

Marcin Bugaj DUL S2 rok II

Na większości trasy Berlińskiego Ringu dopuszczalna przepisami drogowymi i znakami pionowymi prędkość wynosi 120 km/h. Pochylenia podłużne niwelety obwodnicy wahają się w granicy $\pm 2\%$. Widoczność powierzchni jezdni na pasie wewnętrznym ograniczają bariery ochronne umiejscowione na pasie rozdzielającym, znajdujące się w odległości 0,75 m od krawędzi opaski wewnętrznej szerokości 0,5 m. Szerokość pasa ruchu wynosi 3,75 m. Specyfika obwodnicy i niepisane prawo stosowane przez kierowców polega na tym, że na pasie zewnętrznym pojazdy z reguły jadą z prędkością 100-120 km/h. Na pasie środkowym praktycznie wszystkie samochody poruszają się z prędkością 120-130 km/h. Pas wewnętrzny służy przede wszystkim do wyprzedzania i po nim samochody poruszają się z bardzo dużą prędkością, przy czym prędkości mają dość dużą rozbieżność. Nawierzchnia na Berlińskim Ringu jest betonowa, szczegółowe badania wykazały, że w procesie eksploatacji obwodnicy współczynnik tarcia waha się w granicach 0,33 - 0,40. Oblicz **minimalny promień łuku poziomego lewego** zgodnie z polskimi WT i **uzasadnij, dlaczego** niemieccy projektanci przyjęli **większą wartość promienia**, zapewniając dysponowaną odległość widoczności większą niż 500 m.



Berliński Ring

Kierunek jazdy 2-1:

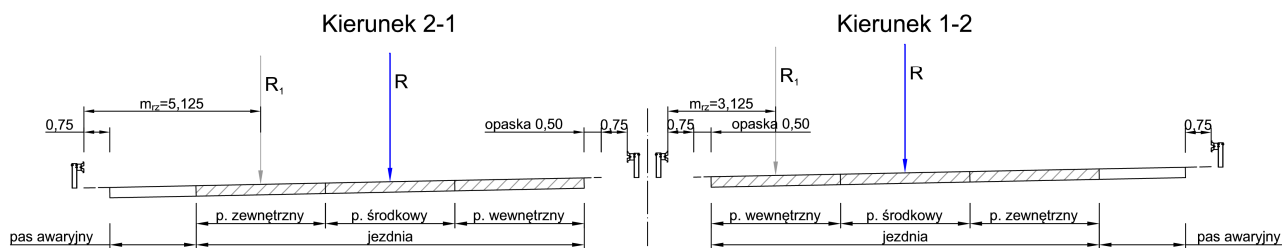
$$i=2\%$$

$$m_{rz} = \frac{3,75}{2} + 2,5 + 0,75 = 5,125 \text{ [m]}$$

Kierunek jazdy 1-2:

$$i=-2\%$$

$$m_{rz} = \frac{3,75}{2} + 0,75 + 0,5 = 3,125 \text{ [m]}$$



Dane:

$i = \pm 2\%$; $v_{dop.} = 120$ km/h; $L_z^{168} = 290$ m (dla $i = -2\%$ oraz $v_{dop.} = 120$ km/h)

Prędkość [km/h]	Najmniejsza odległość widoczności na zatrzymanie L_z^{168} [m] na pochyleniu:										
	$\leq -10\%$	-8%	-6%	-4%	-2%	0	2%	4%	6%	8%	$\geq 10\%$
130	–	–	390	350	330	310	300	290	280	–	–
120	–	–	340	310	290	270	260	250	240	–	–
110	–	–	280	260	240	230	220	200	–	–	–

Zgodnie z Dz.U. nr 43 § 21.1 należy dobrać wartość projektowanego promienia łuku poziomego. Wg WT projektowany promień przy prędkości $v = 120$ km/h i pochyleniu poprzecznym jezdni $i_0 = 2\%$ powinien wynosić $R \geq 3000$ m. Przy prędkości równej 120 km/h wymagana odległość na zatrzymanie dla bardziej niekorzystnego pochylenia podłużnego -2% wynosi $L_z^{168} = 290$ m.

Prędkość [km/h]	Promień łuku kołowego w planie [m] przy pochyleniu poprzecznym jezdni:						
	Jak na odcinku prostym	2% do 2,5%	3%	4%	5%	6%	7%
130	≥ 4000	≥ 3500	2500	1800	1400	1100	≤ 900
120	≥ 3500	≥ 3000	2000	1500	1200	900	≤ 750

Wstępnie przyjęto promień łuku poziomego $R = 3000$ m. Dany promień odnosi się do osi jezdni, zatem należy obliczyć wartość rozpatrywanego promienia na determinującym pasie na łuku lewym, (tj. w danym przypadku pasa wewnętrznego na jezdni zewnętrznej). Ponieważ $R = 3000$ m odnosi się do osi jezdni z trzema pasami ruchu, to promień osi pasa wewnętrznego powinien być równy:

$$R_1 = 3000 - 3,75 = 2996,25 \text{ [m]}$$

Na podstawie tej wartości można wyliczyć odległość dysponowaną na pasie wewnętrznym z następującego wzoru:

$$\cos \alpha = \frac{R_1 - m_{rz}}{R_1} = \frac{2996,25 - 3,175}{2996,25} \approx 0,99896...$$

$$\alpha \approx 2,61705... [^\circ]$$

$$L_d = \frac{R_1 \alpha}{28,65} = \frac{2996,25 \cdot 2,61...}{28,65} = 273,6... \approx 273 \text{ [m]}$$

$$L_d = 273 \text{ m} < L_z^{168} = 290 \text{ m}$$

Ponieważ odległość dysponowana łuku poziomego na pasie wewnętrznym jest mniejsza niż wymagana przy $v_{dop.} = 120$ m/h, to należy przyjąć większą wartość promienia łuku poziomego w osi jezdni zewnętrznej. Drugi wstępny promień łuku przyjęto $R = 4000$ m

$$\cos \alpha = \frac{R_1 - m_{rz}}{R_1} = \frac{3996,25 - 3,175}{3996,25} \approx 0,99922...$$

$$\alpha \approx 2,26602... [^\circ]$$

$$L_d = \frac{R_1 \alpha}{28,65} = \frac{3996,25 \cdot 2,26...}{28,65} = 316,07... \approx 316 \text{ [m]}$$

$$L_d = 316 \text{ m} > L_z^{168} = 290 \text{ m}$$

Ponieważ $L_d > L_z^{168}$, z zapasem 26 m, to można założyć, że podstawowy warunek został spełniony. Jednak należałoby sprawdzić, przy jakiej wartości współczynnika tarcia zapewnione są obie odległości widoczności na pasie wewnętrznym. Współczynnik tarcia należy obliczyć ze wzoru:

$$\mu = \frac{v_{dop}^2}{254\eta(L_d - 0,278t_r v_{dop})} - \frac{i}{\eta} = \frac{120^2}{254 \cdot 0,7 \cdot (316 - 0,278 \cdot 2 \cdot 120)} - \frac{-0,02}{0,7} = 0,353 \dots \approx 0,36$$

$$\mu = \frac{v_{dop}^2}{254\eta(L_z^{168} - 0,278t_r v_{dop})} - \frac{i}{\eta} = \frac{120^2}{254 \cdot 0,7 \cdot (290 - 0,278 \cdot 2 \cdot 120)} - \frac{-0,02}{0,7} = 0,391 \dots \approx 0,40$$

Przyjęty promień $R=4000$ m zapewnia bezpieczne hamowanie przy dysponowanej widoczności (L_d) tylko przy współczynniku tarcia równym co najmniej $\mu=0,36$. Na trasie Berlińskiego Ringu szczegółowe badania wykazały, że współczynnik tarcia waha się między 0,33 - 0,40. W związku z tym należy przyjąć większą wartość promienia niż 4000 m, ponieważ na niektórych odcinkach Berlińskiego Ringu wartość współczynnika tarcia może być równa 0,33 i w takiej sytuacji nie byłoby zapewnione bezpieczne hamowanie. Ponadto należy przyjąć czas reakcji kierowcy równy 2 s, tak jak na drogach zamiejscowych, choć wprowadzie Berliński Ring znajduje się częściowo na terenie zabudowanym, ale na całej długości ma on ograniczony dostęp, tj. można wjechać na Berliński Ring tylko w wyznaczonych miejscach. Wszystkie skrzyżowania są węzłami drogowymi, nie ma skrzyżowań w jednym poziomie, nie ma przejść dla pieszych itd.



Zdjęcie satelitarne fragmentu Berlińskiego Ringu z programu Google Earth, wysokość punktu patrzenia 731 m, data dostępu 8.12.2013 r.

Odległość widoczności na zatrzymanie z uwzględnieniem warunków eksploatacyjnych tj. przy $\mu=0,33$ jest równa:

$$L_z^{eksp.} = 0,278t_r v_{dop} + \frac{v_{dop}^2}{254(\eta\mu \pm i)} = 0,278 \cdot 2 \cdot 120 + \frac{120^2}{254(0,7 \cdot 0,33 - 0,02)} = 335,41 \approx 336 \text{ [m].}$$

W związku z powyższym przyjęto metodą iteracji większą wartość promienia $R=4600$ m

$$\cos \alpha = \frac{R_1 - m_{rz}}{R_1} = \frac{4596,25 - 3,175}{4596,25} \approx 0,99932 \dots$$

$$\alpha \approx 2,11293 \dots [^\circ]$$

$$L_d = \frac{R_1 \alpha}{28,65} = \frac{4596,25 \cdot 2,11...}{28,65} = 338,97... \approx 338 \text{ [m]}$$

$$L_d = 338 \text{ m} > L_z^{eksp.} = 336 \text{ m}$$

Przy wartości promienia $R=4600$ m warunek zapewnienia bezpiecznego hamowania został spełniony, zatem również w przypadku odcinków trasy Berlińskiego Ringu, na których współczynnik tarcia wynosi 0,33 odległość widoczności na zatrzymanie zostanie zapewniona.

Jednakże rozpatrywany pas wewnętrzny służy najczęściej do wyprzedzania, a zatem można założyć, że prędkość poruszających się po nim pojazdów jest większa niż 120 km/h. Ponadto z tą prędkością z reguły samochody poruszają się po zewnętrznym pasie Berlińskiego Ringu. Wraz ze wzrostem prędkości na pasie wewnętrznym będzie rosło zapotrzebowanie na zapewnienie większej odległości widoczności na zatrzymanie, na tym konkretnie pasie. Dlatego ze względów bezpieczeństwa inżynierowie niemieccy prawdopodobnie przyjęli promień łuku poziomego w osi jezdni zapewniający dysponowaną odległość widoczności większą niż 500 m. Powyższą teorię uzasadniają obliczenia przeprowadzone poniżej.

v [km/h]	μ	$L_z^{eksp.}$ [m]
120	0,33	335,41≈336
130	0,33	387,61≈388
140	0,33	443,55≈444
150	0,33	503,22≈504
160	0,33	566,63≈567

R [m]	R_1 [m]	α [°]	L_d [m]
7000	6998,125	1,71233	418,26≈418
8000	7998,125	1,60171	447,14≈447
9000	8998,125	1,51008	474,27≈474
10000	9998,125	1,43257	499,93≈499
10300	10296,25	1,41167	507,32≈507
11000	10998,125	1,36588	524,33≈524

Przy prędkości $v > 150$ km/h wartość wymaganej odległości widoczności na zatrzymanie z uwzględnieniem $\mu = 0,33$ jest większa niż 500 m, zatem promień zapewniający bezpieczne zatrzymanie się przed ewentualną przeszkodą na pasie wewnętrznym przy uwzględnieniu warunków eksploatacyjnych $L_z^{eksp.}$ ($v=150$ km/h i $\mu=0,33$) powinien wynosić co najmniej 10300 m, co potwierdzają przeprowadzone powyżej obliczenia.