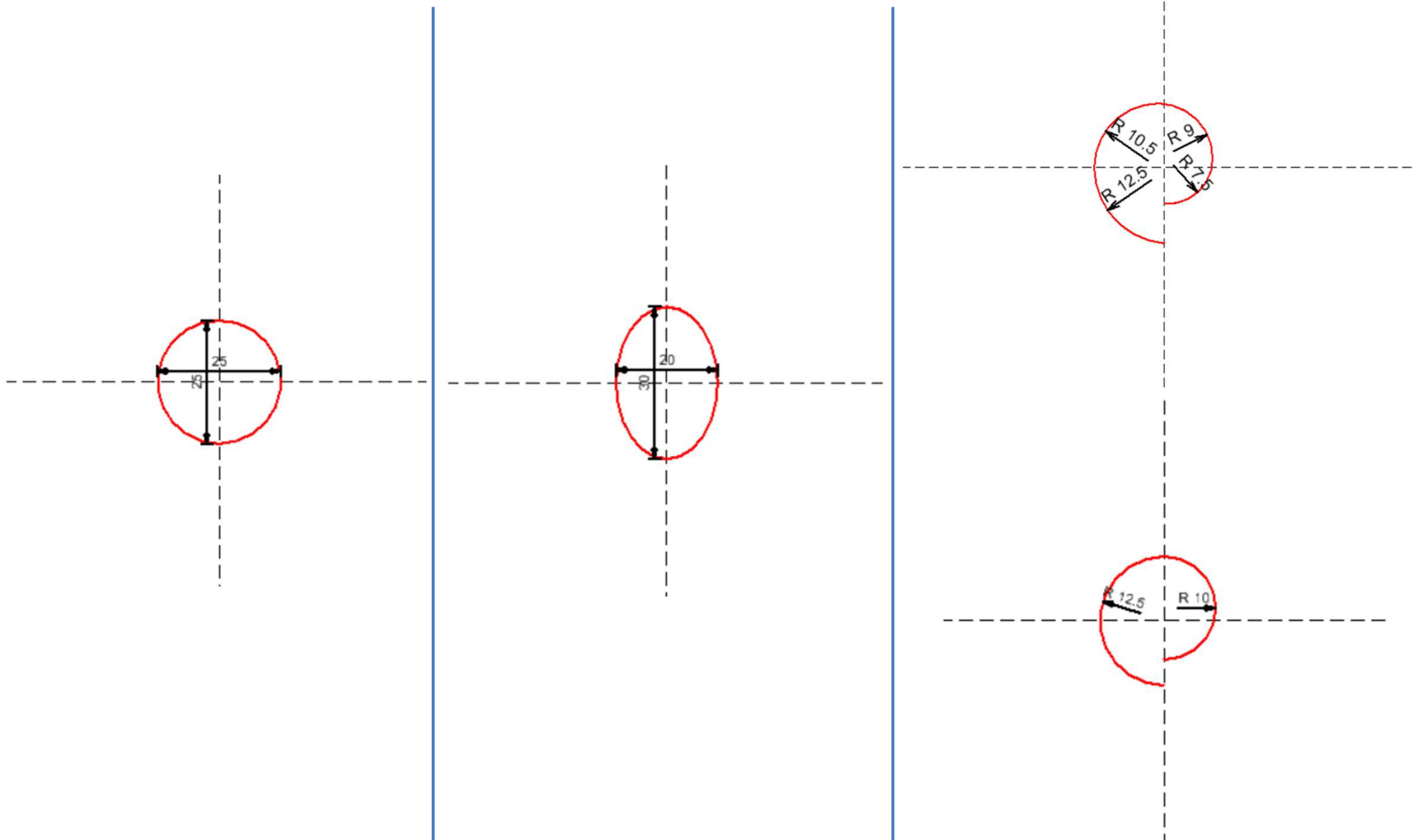
Wstępny wybór typu ronda turbinowego



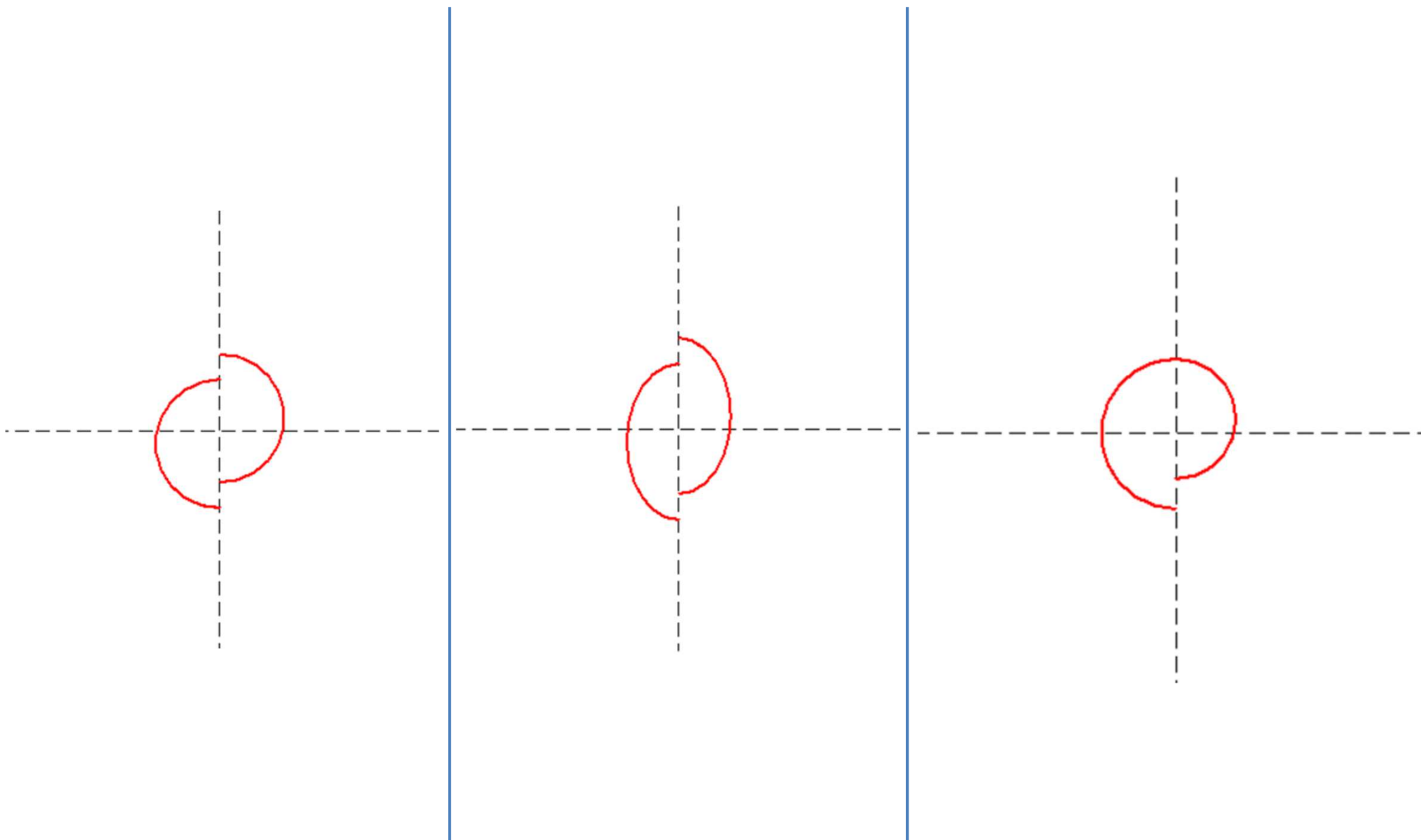
Wstępny wybór typu ronda turbinowego



Wybór typu ronda turbinowego

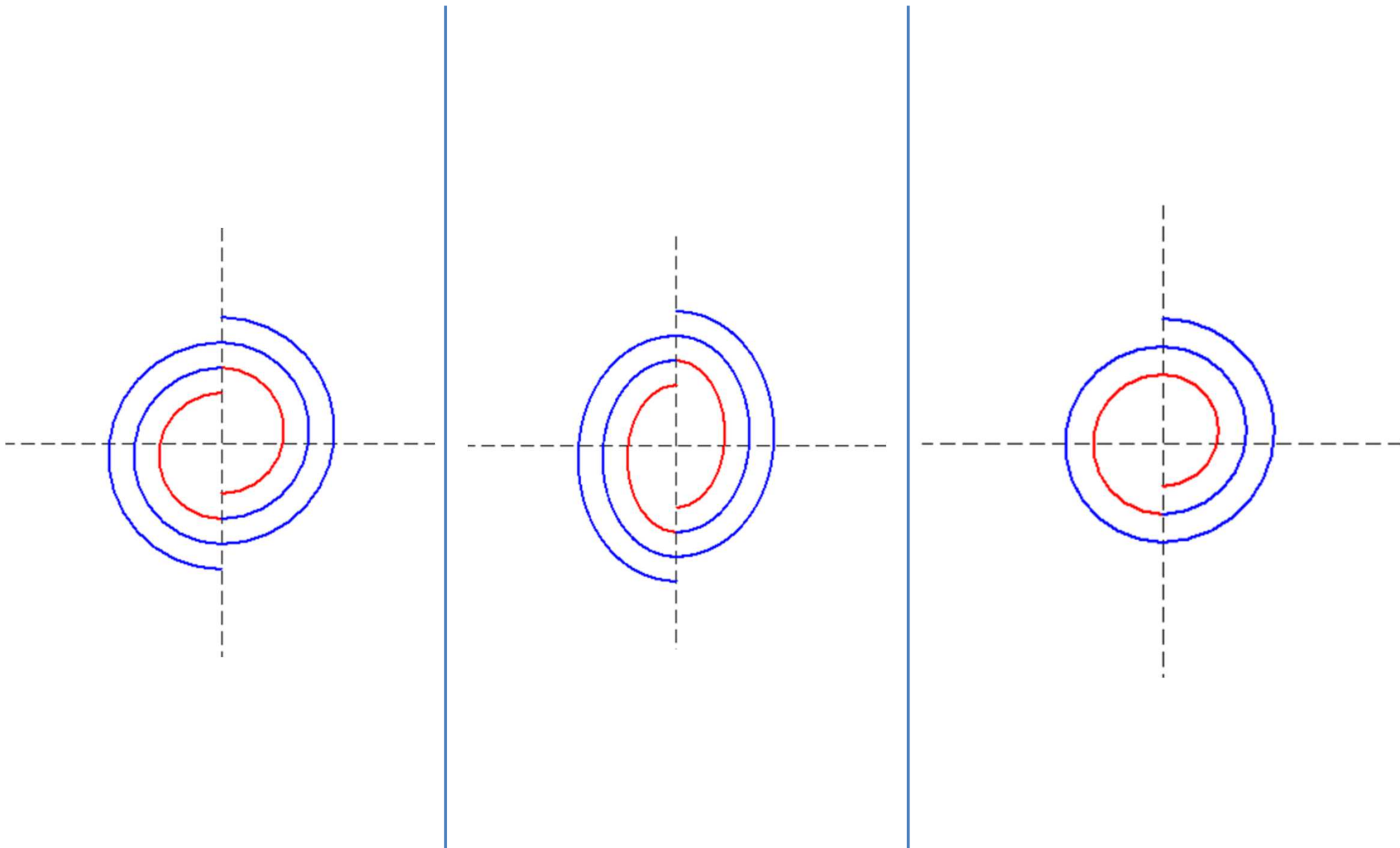


Wybór typu ronda turbinowego

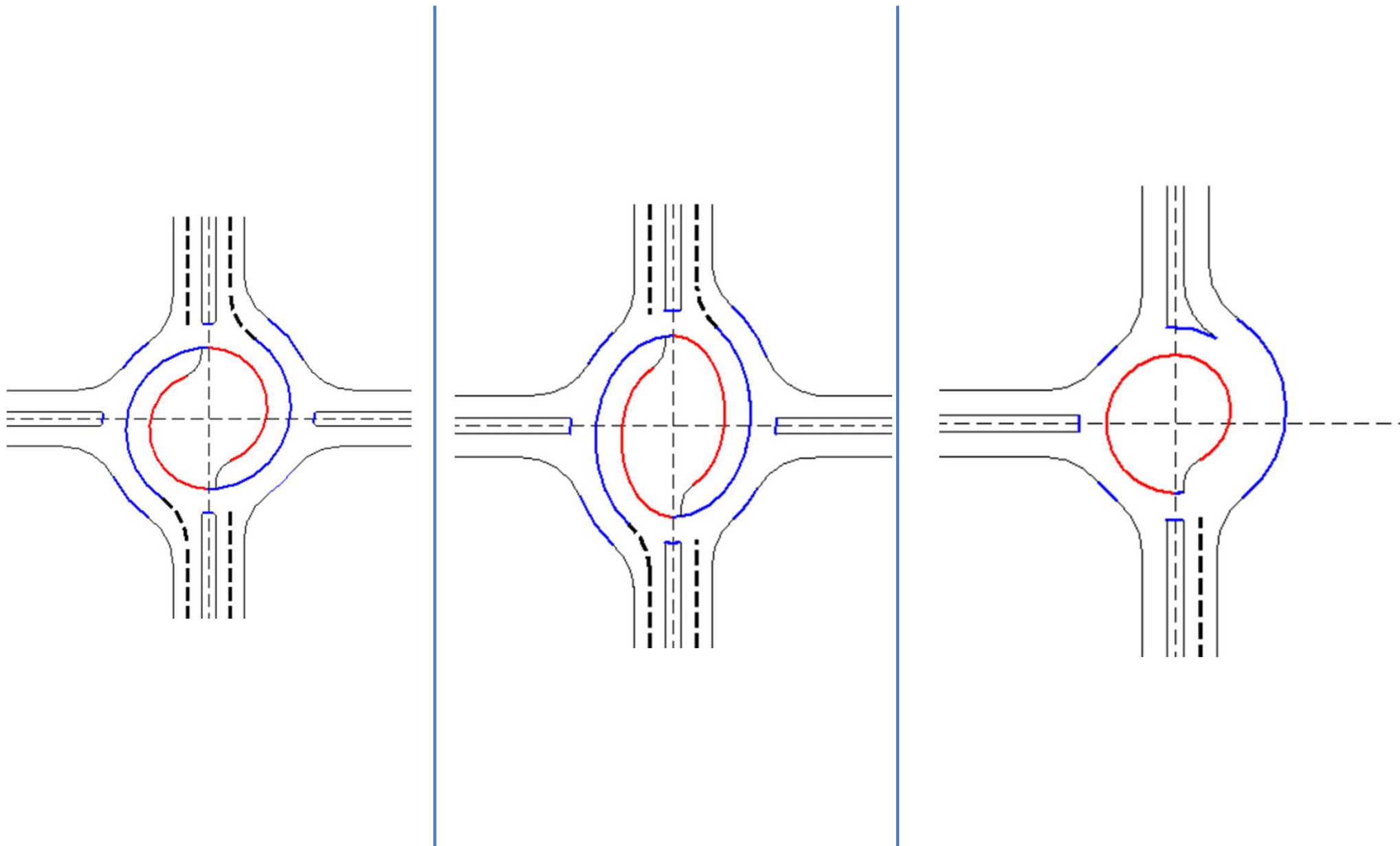




Wybór typu ronda turbinowego



Wybór typu ronda turbinowego

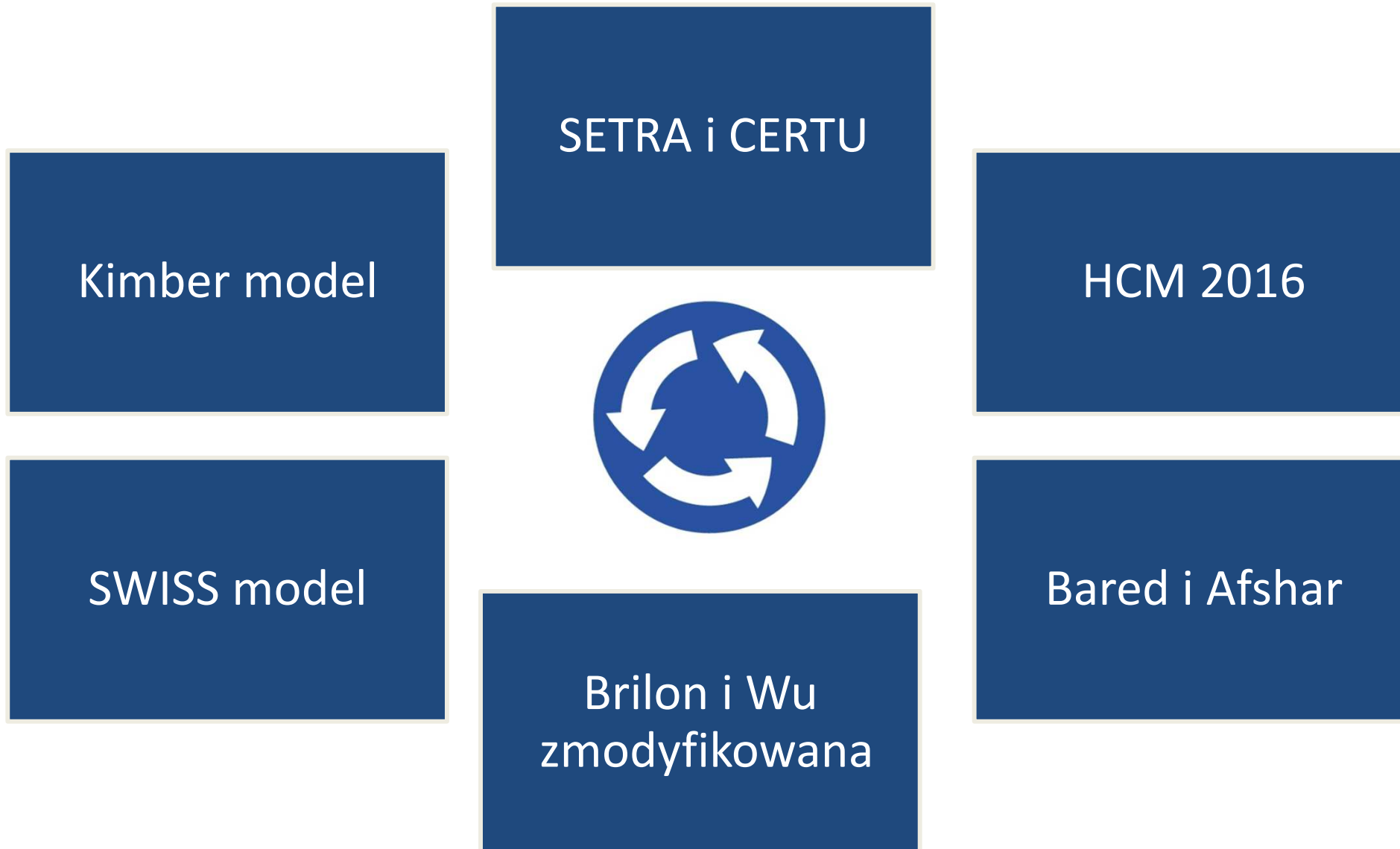


(6) Procedura projektowania ronda turbinowego obejmuje następujące kroki:

- a) wstępny wybór typu ronda turbinowego, liczby oraz przeznaczenia pasów ruchu na podstawie wielkości natężeń miarodajnych i ich struktury kierunkowej oraz klasy i przekroju poprzecznego łączących się dróg; uwzględnia się wielkość oraz wahania ruchu, w tym struktury kierunkowej i rodzajowej,
- b) przeprowadzenie analiz przepustowości i warunków ruchu metodą polską, mających na celu ocenę jakości funkcjonowania i poprawności przyjętego wstępnie rozwiązania geometrycznego; w przypadku uzyskania wyników niezadowolających przeprowadza się korekty geometrii ronda i organizacji ruchu na wlotach ronda, celem optymalnego ukształtowania przyjętego wstępnie rozwiązania z uwzględnieniem natężeń miarodajnych i struktury kierunkowej ruchu, w tym rozważa się zaprojektowanie bypassów lub zmienia się typ ronda turbinowego,
- c) ustalenie pojazdu miarodajnego do projektowania geometrii ronda oraz stref wlotowych i wylotowych z ronda,
- d) ostateczne przyjęcie typu, geometrii;
- e) zaprojektowanie poszczególnych elementów ronda turbinowego, tj. wyspy środkowej, pierścienia i jezdni ronda, stref wlotowych i wylotowych z ronda, bypassa, wysp kanalizujących ruch, separatorów i – w razie potrzeby – kontrałuków zmniejszających prędkość pojazdów na dojeździe do ronda, wraz ze sprawdzeniem przejezdności,
- f) zaprojektowanie przejść dla pieszych, przejść sugerowanych lub przejazdów dla rowerów oraz innych elementów związanych z ruchem niechronionych uczestników ruchu drogowego, a także przystanków komunikacyjnych,
- g) zaprojektowanie organizacji ruchu oraz urządzeń do oświetlenia.



Przepustowości ronda turbinowego



Przepustowości ronda turbinowego

SWISS model

$$C_e = 1,500 - \frac{8}{9} \cdot Q_g$$

$$Q_g = \beta Q_c + \alpha Q_u$$

where:

- C_e = entry capacity (pc/h),
- Q_g = disturbing flow (pc/h),
- Q_c = circulating flow (pc/h),
- Q_u = exiting flow (pc/h)

and:

α = coefficient for impedance of exiting flow: it is comprised between 0 and 1 and decreases as the distance between diverging and merging conflict points at an entry increases; $\alpha = 0.6$ if the distance is equal to 9 m, and reaches the 0 value when the distance is over 28 m.

$$\beta = \begin{cases} 0.9 - 1.0 & \text{for one circulatory lane} \\ 0.6 - 0.7 & \text{for two circulatory lanes} \end{cases}$$

Przepustowości ronda turbinowego

Kimber model

$$C_e = F - f_c \cdot Q_c$$

where:

- Q_c = circulating flow (pc/h),
- K, F, f_c depending on the roundabout's geometry.

Moreover:

$$F = 303 K x$$

$$f_c = 0.21 K t (1 + 0.2x)$$

where:

$$K = 1 - 0.00347(\phi - 30) - 0.978(1/r - 0.05)$$

$$t^* = 1 + 0.5/[1 + \exp((D - 60)/10)]$$

$$x = v + (e - v)/(1 + 2S)$$

$$S = 1.6(e - v)/L'$$

Table 1: Recommended ranges of roundabouts geometric features (Fig. 5) for Kimber's model.

Symbols	Meaning (geometric features)	Observed values	Recommended values
E	Entry width	3,6 ÷ 16,5 m	4 ÷ 15 m
V	Lane width	1,9 ÷ 12,5 m	2 ÷ 7,3 m
L'	Lane flare length	>1 m	1 ÷ 100 m
S	Lane flare slenderness	0 ÷ 2,9 m	–
D	Inscribed circle diameter	13,5 ÷ 171 m	15 ÷ 100 m
ϕ	Entry angle	0 ÷ 77°	10 ÷ 60°
R	Entry radius	> 3,4 m	6 ÷ 100 m

Przepustowości ronda turbinowego

HCM 2016

$$C_e = \frac{Q_c \cdot \exp\left(\frac{-Q_c \cdot t_c}{3,600}\right)}{1 - \exp\left(\frac{-Q_c \cdot t_f}{3,600}\right)}$$

where Q_c = conflicting flow rate (total of circulating lanes) (pc/h).

Once the model is calibrated with the values of t_c and t_f for local conditions (e.g. [6, 12, 14]), then eqn (14) turns into the following equations resumed in Table 2:

Instructions are given by the manual on how to calibrate the generalized model to the project site's local conditions:

$$C_e = A \exp(-B Q_c)$$

$$\text{where: } A = \frac{3,600}{t_f}; \text{ and } B = \frac{t_c - (t_f/2)}{3,600}.$$

Przepustowości ronda turbinowego

Bared and Afshar

$$C_{e,L} = \exp\left(7.7054 - \frac{1.1864 \cdot c_1}{1,000} - \frac{1.0813 \cdot c_2}{1,000} - \frac{0.9479 \cdot c_3}{1,000}\right) \quad R^2 = 0.986 \quad (20)$$

$$C_{e,M} = \exp\left(7.7054 - \frac{0.6758 \cdot c_1}{1,000} - \frac{1.1556 \cdot c_2}{1,000} - \frac{0.9049 \cdot c_3}{1,000}\right) \quad R^2 = 0.980 \quad (21)$$

$$C_{e,R} = \exp\left(7.7054 - \frac{0.5569 \cdot c_1}{1,000} - \frac{0.9044 \cdot c_2}{1,000} - \frac{1.0258 \cdot c_3}{1,000} + 0.2795 \cdot R_t\right) \quad R^2 = 0.955 \quad (22)$$

where

$C_{e,L}$ = capacity of left entry lane (pc/h)

$C_{e,M}$ = capacity of middle entry lane (pc/h)

$C_{e,R}$ = capacity of right entry lane (pc/h)

c_1 = flow rate in the innermost circulating lane (pc/h)

c_2 = flow rate in the middle circulating lane (pc/h)

c_3 = flow rate in the outermost circulating lane (pc/h)

R_t = ratio of right turning flow to total entering flow at the selected approach leg.

Przepustowości ronda turbinowego

Brilon and Wu

$$C_{eR} = 3,600 \left(1 - \frac{2.1 \cdot Q_{ce}}{3,600 \cdot n_c} \right)^{n_c} 0.5 \cdot \exp \left(-0.8 \frac{Q_{ce}}{3,600} \right)$$

$$C_{eL} = 3,600 \left(1 - \frac{2.1 \cdot (Q_{ce} + Q_{ci})}{3,600 \cdot n_c} \right)^{n_c} 0.5 \cdot \exp \left(-0.8 \frac{(Q_{ce} + Q_{ci})}{3,600} \right)$$

For turbo roundabouts, it is necessary to take into account the presence of raised dividers between the circulating lanes. Therefore, a model suitable for turbo roundabouts must be able to distinguish effective disturbing flow from total circulating flow in front of an entry. Mauro and Branco [18] mention a modified version of Brilon and Wu's formula that includes two separate variables to describe circulating flow: Q_{ce} , circulating flow in the outermost (external) lane and Q_{ci} , circulating flow in the innermost (internal) lane. The model is therefore able to take into account the actual amount of circulating flow to which an entry lane must yield to. In this respect, a right entry lane will have to yield only to the flow in the outermost circulating lane, while the left entry lane will have to yield to both circulating lanes because vehicles in this lane are forced to merge into the internal circulating lane. The following equations describe the capacity of right and left entry lanes for a two-lane approach.

Przepustowości ronda turbinowego

SETRA I CERTU

$$C_e = (1330 - 0,7 * Q_g) * [1 + 0,1 * (ENT - 3,5)], [P/h]$$

$$Q_g = \left[Q_c + \frac{2}{3} * Q_u^* \right] * [1 - 0,085 * (ANN - 8)], [P/h]$$

$$Q_u^* = Q_u * \frac{15 - SEP}{15}, Q_u^* = 0 \text{ if } SEP \geq 15 \text{ m}, [P/h]$$

gdzie:

C_e – przepustowość wlotu (liczba pojazdów/godzinę),

Q_g – natężenie pojazdów z pierwszeństwem przejazdu (liczba pojazdów/godzinę),

Q_c – natężenie pojazdów na rondzie (liczba pojazdów/godzinę),

Q_u – natężenie pojazdów na wylocie, rozpatrywanego wlotu (liczba pojazdów/godzinę),

ENT – szerokość wlotu wyrażona w metrach,

ANN – szerokość pasów ruchu na obwodni ronda wyrażona w metrach,

Przepustowości ronda turbinowego

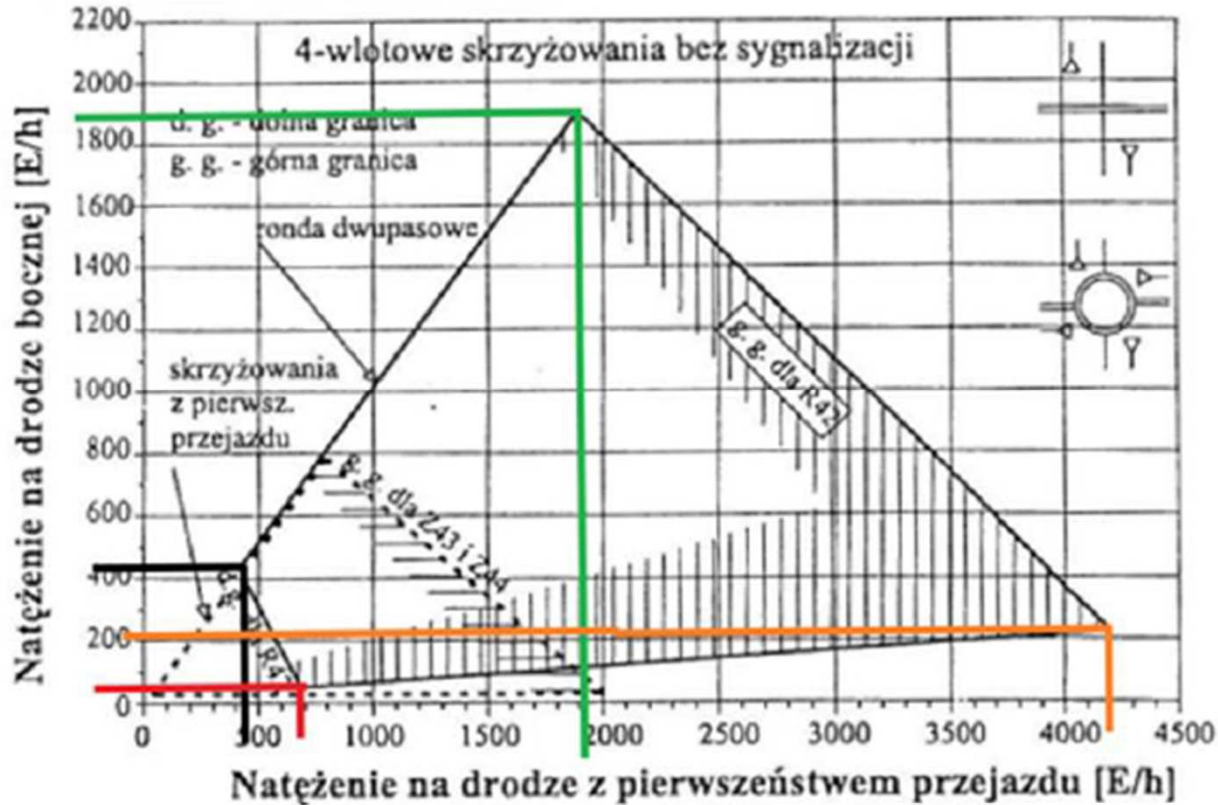


Rozpatrywany przypadek	Droga poprzeczna	Droga z pierwszeństwem
1	1900	1850
2	230	4200
3	430	420
4	50	690
5	880	1950

Przepustowości ronda turbinowego

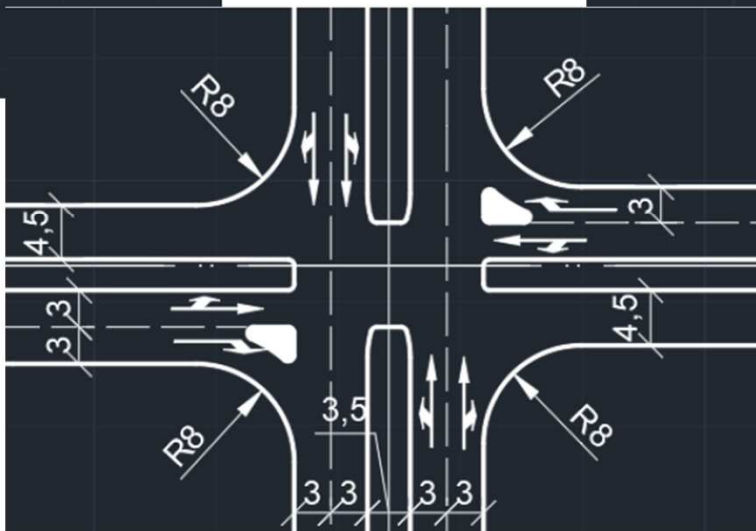
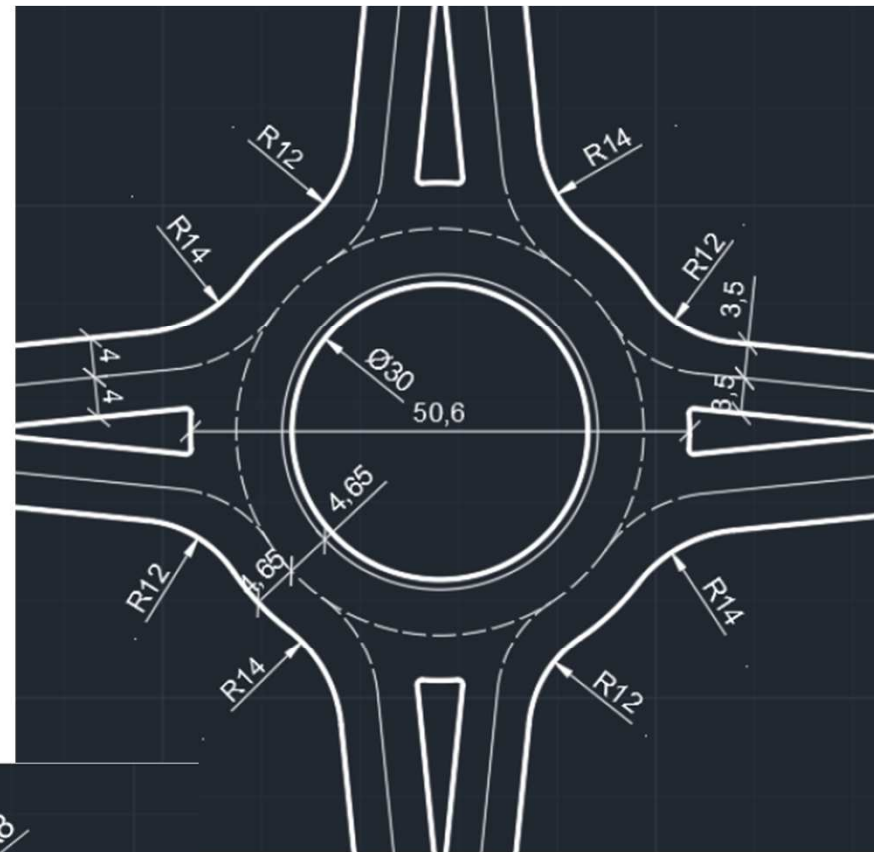
Natężenia na wlotach		Model obliczeniowy					
Podporządkowanych	Nadrzędnych	Bared i Asfar	Brilion i Wu	HCM 2016	Kimber	SETRA/ CERTU	SWISS
[P/h]	[P/h]	[P/h]	[P/h]	[P/h]	[P/h]	[P/h]	[P/h]
950	925	3841	3837	3841	1840	3900	4395
115	2100	2049	2042	2639	1967	3654	3694
215	210	3836	3839	3878	4372	3945	4388
25	235	2083	2083	2659	4321	3663	3709
880	1950	2824	2819	3242	2721	3796	4075

Przepustowości ronda turbinowego



Przypadek	Droga podporządkowana			Droga z pierwszeństwem		
	relacja w lewo	relacja na wprost	relacja w prawo	Relacja w lewo	relacja na wprost	relacja w prawo
1	238	475	237	185	555	185
2	29	57	29	420	1260	420
3	54	107	54	42	126	42
4	6	13	6	69	207	69

Przepustowości ronda turbinowego

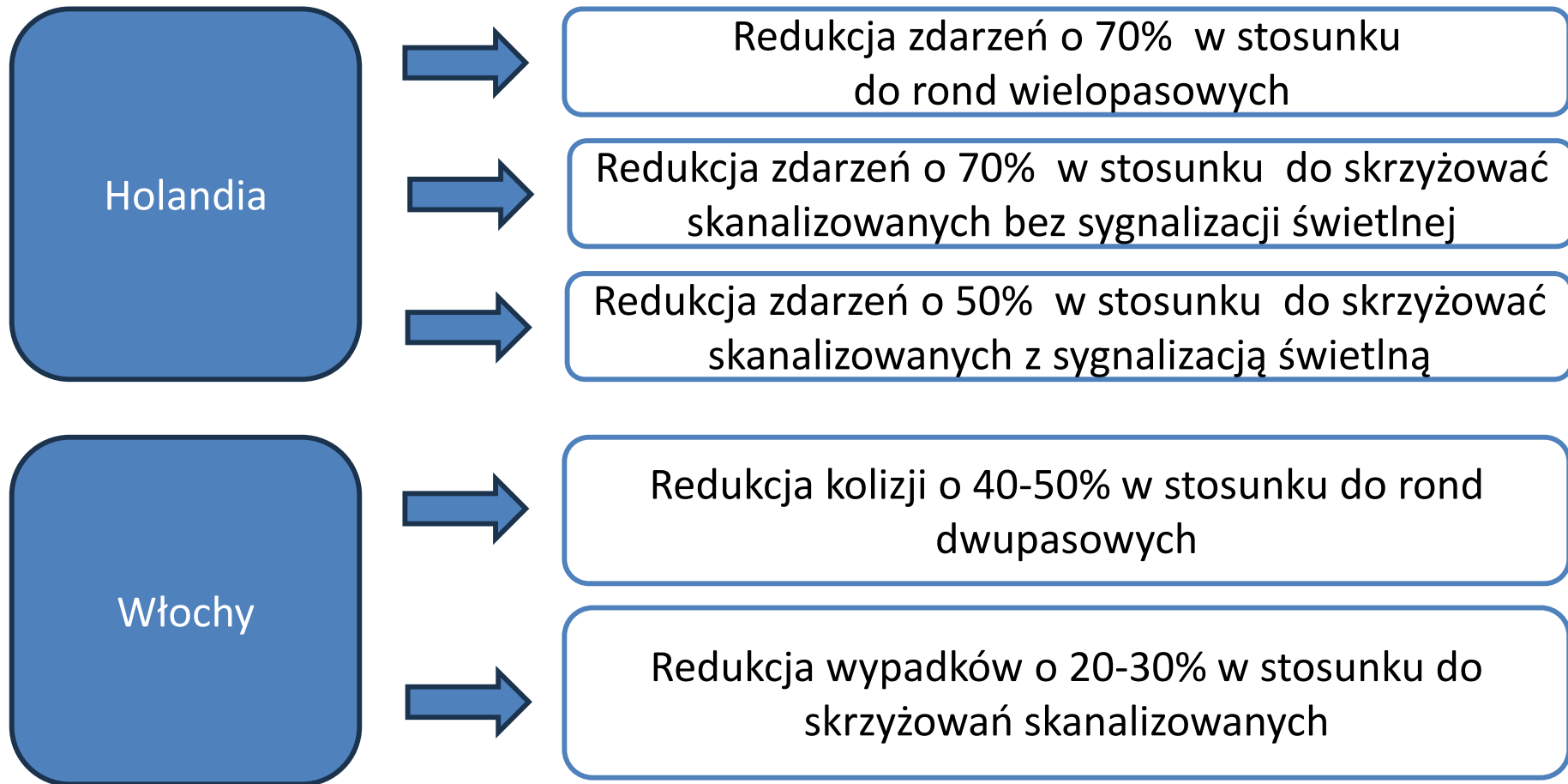


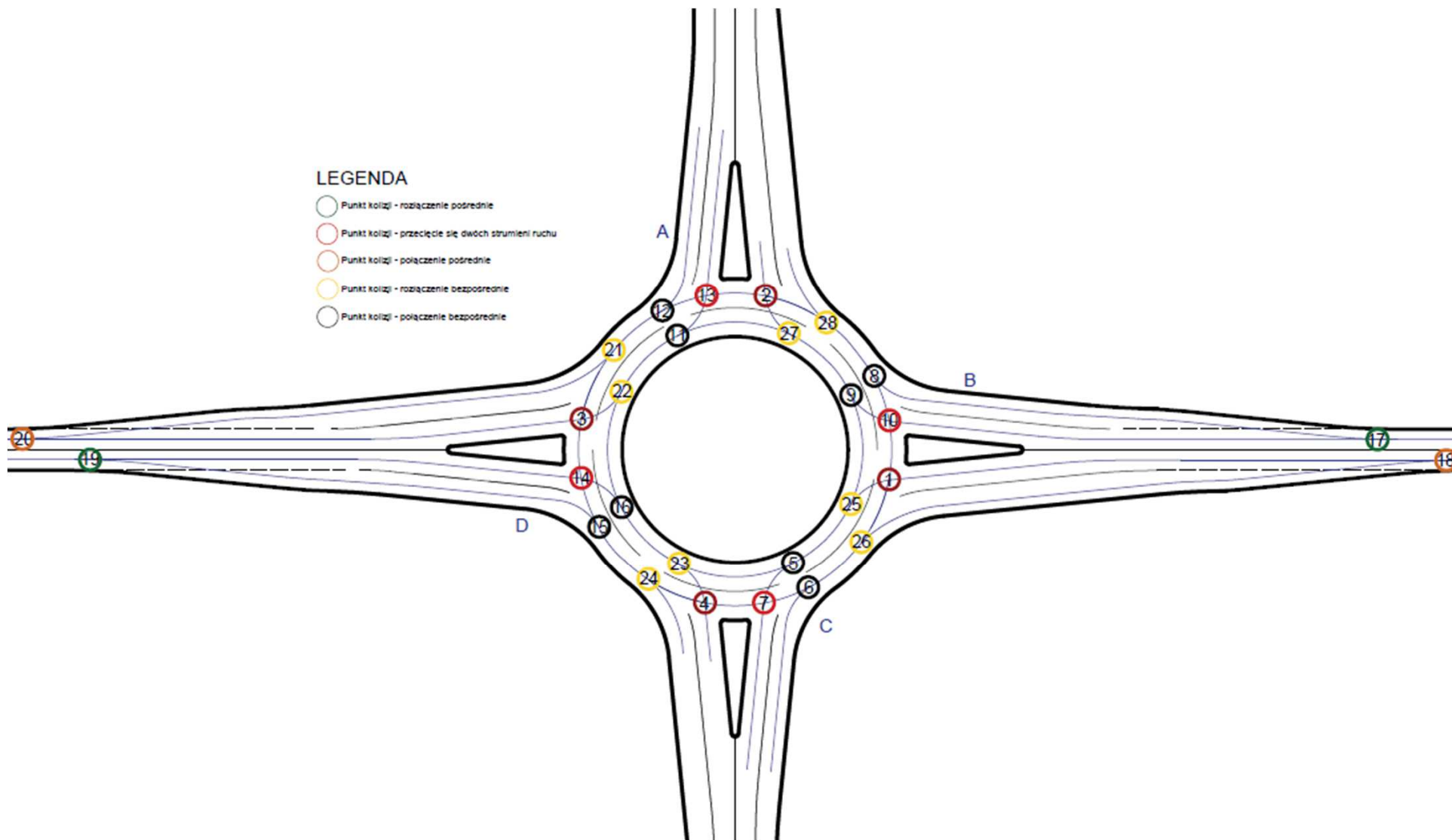
Przepustowości ronda turbinowego

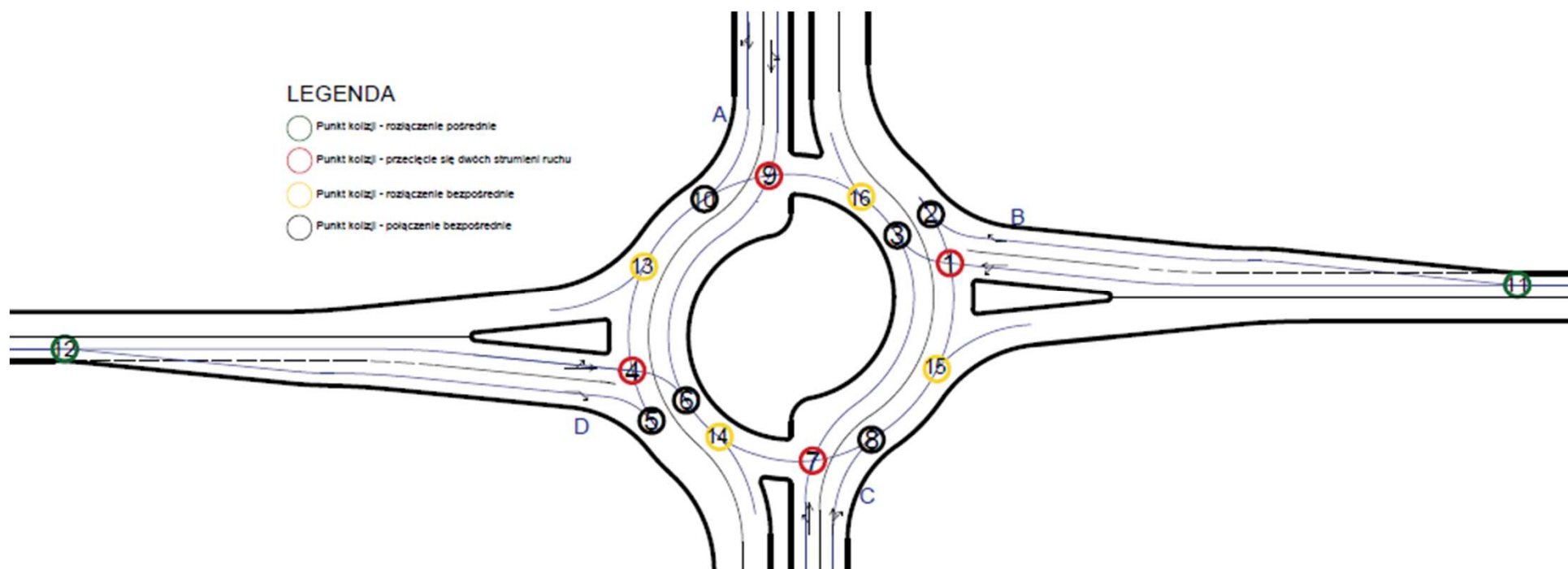
Przypadek	Droga podporządkowana			Droga z pierwszeństwem		
	relacja w lewo	relacja na wprost	relacja w prawo	Relacja w lewo	relacja na wprost	relacja w prawo
1	238	475	237	185	555	185
2	29	57	29	420	1260	420
3	54	107	54	42	126	42
4	6	13	6	69	207	69

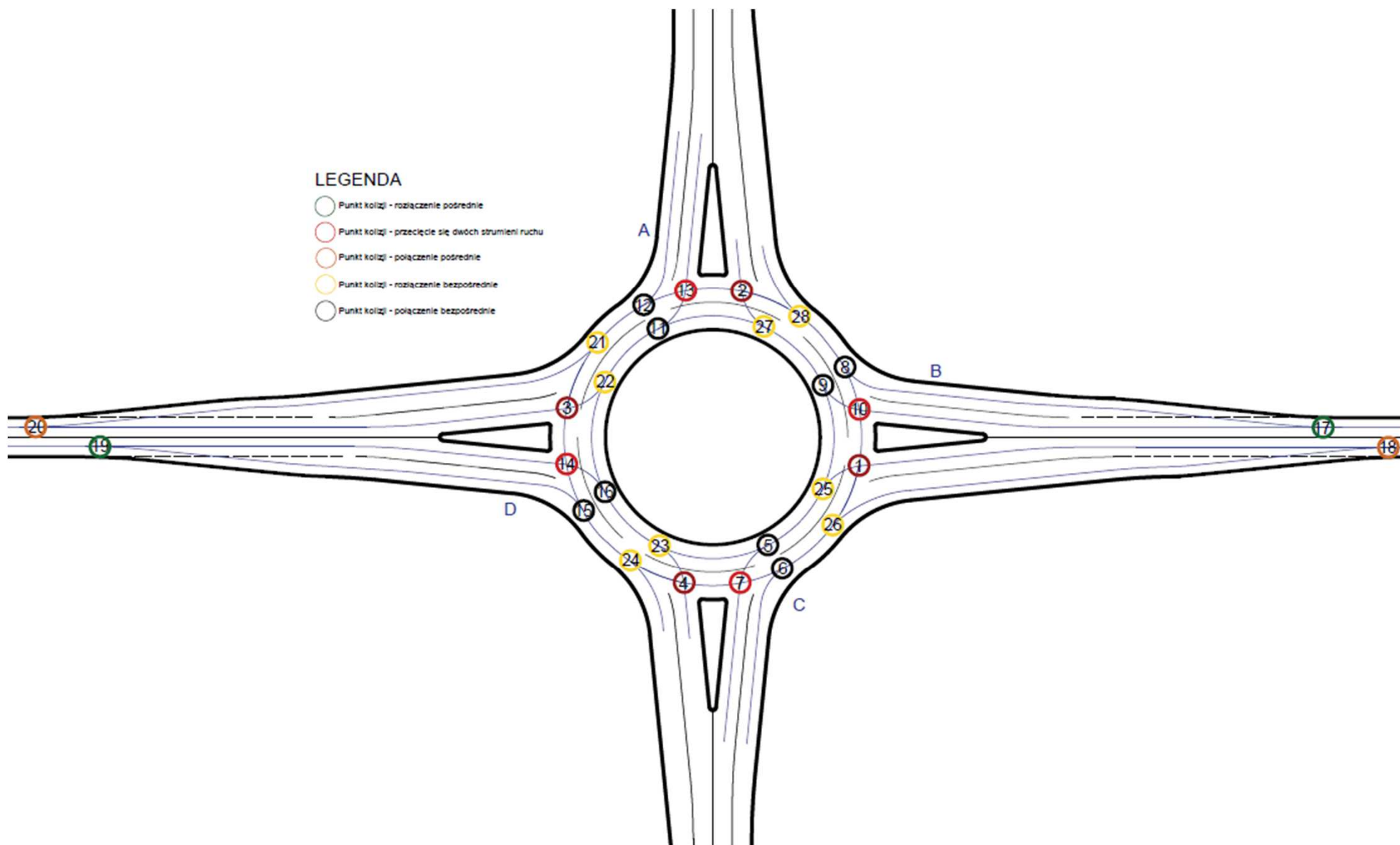
Rozpatrywany przypadek	Skrzyżowanie skanalizowane		Rondo tradycyjne	Rondo turbinowe
	nie sterowane sygnalizacją świetlną	sterowane sygnalizacją świetlną		
	Przepustowość [P/h]	Przepustowość [P/h]	Przepustowość [P/h]	Przepustowość [P/h]
1	2026	2720	4055	4395
2	4250	2720	3432	3694
3	4782	2720	4048	4388
4	4352	2720	3436	3709

Bezpieczeństwo na rondach turbinowych w Europie





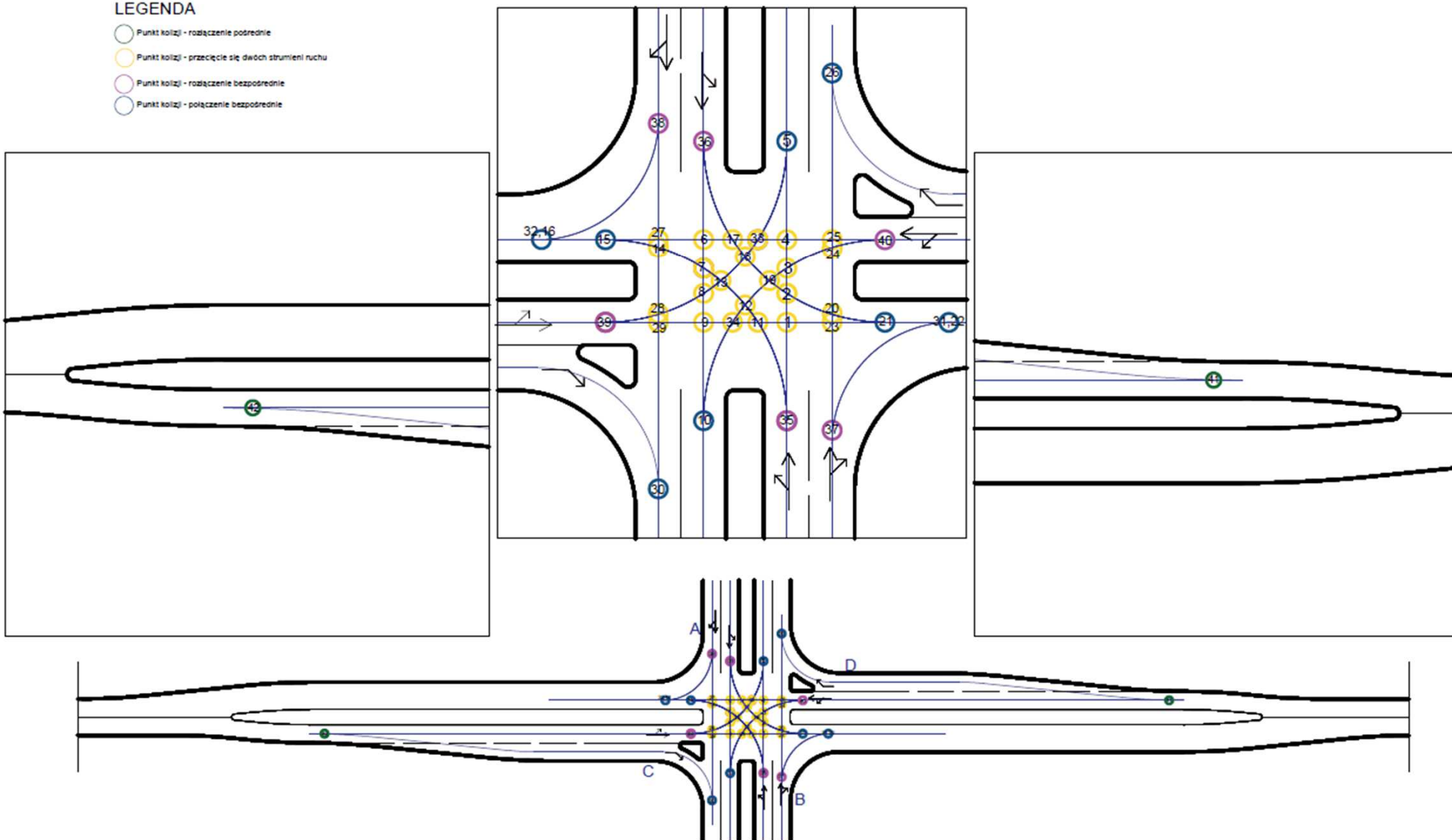






LEGENDA

- Punkt kolizji - rozłączenie pośrednie
- Punkt kolizji - przecięcie się dwóch strumieni ruchu
- Punkt kolizji - rozłączenie bezpośrednie
- Punkt kolizji - połączenie bezpośrednie



Bezpieczeństwo na rondach turbinowych w Europie

	Typ skrzyżowania				
	Skrzyżowanie skanalizowane bez sygnalizacji świetlnej	Skrzyżowanie skanalizowane z sygnalizacją świetlną	Rondo turbinowe	Rondo dwupasowe	Rondo spiralne
Przecięcie się strumieni ruchu	24	48	4	8	12
Pośrednie łączenie się strumieni ruchu	0	0	2	2	2
Bezpośrednie łączenie się strumieni ruchu	10	20	10	6	8
Pośrednie rozłączenie się strumieni ruchu	2	4	0	2	2
Bezpośrednie rozłączenie się strumieni ruchu	6	12	4	8	8
Sumaryczna liczba potencjalnych obszarów kolizji	42	84	20	26	32
Potencjalna liczba zdarzeń rocznie	13.98	14.95	12.36	13.95	12.88
Przepustowość skrzyżowania przy danych natężeniach [P/h]	4782	2720	4388	4048	4182

Dziękuję za uwagę

Dr inż. Radosław Klusek

Adiunkt w Katedrze Inżynierii Drogowej, Transportu i Geotechniki
Politechnika Bydgoska

mail: radoslaw.klusek@gmail.com

tel.: 793-384-102

www.wbaiis.pbs.edu.pl