

**GENERALNA DYREKCJA DRÓG KRAJOWYCH I AUTOSTRAD**  
w Warszawie

**INSTRUKCJA PROJEKTOWANIA  
DODATKOWYCH PASÓW RUCHU  
NA DWUPASOWYCH DROGACH  
DWUKIERUNKOWYCH**

Warszawa 2005

**„Instrukcję projektowania dodatkowych pasów ruchu na dwupasowych drogach  
dwukierunkowych” opracowano na zlecenie  
Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa, ul. Żelazna 59**

**Opracowanie:** Zakład Inżynierii Komunikacyjnej  
Politechnika Warszawska



**Zespół autorski:**

dr hab. inż. Tadeusz Sandecki, prof. PW - autor prowadzący  
mgr inż. Piotr Szagała

**Opracowanie techniczne:**

inż. Maciej Sandecki  
techn. Barbara Rosińska

**Instrukcję opiniował:**

prof. zw. dr hab. inż. Marian Tracz

**Koordinacja i opracowanie redakcyjne:** dr hab. inż. Tadeusz Sandecki, prof. PW

© Copyright by POLITECHNIKA WARSZAWSKA, 2005

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej Instrukcji nie może być reprodukowana lub kopiowana bez wcześniejszej zgody Wydawcy.

**Wydanie i rozpowszechnianie:** Wydawnictwo „POLSKIE DROGI” Sp z o.o.,  
04-003 Warszawa, ul. Dobrowoja 17/11, tel./fax (022) 810 43 82, 870 60 41,  
e-mail: [redakcja@polskiedrogi.com.pl](mailto:redakcja@polskiedrogi.com.pl)

ISBN 83-921508-1-3

## ZARZĄDZENIE NR *20*

### GENERALNEGO DYREKTORA DRÓG KRAJOWYCH I AUTOSTRAD

z dnia *22. sierpnia 2005 r.*

w sprawie zasad projektowania dodatkowych pasów ruchu na  
dwupasowych drogach dwukierunkowych

Na podstawie § 3 ust.2 pkt 1 Regulaminu Organizacyjnego Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad stanowiącego załącznik do Zarządzenia nr 33 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 29 grudnia 2004 roku zarządza się, co następuje:

#### § 1

Wprowadza się do stosowania w Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad **Instrukcję projektowania dodatkowych pasów ruchu na dwupasowych drogach dwukierunkowych**, stanowiącą załącznik do zarządzenia.

#### § 2

Instrukcję, o której mowa w § 1, zaleca się do stosowania przez zarządców dróg samorządowych oraz jednostki projektowe.

#### § 3

Zarządzenie wchodzi w życie z dniem ogłoszenia.

Generalny Dyrektor Dróg Krajowych i Autostrad

GENERALNY DYREKTOR  
Dróg Krajowych i Autostrad

*[Signature]*  
mgr inż. Edward Gajerski

**SPIS TREŚCI**

**str.**

<b>1. PRZEDMIOT I ZAKRES INSTRUKCJI</b> .....	<b>9</b>
<b>2. PODSTAWOWE OKREŚLENIA</b> .....	<b>11</b>
<b>3. KRYTERIA WPROWADZENIA PASÓW WYPRZEDZANIA</b> .....	<b>15</b>
3.1. Zakres kryteriów .....	15
3.2. Kryterium zagrożenia bezpieczeństwa ruchu .....	15
3.3. Kryterium ekonomiczne .....	16
<b>4. ANALIZA CELOWOŚCI WPROWADZENIA PASÓW WYPRZEDZANIA ZE WZGLĘDU NA ZAGROŻENIE BEZPIECZEŃSTWA RUCHU</b> .....	<b>16</b>
4.1. Pasy wyprzedzania na ciągu drogowym .....	16
4.2. Pas wyprzedzania na wzniesieniu .....	20
4.3. Pas wyprzedzania poza wzniesieniem .....	22
<b>5. ANALIZA CELOWOŚCI WPROWADZENIA PASÓW WYPRZEDZANIA ZE WZGLĘDÓW EKONOMICZNYCH</b> .....	<b>23</b>
5.1. Metody analizy efektywności ekonomicznej .....	23
5.2. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną .....	24
5.3. Analiza efektywności ekonomicznej metodą szczegółową .....	35
<b>6. WARUNKI TECHNICZNE, JAKIM POWINNY ODPOWIADAĆ PASY WYPRZEDZANIA</b> .....	<b>38</b>
6.1. Wymagania ogólne .....	38
6.2. Parametry techniczne pasa wyprzedzania w planie sytuacyjnym .....	38
6.2.1. Pas wyprzedzania na wzniesieniu .....	38
6.2.2. Pas wyprzedzania poza wzniesieniem .....	39
6.2.3. Droga o przekroju 2+1 pasowym .....	41
6.3. Przekroje poprzeczne drogi z pasami wyprzedzania .....	49
6.3.1. Przekrój poprzeczny rozbudowywanej drogi .....	49
6.3.2. Przekrój poprzeczny nowej drogi 2+1 pasowej .....	55
6.4. Wymagania widoczności .....	57
6.5. Dostępność drogi z pasami wyprzedzania .....	60
6.6. Skrzyżowania, zjazdy i ruch pieszych na drodze z pasami wyprzedzania .....	62
6.7. Zasady organizacji ruchu i oznakowania .....	67
<b>7. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE</b> .....	<b>71</b>

7.1. Przykład nr 1: Analiza celowości wprowadzenia pasów wyprzedzania na istniejącym ciągu drogowym .....	71
7.2. Przykład nr 2: Analiza celowości etapowej rozbudowy ciągu drogowego o pasy wyprzedzania .....	80
7.3. Przykład nr 3: Analiza celowości wprowadzenia pasa wyprzedzania na wzniesieniu ze względów ekonomicznych .....	87
7.4. Przykład nr 4: Analiza celowości wprowadzenia pasa wyprzedzania na wzniesieniu drogi krajowej klasy G, od km 0+00 do km 2+600 .....	92
<b>8. LITERATURA .....</b>	<b>102</b>
8.1. Ustawy, rozporządzenia .....	102
8.2. Wytyczne, instrukcje, katalogi, normy .....	102
8.3. Wytyczne zagraniczne .....	103
<b>ZAŁĄCZNIKI .....</b>	<b>104</b>
<u>Załącznik nr 1</u> : Nomogramy do wyznaczania jednostkowych korzyści użytkowników wynikających z wprowadzenia pasa wyprzedzania na wzniesieniu .....	104
<u>Załącznik nr 2</u> : Nomogramy do wyznaczania jednostkowych korzyści użytkowników wynikających z wprowadzenia pasa wyprzedzania poza wzniesieniem .....	133
<u>Załącznik nr 3</u> : Nomogram do wyznaczania jednostkowych korzyści użytkowników wynikających z wprowadzenia drogi o przekroju 2+1 pasowym .....	138
<u>Załącznik nr 4</u> : Analiza ekonomiczna kosztów i korzyści (wzór tablicy) .....	139
<b>SPIS RYSUNKÓW</b>	
2.1. Elementy pasa wyprzedzania .....	11
2.2. Samodzielny pas wyprzedzania .....	12
2.3. Droga o przekroju 2+1 pasowym .....	13
4.1. Procentowy udział czasu jazdy w kolumnie na drodze w jednym kierunku ruchu .....	18
4.2. Przebieg analizy celowości wprowadzenia pasów wyprzedzania na ciągu drogowym .....	19
4.3. Redukcja procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie .....	20
4.4. Prędkość miarodajnego samochodu ciężarowego ( <i>MSC</i> ) .....	21
6.1. Podstawowe wymiary elementów klina początkowego i końcowego .....	39

6.2. Typowe konfiguracje pasów wyprzedzania (schemat) .....	41
6.3. Klin początkowy i końcowy na drodze o przekroju 2+1 pasowym (typowe rozwiązania) .	45
6.4. Etapowanie budowy nowej drogi o przekroju 2+1 pasowym .....	47
6.5. Etapowanie rozbudowy dwupasowej drogi dwukierunkowej do drogi o przekroju 2+1 pasowym .....	48
6.6. Rozbudowa drogi z utwardzonymi poboczami o szerokości 2,0 m .....	53
6.7. Rozbudowa drogi z utwardzonymi poboczami o szerokości 1,5 m .....	53
6.8. Rozbudowa drogi z utwardzonymi poboczami o nawierzchni wymagającej wymiany .....	54
6.9. Rozbudowa drogi z gruntowymi poboczami .....	54
6.10. Przekroje poprzeczne drogi 2+1 pasowej .....	56
6.11. Wymagania widoczności przy zbliżaniu się do klina początkowego .....	58
6.12. Wymagania widoczności przy zbliżaniu się do klina końcowego .....	59
6.13. Wymagania widoczności przy zbliżaniu się do klina końcowego sprzężonych pasów wyprzedzania .....	60
6.14. Lokalizacja skrzyżowania przed klinem początkowym pasa wyprzedzania .....	63
6.15. Sposoby umożliwienia zawracania za pasem wyprzedzania .....	65
6.16. Lokalizacja skrzyżowania za pasem wyprzedzania .....	66
6.17. Lokalizacja skrzyżowania na drodze o przekroju 2+1 pasowym między rozsuniętymi klinami początkowymi .....	68
6.18. Węzły typu WB między rozsuniętymi klinami początkowymi (przykłady) .....	69
6.19. Lokalizacja skrzyżowania i węzła na drodze o przekroju 2+1 pasowym między rozsuniętymi klinami końcowymi .....	70
6.20. Przykładowe oznakowanie pasa wyprzedzania na jezdni dwukierunkowej – wkładka po str.70 .....	70
7.1. Zakres stosowania wybranych przekrojów poprzecznych dróg [21] .....	72
7.2. Ustalenie procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie TK (rys. 4.1 Instrukcji) .....	73
7.3. Ustalenie współczynnika sumy długości pasów wyprzedzania WSL (rys. 4.3 Instrukcji) ...	74
7.4. Ustalenie procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie TK (rys. 4.1 Instrukcji) .....	81
7.5. Ustalenie współczynnika sumy długości pasów wyprzedzania WSL (rys. 4.3 Instrukcji)..	82
7.6. Wyznaczenie jednostkowych korzyści użytkowników wynikających z wprowadzenia pasa wyprzedzania na wzniesieniu dla $s = 5\%$ i $L = 1,0$ km .....	89
7.7. Wyznaczenie jednostkowych korzyści użytkowników wynikających z wprowadzenia pasa wyprzedzania na wzniesieniu dla $s = 5\%$ i $L = 1,5$ km .....	90
7.8. Budowa profilu prędkości MSC na analizowanym odcinku drogi .....	93

7.9. Niweleta zastępcza i profil prędkości MSC na analizowanym odcinku drogi ..... 94

## SPIS TABLIC

5.1. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną rozbudowy drogi o pas wyprzedzania według Programu A.....	27
5.2. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną rozbudowy drogi o pas wyprzedzania według Programu B .....	28
5.3. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną rozbudowy drogi o pas wyprzedzania według Programu C .....	29
5.4. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną rozbudowy drogi o pas wyprzedzania według Programu D .....	30
5.5. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną rozbudowy dwupasowej drogi dwukierunkowej do drogi o przekroju 2+1 pasowym według Programu A .....	31
5.6. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną rozbudowy dwupasowej drogi dwukierunkowej do drogi o przekroju 2+1 pasowym według Programu B .....	32
5.7. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną rozbudowy dwupasowej drogi dwukierunkowej do drogi o przekroju 2+1 pasowym według Programu C .....	33
5.8. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną rozbudowy dwupasowej drogi dwukierunkowej do drogi o przekroju 2+1 pasowym według Programu D .....	34
6.1. Porównanie warunków ruchu na drodze o przekroju 2+1 pasowym i na drodze dwupasowej .....	43
6.2. Skos załamania krawędzi jezdni [8] .....	45
6.3. Decyzyjna odległość widoczności .....	58
7.1. Analiza ekonomiczna kosztów i korzyści do Przykładu nr 1 [tys. zł] .....	79
7.2. Analiza ekonomiczna kosztów i korzyści do Przykładu nr 2 [tys. zł] .....	86
7.3. Analiza ekonomiczna kosztów i korzyści do przykładu nr 3 [tys. zł] .....	91
7.4. Analiza ekonomiczna nakładów i korzyści do Przykładu nr 4, wariant 1 [tys. zł] .....	98
7.5. Analiza ekonomiczna nakładów i korzyści do Przykładu nr 4, wariant 2 [tys. zł] .....	101

## 1. PRZEDMIOT I ZAKRES INSTRUKCJI

**1.1. Przedmiotem Instrukcji** są kryteria wprowadzenia i zasady projektowania dodatkowych pasów ruchu na dwupasowych drogach dwukierunkowych. Pasy te zwane są dalej „**pasami wyprzedzania**”.

Pasy wyprzedzania stosuje się na wzniesieniach drogi lub poza wzniesieniami w celu zwiększenia możliwości bezpiecznego wyprzedzania.

Charakterystyczną cechą ruchu na dwupasowej drodze dwukierunkowej są manewry wyprzedzania, których wykonanie jest związane z wykorzystaniem pasa przeznaczanego dla przeciwnego kierunku ruchu. Zapotrzebowanie na wyprzedzanie wynika z różnicy prędkości pojazdów poruszających się w potoku ruchu i jest tym większe im większe są te różnice oraz im więcej wolno jadących pojazdów występuje na drodze. Brak możliwości wyprzedzania powoduje tworzenie się kolumn, które są prowadzone przez wolno jadące pojazdy, czyli przeważnie ciężkie.

Jednym ze skutecznych środków poprawy bezpieczeństwa i warunków ruchu na dwupasowej drodze dwukierunkowej jest wyposażenie jej w pasy wyprzedzania. Umożliwiają one bezpieczne wyprzedzanie, bez potrzeby korzystania z pasa przeznaczanego do ruchu w przeciwnym kierunku.

### 1.2. W Instrukcji określono:

- kryteria wprowadzenia pasów wyprzedzania,
- szczegółowe zasady geometrycznego projektowania tych pasów,
- zasady ograniczania dostępności drogi z pasami wyprzedzania,
- ogólne wymagania dotyczące organizacji ruchu oraz oznakowania poziomego i pionowego.

**1.3. Zasady projektowania dodatkowych pasów ruchu innych** niż wymienione w niniejszej Instrukcji (pkt 1.1) są określone w Warunkach technicznych [8] i dotyczą:

- pasów dla pojazdów skręcających w lewo i w prawo na skrzyżowaniu,
- pasów wyłączania, włączania i przeplatania na węźle i MOP,
- pasów dla pojazdów skręcających na zjeździe,
- pasa dla służb granicznych na drodze między granicą państwa a przejściem granicznym.

Zasady projektowania dodatkowych pasów ruchu na skrzyżowaniu zawierają także „Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych” [14].



**1.4. Instrukcja zawiera** tekst pisany normalnym drukiem, obejmujący zapisy podstawowych ustaleń dotyczących projektowania oraz komentarze pisane kursywą.

**1.5. Instrukcja jest przeznaczona** do planowania i projektowania pasów wyprzedzania na nowych jak i rozbudowywanych dwupasowych drogach dwukierunkowych klasy S, GP i G, leżących poza terenem zabudowy, o prędkości projektowej większej niż 60 km/h.

**1.6. Celem Instrukcji** jest ułatwienie planowania, projektowania oraz ujednoczenie standardów technicznych pasów wyprzedzania na drogach.

*W Polsce w latach 1981-2003 były stosowane pasy ruchu powolnego, dla których warunki techniczne określały „Tymczasowe wytyczne projektowania pasów ruchu powolnego na dwupasowych drogach dwukierunkowych” [12]. W wytycznych tych pasem ruchu powolnego był dodatkowy pas usytuowany po prawej stronie zasadniczego pasa ruchu. Był on przeznaczony dla pojazdów poruszających się z mniejszą prędkością niż na zasadniczym pasie ruchu. Wyniki badań, a także analiza doświadczeń zagranicznych wskazują, że lepszym rozwiązaniem są pasy wyprzedzania usytuowane z lewej strony zasadniczego pasa ruchu.*

*Rozporządzenie MTiGM z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie [8], zwane dalej „**Warunkami technicznymi**”, wskazuje na możliwości stosowania pasów wyprzedzania, ale nie określa parametrów technicznych tych pasów.*

*Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drodze [7] przewiduje stosowanie pasów wyprzedzania. Według wymienionego rozporządzenia występujące na drogach w Polsce pasy ruchu powolnego należy zmienić na pasy wyprzedzania, o ile będą spełniać wymagania określone w tym rozporządzeniu. Pozostałe pasy ruchu powolnego należy zlikwidować.*

**1.7. W Instrukcji zastosowano** następujące wyrażenia określające stopień obowiązywania poszczególnych ustaleń:

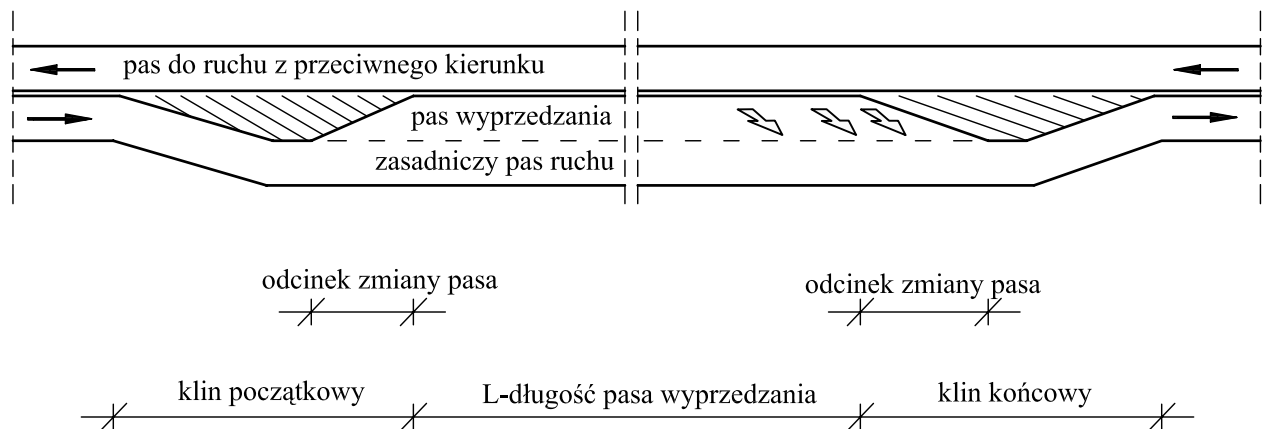
- **należy, nie należy** lub **powinno być, nie powinno być** oznacza konieczność respektowania danego ustalenia, wynikającą np. ze względów bezpieczeństwa ruchu,

- **zaleca się** oznacza celowość przestrzegania ustalenia ze względów ekonomicznych, funkcjonalnych, estetycznych lub ekologicznych,
- **dopuszcza się** oznacza możliwość stosowania odstępstw od ustaleń w podanym zakresie, uzasadnionych warunkami projektowania, np. przy przebudowie, czy związanych z potrzebą ochrony istniejących obiektów,
- **najmniejszy** lub **największy** oznacza graniczną wartość parametru, która nie powinna być przekroczona, ustaloną najczęściej z warunku bezpieczeństwa ruchu.

**1.8. Pozycje spisu ustaw, rozporządzeń, wytycznych, instrukcji, do których umieszczono odwołania w tekście w nawiasach, są aktualne według stanu na dzień 1 sierpnia 2005 r.**

## 2. PODSTAWOWE OKREŚLENIA

**2.1. Pas wyprzedzania** jest to dodatkowy pas ruchu umieszczony po lewej stronie zasadniczego pasa ruchu, przeznaczony do wyprzedzania pojazdów. Pas ten (rys. 2.1) jest poprzedzony klinem początkowym, a za nim następuje klin końcowy.



**Rys. 2.1. Elementy pasa wyprzedzania**

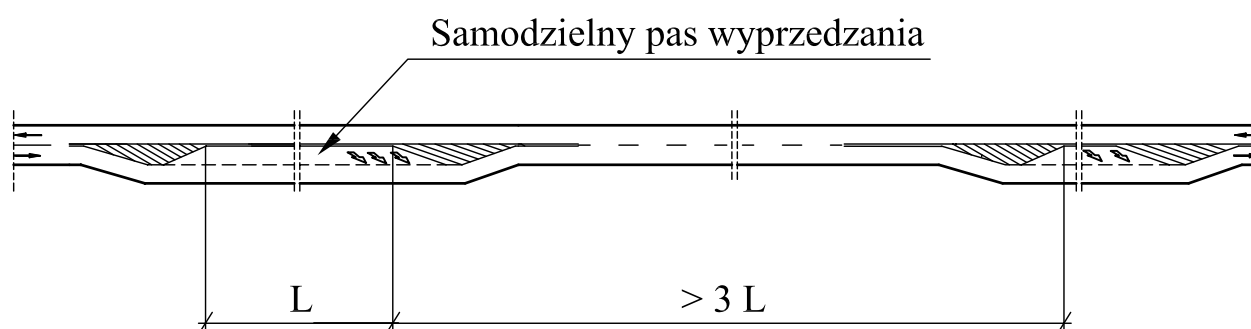
**2.2. Długość pasa wyprzedzania ( $L$ )** jest to odległość między początkiem i końcem pasa wyprzedzania, na której pas ten ma pełną szerokość (rys. 2.1).

**2.3. Miarodajne pochylenie podłużne pasa wyprzedzania ( $s$ )** jest to średnie ważone pochylenie na długości tego pasa.

**2.4. Pas wyprzedzania na wzniesieniu** jest to dodatkowy pas ruchu, na którym prędkość miarodajnego samochodu ciężarowego (pkt 2.10) spada poniżej 60 km/h na długości większej niż 500 m.

**2.5. Pas wyprzedzania poza wzniesieniem** jest to dodatkowy pas ruchu, który nie spełnia warunków określonych w pkt 2.4.

**2.6. Samodzielny pas wyprzedzania** jest to pas, którego odstęp do następnego pasa przeznaczonego do ruchu w tym samym kierunku (odległość od końca tego pasa do początku następnego pasa) jest większy niż trzykrotna długość rozpatrywanego pasa (rys. 2.2).



**Rys. 2.2. Samodzielny pas wyprzedzania**

*Efektywna długość pasa wyprzedzania obejmuje sam pas oraz odcinek drogi za nim, na którym warunki ruchu są lepsze niż w sytuacji, gdyby tego pasa nie było. Oddziaływanie pasa wyprzedzania na warunki ruchu bezpośrednio za nim zależy głównie od długości pasa wyprzedzania oraz w mniejszym stopniu od natężenia ruchu i struktury rodzajowej pojazdów. Wykorzystując wyniki badań symulacyjnych przyjęto, że efektywna długość pasa wyprzedzania jest równa  $4 \cdot L$ , gdzie  $L$  jest długością pasa wyprzedzania a  $3 \cdot L$  odcinkiem drogi za pasem wyprzedzania, na którym korzyści z obecności pasa są znaczące (wyższa prędkość podróży i niższy procentowy udział czasu jazdy w kolumnie). Samodzielny pas wyprzedzania to taki pas, który na odcinku drogi o długości nie mniejszej niż jego efektywna długość funkcjonuje sam bez występowania następnego pasa wyprzedzania, przeznaczonego do ruchu w tym samym kierunku.*

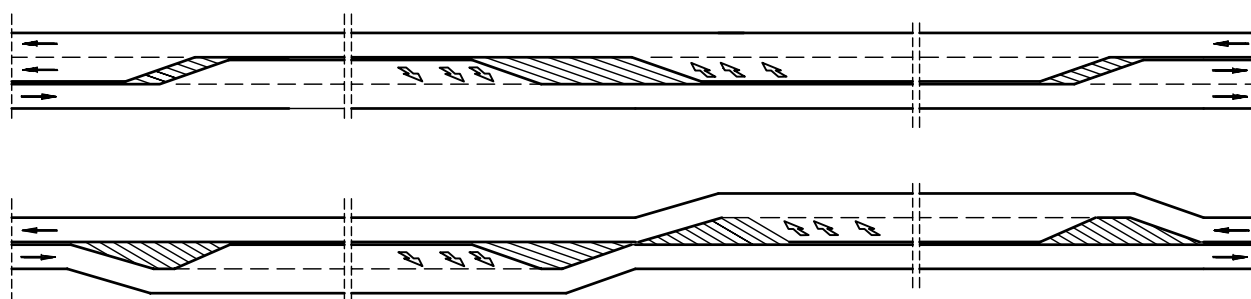
**2.7. Konfiguracja pasów wyprzedzania** jest to usytuowanie względem siebie pasów wyprzedzania przeznaczonych dla przeciwnych kierunków ruchu. Typowe konfiguracje pasów omówiono w pkt 6.2.2.4.

**2.8. Rozkład pasów wyprzedzania** jest to usytuowanie względem siebie pasów wyprzedzania przeznaczonych dla tego samego kierunku ruchu. Miarą rozkładu pasów wyprzedzania jest **odstęp lub moduł**.

**Odstęp pasów wyprzedzania** jest to odległość od końca jednego pasa do początku następnego pasa wyprzedzania.

**Moduł pasów wyprzedzania** jest to odległość od początku jednego pasa do początku następnego pasa wyprzedzania.

**2.9. Droga o przekroju 2+1 pasowym** jest to jednojezdniowa droga dwukierunkowa z zespołem leżących na przemian dodatkowych pasów wyprzedzania (rys.2.3).



**Rys. 2.3. Droga o przekroju 2+1 pasowym**

**2.10. Miarodajny samochód ciężarowy (*MSC*)** jest to pojazd członowy o wskaźniku mocy 7,1 kW/t, który reprezentuje pojazdy wyprzedzane na wzniesieniu drogi.

**2.11. Średni dobowy ruch w roku (*SDR*)** jest to liczba pojazdów przejeżdżających przez dany przekrój drogi w ciągu 24 kolejnych godzin, średnio w ciągu jednego roku.

**2.12. Kierunkowy średni dobowy ruch w roku (*KSDR*)** jest to natężenie ruchu w jednym kierunku i równe połowie wartości *SDR*.

**2.13. Miarodajny ruch godzinowy (*Q*)** jest to natężenie ruchu w jednym kierunku i w ustalonej godzinie, występujące na drodze w roku prognozy.

**2.14. Udział pojazdów ciężkich (*U<sub>c</sub>*)** jest to procentowy udział w potoku grupy pojazdów, do których zalicza się: samochody ciężarowe, autobusy i ciągniki rolnicze.

**2.15. Krytyczne natężenie ruchu (*Q<sub>k</sub>*)** jest to natężenie ruchu, powyżej którego wprowadzenie pasa wyprzedzania jest uzasadnione ekonomicznie (wartość wewnętrznej stopy zwrotu *IRR* jest większa niż 6%).

**2.16. Stopa dyskontowa ( $r$ )** jest to stopa procentowa stosowana do konwersji przyszłych kosztów i korzyści na wartości aktualne; wartość stopy dyskontowej zalecana przez UE dla Polski wynosi 6%.

**2.17. Aktualna wartość netto ( $NPV$ )** jest to suma zdyskontowanych kosztów i korzyści inwestycji w okresie analizy.

**2.18. Wewnętrzna stopa zwrotu ( $IRR$ )** jest to wartość stopy dyskontowej, przy której zdyskontowane korzyści są równe zdyskontowanym kosztom inwestycji.

**2.19. Podstawowe oznaczenia:**

$V_p$  – prędkość projektowa drogi [km/h],

$V_m$  – prędkość miarodajna drogi [km/h],

$L_d$  – decyzyjna odległość widoczności [m],

$L$  – długość pasa wyprzedzania [m],

$s$  – miarodajne pochylenie podłużne pasa wyprzedzania [%],

$MSC$  – miarodajny samochód ciężarowy,

$SDR$  – średni dobowy ruch w roku [P/dobę],

$KSDR$  – kierunkowy średni dobowy ruch w roku [P/dobę],

$Q$  – miarodajny ruch godzinowy [P/h],

$Uc$  – udział pojazdów ciężkich w potoku [%],

$Q_k$  – krytyczne natężenie ruchu [P/dobę],

$TK$  – procentowy udział czasu jazdy w kolumnie w jednym kierunku [%],

$RTK$  – redukcja procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie w jednym kierunku [%],

$WSL$  – współczynnik długości pasów wyprzedzania [-],

$PW$  – udział odcinków drogi z możliwością wyprzedzania w jednym kierunku [-],

$v_r$  – czynnik dyskontowy [-], dany jest wzorem

$$v_r = \frac{1}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^n}$$

$n$  – kolejny rok okresu analizy [-],

$r$  – stopa dyskontowa [%],

$NPV$  – aktualna wartość netto [zł],

$B/C$  – iloraz zdyskontowanych korzyści do kosztów inwestycji [-],

$IRR$  – wewnętrzna stopa zwrotu [%].

### **3. KRYTERIA WPROWADZENIA PASÓW WYPRZEDZANIA**

#### **3.1. ZAKRES KRYTERIÓW**

**3.1.1.** W analizie celowości wprowadzenia pasów wyprzedzania należy uwzględnić kryterium zagrożenia bezpieczeństwa ruchu oraz kryterium ekonomiczne.

**3.1.2.** W wypadku, gdy kryteria wymienione w pkt 3.1.1 potwierdzają celowość wprowadzenia pasów wyprzedzania, należy sprawdzić czy warunki drogowe i zagospodarowanie otoczenia umożliwiają zapewnienie parametrów technicznych pasów wyprzedzania ustalonych w rozdz. 6 tej Instrukcji.

#### **3.2. KRYTERIUM ZAGROŻENIA BEZPIECZEŃSTWA RUCHU**

**3.2.1.** Wprowadzenie pasów wyprzedzania na ciągu drogowym jest uzasadnione, jeżeli możliwości wyprzedzania przy miarodajnym ruchu godzinowym są istotnie ograniczone, a procentowy udział czasu jazdy w kolumnie przekracza 65%.

*Istotne ograniczenie możliwości wyprzedzania i konieczność jazdy przez dłuższy czas w kolumnie powoduje wzrost liczby kierujących pojazdami, którzy podejmują ryzykowne próby wyprzedzania, co zwiększa zagrożenie bezpieczeństwa ruchu. Bezpieczne wykonanie manewru wyprzedzania nie jest praktycznie możliwe, gdy procentowy udział czasu jazdy w kolumnie przekracza 65%. Procentowy udział czasu jazdy w kolumnie jest także podstawową miarą warunków ruchu na dwupasowych drogach dwukierunkowych stosowaną w HCM-2000 [26]. Wyraża on w procentach średni udział czasu jazdy, w którym pojazdy poruszając się w kolumnie ponoszą straty czasu wskutek braku możliwości wyprzedzania.*

**3.2.2.** Wprowadzenie pasa wyprzedzania na wzniesieniu jest uzasadnione, jeżeli prędkość miarodajnego samochodu ciężarowego (*MSC*) spada na wzniesieniu poniżej 60 km/h na długości większej niż 500 m.

### **3.3. KRYTERIUM EKONOMICZNE**

**3.3.1.** Wprowadzenie pasów wyprzedzania jest uzasadnione, jeżeli wartość wewnętrznej stopy zwrotu *IRR* jest większa niż 6%. Zaleca się, aby *IRR* osiągała wartość większą niż 8%.

**3.3.2.** W przypadku, gdy są znane koszty inwestycyjne oraz korzyści wynikające z budowy pasów wyprzedzania należy dodatkowo przeprowadzić analizę wrażliwości *IRR* na wartości kosztów inwestycyjnych oraz wielkości prognozowanego natężenia ruchu (*SDR*).

## **4. ANALIZA CELOWOŚCI WPROWADZENIA PASÓW WYPRZEDZANIA ZE WZGLĘDU NA ZAGROŻENIE BEZPIECZEŃSTWA RUCHU**

### **4.1. PASY WYPRZEDZANIA NA CIĄGU DROGOWYM**

**4.1.1.** Zaleca się przeprowadzanie analizy na ciągu drogowym stanowiącym element sieci drogowej, którego początkiem (końcem) jest:

- granica obszaru zabudowanego, wyznaczonego znakiem D-42 „obszar zabudowany”,
- skrzyżowanie, na którym analizowana droga traci pierwszeństwo przejazdu,
- miejsce zmiany liczby jezdni na drodze.

Zaleca się, aby długość ciągu drogowego nie była mniejsza niż 10 km.

*Ograniczenie analizy do krótszego odcinka drogi, na którym przewiduje się wprowadzenie samodzielnego pasa wyprzedzania, przyczyni się jedynie do lokalnego polepszenia warunków ruchu.*

Analizę należy wykonać oddzielnie dla każdego kierunku ruchu.

*Objęcie analizą jednego kierunku ruchu oraz wprowadzenie pasów wyprzedzania tylko na tym kierunku spowoduje pogorszenie warunków ruchu w przeciwnym kierunku.*

**4.1.2.** W celu sprawdzenia, czy na ciągu drogowym jest uzasadnione wprowadzenie pasów wyprzedzania ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa ruchu, należy określić procentowy

udział czasu jazdy w kolumnie  $TK$  i porównać z graniczną wartością  $TK=65\%$ . Procentowy udział czasu jazdy w kolumnie  $TK$  w analizowanym kierunku ruchu można określić z następującej zależności:

$$TK = 0,0346 \cdot Q_1 - 109,273 \cdot PW \cdot e^{-0,004 \cdot Q_2} + 58 \quad [\%] \quad (4.1)$$

gdzie:

- $TK$  – procentowy udział czasu jazdy w kolumnie w analizowanym kierunku ruchu [%],
- $Q_1$  – natężenie miarodajnego ruchu godzinowego w analizowanym kierunku ruchu [P/h],
- $Q_2$  – natężenie miarodajnego ruchu godzinowego w przeciwnym kierunku ruchu [P/h],
- $PW$  – udział odcinków drogi z możliwością wyprzedzania w analizowanym kierunku ruchu [-].

Przy ustalaniu udziału odcinków drogi z możliwością wyprzedzania  $PW$  należy wyeliminować te z nich, na których:

- znaki poziome na jezdni, np. P-3, P-4, lub pionowe, np. B-25, B-26 zabraniają przejeżdżania na sąsiedni pas przeznaczony do ruchu w kierunku przeciwnym,
- jest możliwość wyprzedzania, ale na długości krótszej niż 200 m przy prędkości miarodajnej 80 km/h oraz 300 m przy większej prędkości miarodajnej.

Jak wynika z zależności (4.1), na wartość  $TK$  ma wpływ rozkład kierunkowy ruchu. Jednak w praktyce planistycznej i projektowej do wymiarowania elementów przekroju poprzecznego drogi stosuje się natężenie ruchu obejmujące łącznie oba kierunki. Dlatego w dalszych rozważaniach założono, że rozkład kierunkowy ruchu jest taki sam (50:50), czyli:

$$Q_1 = Q_2 = Q \quad (4.2)$$

gdzie:

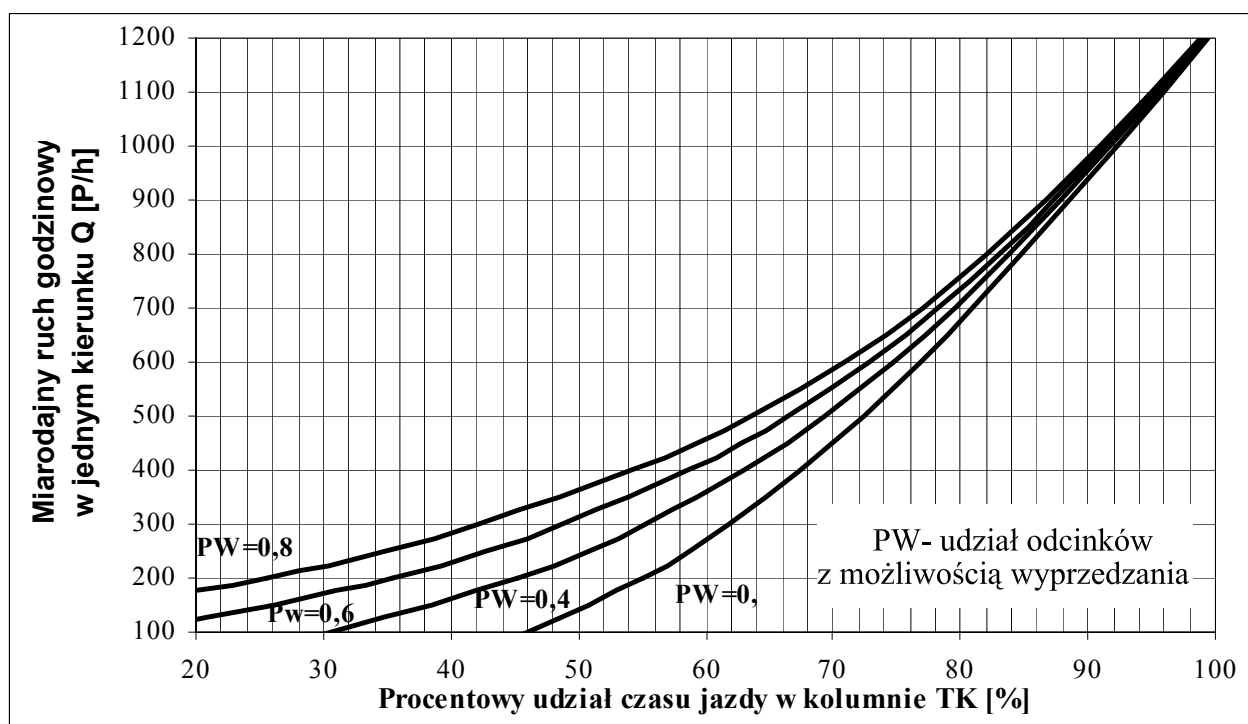
- $Q$  – natężenie miarodajnego ruchu godzinowego w jednym kierunku ruchu [P/h].

Podstawiając zależność (4.2) do (4.1) otrzymuje się:

$$TK = 0,0346 \cdot Q - 109,273 \cdot PW \cdot e^{-0,004 \cdot Q} + 58 \quad [\%] \quad (4.3)$$

Na podstawie zależności (4.3) opracowano nomogram (rys. 4.1), który ułatwia obliczenie wartości  $TK$ .



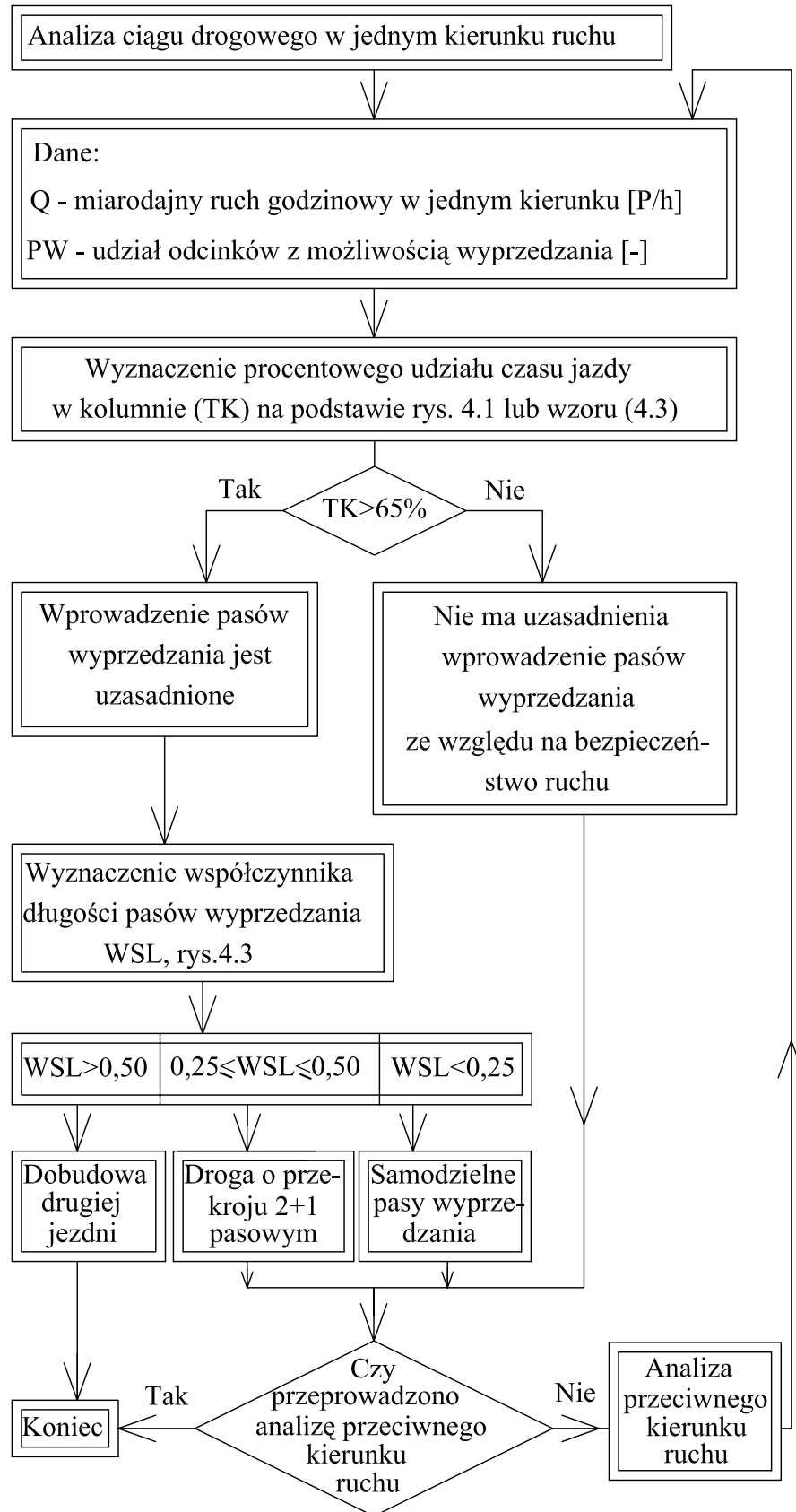


**Rys. 4.1. Procentowy udział czasu jazdy w kolumnie na drodze w jednym kierunku ruchu**

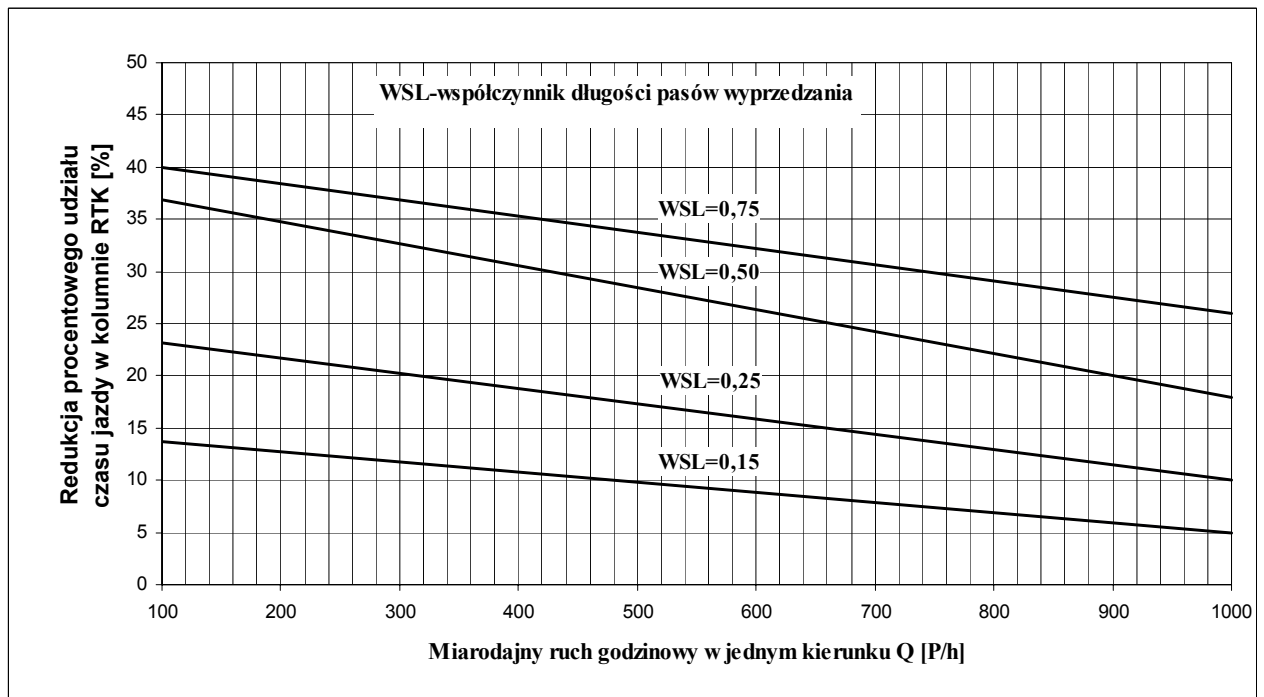
**4.1.3.** Przebieg analizy celowości wprowadzenia pasów wyprzedzania na ciągu drogowym przedstawiono na schemacie blokowym (rys. 4.2).

Jeżeli na analizowanym ciągu drogowym wartość  $TK$  przekracza próg 65%, wówczas wprowadzenie pasów wyprzedzania jest uzasadnione ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa ruchu. Długości pasów wyprzedzania w analizowanym kierunku ruchu powinny być tak dobrane, aby nastąpiła redukcja procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie  $TK$  co najmniej do dopuszczalnego progu 65%. Współczynnik długości pasów wyprzedzania  $WSL$  – wskazuje jaką część długości ciągu drogowego powinny stanowić pasy wyprzedzania. Z nomogramu na rys. 4.3 można określić, na podstawie miarodajnego ruchu godzinowego w jednym kierunku  $Q$  oraz wartości  $RTK$  – niezbędną redukcję procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie. W zależności od uzyskanej wartości  $WSL$  dokonuje się klasyfikacji układu pasów wyprzedzania (rys. 4.2) na:

- samodzielne pasy wyprzedzania, jeżeli  $WSL < 0,25$ ,
- drogę o przekroju 2+1 pasowym, jeżeli  $0,25 \leq WSL \leq 0,5$ ,
- drogę dwujezdniową, jeżeli  $WSL > 0,5$ .



Rys. 4.2. Przebieg analizy celowości wprowadzenia pasów wyprzedzania na ciągu drogowym



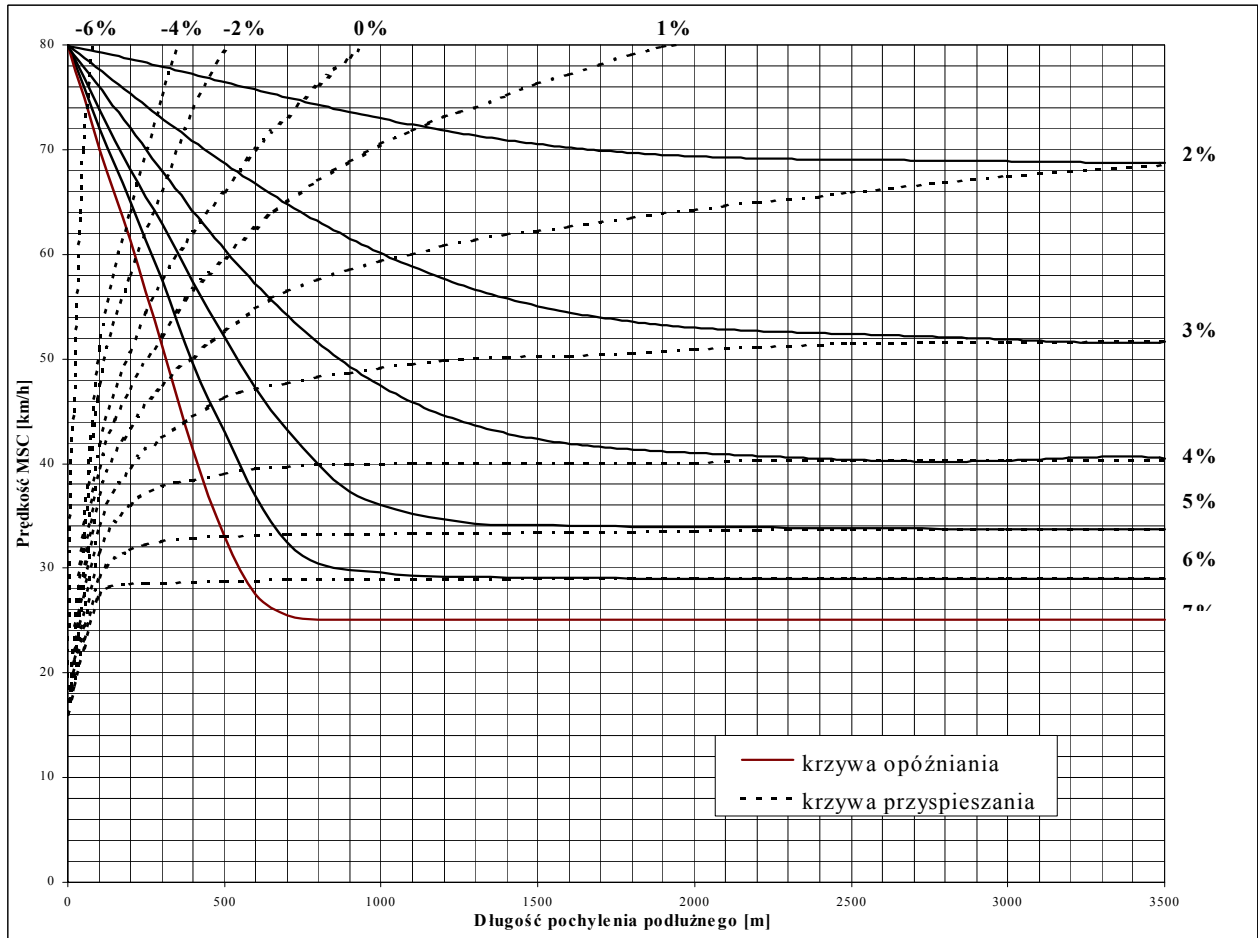
Rys. 4.3. Redukcja procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie

Jeżeli na ciągu drogowym już istnieją pasy wyprzedzania, należy je uwzględnić przy ustalaniu wartości redukcji procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie. Negatywny wynik analizy ( $TK \leq 65\%$ , rys. 4.2) oznacza, że wprowadzenie pasów wyprzedzania na analizowanym ciągu drogowym nie jest uzasadnione. Szczegółowa analiza ukształtowania ciągu drogowego (odcinków wzniesień lub ograniczeń wyprzedzania) może wskazać potrzebę wprowadzenia samodzielnego pasa wyprzedzania (pkt 2.6 i pkt 4.2).

## 4.2. PAS WYPRZEDZANIA NA WZNIESIENIU

**4.2.1.** Zastosowanie pasa wyprzedzania na wzniesieniu uznaje się za uzasadnione, jeżeli prędkość  $MSC$ , określona na podstawie profilu prędkości tego pojazdu, spada na wzniesieniu poniżej 60 km/h na długości większej niż 500 m. Profil prędkości  $MSC$  jest to wykres obrazujący zmiany prędkości tego pojazdu wzdłuż drogi.

**4.2.2.** Do wyznaczenia profilu prędkości  $MSC$  należy wykorzystać dane o niwelecie drogi oraz wykres odwzorowujący właściwości dynamiczne  $MSC$  (rys. 4.4).



**Rys. 4.4. Prędkość miarodajnego samochodu ciężarowego (MSC)**

**4.2.3.** Niweletę drogi należy zastąpić poligonem stycznych o stałych pochyleniach podłużnych. Załom niwelety o pochyleniach przeciwnych, których suma jest większa niż 8%, wyokrąglony krzywą wypukłą lub wklęsłą o długości większej niż 300 m, zastępuje się dodatkową styczną o pochyleniu podłużnym dostosowanym do krzywoliniowego kształtu niwelety.

**4.2.4.** Początek profilu prędkości ustala się w miejscu, gdzie prędkość *MSC* jest znana. Takim miejscem może być odcinek drogi:

- z ograniczeniem prędkości znakiem pionowym,
- na spadku o długości, na którym *MSC* osiąga największą prędkość - 80 km/h,
- na wzniesieniu o długości, na którym *MSC* osiąga stałą prędkość.

Proces konstruowania profilu prędkości *MSC* opisano szczegółowo w przykładzie obliczeniowym (pkt 7.4).

**4.2.5.** Początek pasa wyprzedzania ustala się w miejscu, gdzie prędkość *MSC* wynosi 60 km/h i ma tendencję do spadku, natomiast koniec pasa tam, gdzie *MSC* osiąga prędkość 60 km/h i ma tendencję do wzrostu. Pas wyprzedzania powinien mieć długość nie mniejszą niż 500 m. Jeżeli

jest on krótszy, to jego wprowadzenie nie jest uzasadnione ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa ruchu.

*W dalszym procesie projektowania lokalizacja początku i końca pasa wyprzedzania, a tym samym i jego długość może ulec zmianie ze względu na wymagania widoczności (pkt 6.4) lub występowanie skrzyżowań (pkt 6.5 i 6.6).*

### **4.3. PAS WYPRZEDZANIA POZA WZNIESIENIEM**

**4.3.1.** Pas wyprzedzania poza wzniesieniem stosuje się na odcinku drogi z ograniczonymi możliwościami wyprzedzania. Ograniczenie możliwości wyprzedzania może wynikać z niedostatecznej odległości widoczności albo natężenia ruchu, przy którym wyprzedzanie jest utrudnione i niebezpieczne.

*Pas wyprzedzania poza wzniesieniem przyczynia się do lokalnego zmniejszenia zagrożenia bezpieczeństwa ruchu i polepszenia warunków ruchu, np. na wyjeździe z miejscowości, w której zastosowano środki uspokojenia ruchu.*

**4.3.2.** Przy wyborze lokalizacji pasa wyprzedzania poza wzniesieniem zaleca się uwzględnienie następujących przesłanek:

- pas wyprzedzania jest przydatny w miejscu, gdzie występują sprzyjające okoliczności do tworzenia się kolumn pojazdów,
- jest on bardziej efektywny w końcowej części długiego odcinka drogi z brakiem możliwości wyprzedzania niż na jego początku,
- w zależności od usytuowania pasa wyprzedzania różne są koszty jego wprowadzenia (budowy, pozyskania terenu, skutków ekologicznych), a tym samym jego efektywność ekonomiczna,
- na wyjeździe z miasta (miejscowości) przyczynia się on do rozładowania kolumn pojazdów jakie powstały na obszarze z uspokojeniem ruchu i/lub z ograniczoną prędkością; pas wyprzedzania na dojeździe do miasta (miejscowości) nie jest właściwym rozwiązaniem, gdyż wywołuje zwiększenie prędkości pojazdów bezpośrednio przed obszarem zabudowanym, na którym prędkość jest ograniczona,
- wprowadzenie pasa wyprzedzania w jednym kierunku ruchu wywołuje zwykle konieczność budowy pasa w kierunku przeciwnym, aby zapewnić jednakowe możliwości wyprzedzania dla obu kierunków ruchu,

- nie jest wskazane usytuowanie pasa wyprzedzania na odcinku drogi, którego ukształtowanie w planie wymusza zmniejszenie prędkości pojazdów poniżej 70 km/h, gdyż manewry wyprzedzania wywołują wzrost prędkości pojazdów,
- jest wskazane, aby pas wyprzedzania występował tam, gdzie jest on oczekiwany przez kierujących pojazdami; pas na długim odcinku prostym o nieznacznym spadku i małym natężeniu ruchu ( $SDR < 4\ 000\ P/h$ ) nie jest efektywny, gdyż na takim odcinku wolne pojazdy zwiększają prędkość i spada zapotrzebowanie na wyprzedzanie,
- nie jest uzasadniona lokalizacja pasa wyprzedzania przed odcinkiem drogi dwujezdniowej.

## 5. ANALIZA CELOWOŚCI WPROWADZENIA PASÓW WYPRZEDZANIA ZE WZGLĘDÓW EKONOMICZNYCH

### 5.1. METODY ANALIZY EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ

5.1.1. W zależności od etapu i zakresu dokumentacji projektowej, analiza efektywności ekonomicznej może być przeprowadzona:

- **metodą uproszczoną**, określającą szacunkowe natężenia ruchu, przy których wprowadzenie pasów wyprzedzania może okazać się efektywne, stosowaną zwykle na etapie planowania przedsięwzięcia, kiedy szczegółowość dostępnych danych jest ograniczona, np. nie są znane koszty inwestycyjne i utrzymania pasów wyprzedzania,
- **metodą szczegółową**, pozwalającą na obliczenie wskaźników efektywności ekonomicznej, stosowaną zarówno na etapie planowania jak i projektowania pasów wyprzedzania, kiedy szczegółowość danych umożliwia dokładne ustalenie korzyści użytkowników, kosztów inwestycyjnych i utrzymania.

*Metoda uproszczona nie umożliwia obliczenia wskaźników efektywności ekonomicznej, pozwalając jedynie na szacunkowe określenie natężeń ruchu, przy których wyposażenie drogi w pasy może okazać się uzasadnione. Z tego powodu powinna ona być stosowana jedynie na wstępnym, planistycznym etapie przygotowania inwestycji. Na kolejnych etapach (zaleca się, by był to etap studium techniczno-ekonomicznego) należy wykonać analizę efektywności metodą szczegółową.*

5.1.2. Zarówno w metodzie uproszczonej jak i szczegółowej korzyści użytkowników wynikające z rozbudowy istniejącej drogi o pasy wyprzedzania zostały określone w stosunku do wariantu

odniesienia (tzw. zerowego lub bezinwestycyjnego), którym jest dwupasowa droga dwukierunkowa.

## 5.2. ANALIZA EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ METODĄ UPROSZCZONĄ

**5.2.1.** W metodzie uproszczonej określa się krytyczne natężenia ruchu  $Q_k$  dla typowych przedsięwzięć, przy których rozbudowa drogi o pasy wyprzedzania jest uzasadniona ze względów ekonomicznych.

Po stronie korzyści użytkowników uwzględnia się:

- w wypadku pasa wyprzedzania na wzniesieniu lub poza wzniesieniem: oszczędności czasu pasażerów samochodów osobowych oraz oszczędności w zużyciu paliwa przez samochody osobowe,
- w odniesieniu do drogi o przekroju 2+1 pasowym: oszczędności czasu pasażerów samochodów osobowych, oszczędności w zużyciu paliwa przez samochody osobowe oraz redukcję wypadkowości.

*W metodach oceny efektywności ekonomicznej nie uwzględnia się oszczędności czasu i paliwa samochodów ciężarowych, gdyż – jak wynika z badań zagranicznych – nie ma istotnych różnic w prędkościach tych pojazdów na drodze wyposażonej i nie wyposażonej w pas wyprzedzania zarówno na wzniesieniu jak i poza wzniesieniem. Nie stwierdza się też istotnych różnic w prędkościach samochodów ciężarowych na dwupasowej drodze dwukierunkowej i na drodze o przekroju 2+1 pasowym.*

*Aktualna wiedza o bezpieczeństwie ruchu na drogach wskazuje, że nie ma istotnych różnic we wskaźnikach wypadkowości rejestrowanych na dwupasowej drodze wyposażonej i nie wyposażonej w pas wyprzedzania zarówno na wzniesieniu jak i poza wzniesieniem. Dlatego w analizach efektywności ekonomicznej nie uwzględnia się korzyści wynikających z redukcji wypadkowości po wprowadzeniu samodzielnego pasa wyprzedzania.*

*Natomiast w odniesieniu do dróg o przekroju 2+1 pasowym literatura zagraniczna (w Polsce brak danych) jest bardziej jednoznaczna. Źródła amerykańskie wskazują na redukcję liczby wypadków w wyniku wprowadzenia drogi o przekroju 2+1 pasowym do 25%, podobnie szwedzkie i fińskie, ale w przypadku tych krajów jako główną przyczynę wymienia się zastosowanie barier ochronnych. W niniejszej Instrukcji przyjmuje się więc redukcję wskaźnika wypadkowości w wyniku wprowadzenia drogi o przekroju 2+1 pasowym równą 20%.*

W wypadku pasa wyprzedzania na wzniesieniu lub poza wzniesieniem, krytyczne natężenie ruchu  $Q_k$  dotyczy kierunku ruchu, w którym występuje pas wyprzedzania, natomiast w odniesieniu do drogi o przekroju 2+1 pasowym jest to natężenie ruchu w obu kierunkach.

Krytyczne natężenia wyznacza się przy założeniu stopy dyskontowej równej 6% i 20-letniego okresu eksploatacji.

**5.2.2.** Przyjmuje się cztery typowe programy przedsięwzięcia, których szczegółowy zakres przedstawiono w tabl. 5.1 – 5.8 oraz w pkt 6.3.1.10.

**Program A.** Rozbudowa drogi o pasy wyprzedzania, jeżeli jezdnia ma szerokość 7,00 m, a utwardzone pobocza o szerokości po 2,00 m mają nawierzchnię o takiej samej nośności jak jezdnia i nie wymagają wzmocnienia.

**Program B.** Rozbudowa drogi o pasy wyprzedzania, jeżeli jezdnia ma szerokość 7,0 m, a utwardzone pobocza o szerokości po 1,50 m mają nawierzchnię o takiej samej nośności jak jezdnia i nie wymagają wzmocnienia.

**Program C.** Rozbudowa drogi o pasy wyprzedzania, jeżeli jezdnia ma szerokość 7,00 m, a utwardzone pobocza o szerokości 2,00 m - 1,50 m mają nawierzchnię wymagającą wymiany.

**Program D.** Rozbudowa drogi o pasy wyprzedzania, jeżeli jezdnia ma szerokość 7,00 m, a gruntowe pobocza mają szerokość nie mniejszą niż 1,50 m.

*Koszty inwestycyjne wymienionych przedsięwzięć, określone na podstawie wykazu robót i kosztorysów, a także kosztów budowy wykonanych dróg krajowych w 2004 r., oszacowano w wysokości:*

- 0,3 mln zł/km, w wypadku programu A,
- 0,5 mln zł/km, w wypadku programu B,
- 1,15 mln zł/km, w wypadku programu C,
- 1,35 mln zł/km, w wypadku programu D.

*Przy ustalaniu kosztów inwestycyjnych nie uwzględniono nakładów związanych z likwidacją skrzyżowań i zjazdów oraz wyposażeniem drogi w nowe urządzenia przeznaczone dla pieszych i innych uczestników ruchu, jeżeli dotychczas korzystali*



z poboczy. Nakłady te, o ile występują, są zwykle ujęte w kosztach przebudowy całego ciągu drogowego.

Roczne koszty utrzymania pasa wyprzedzania przyjęto jako równe 1,25% kosztów jego budowy.

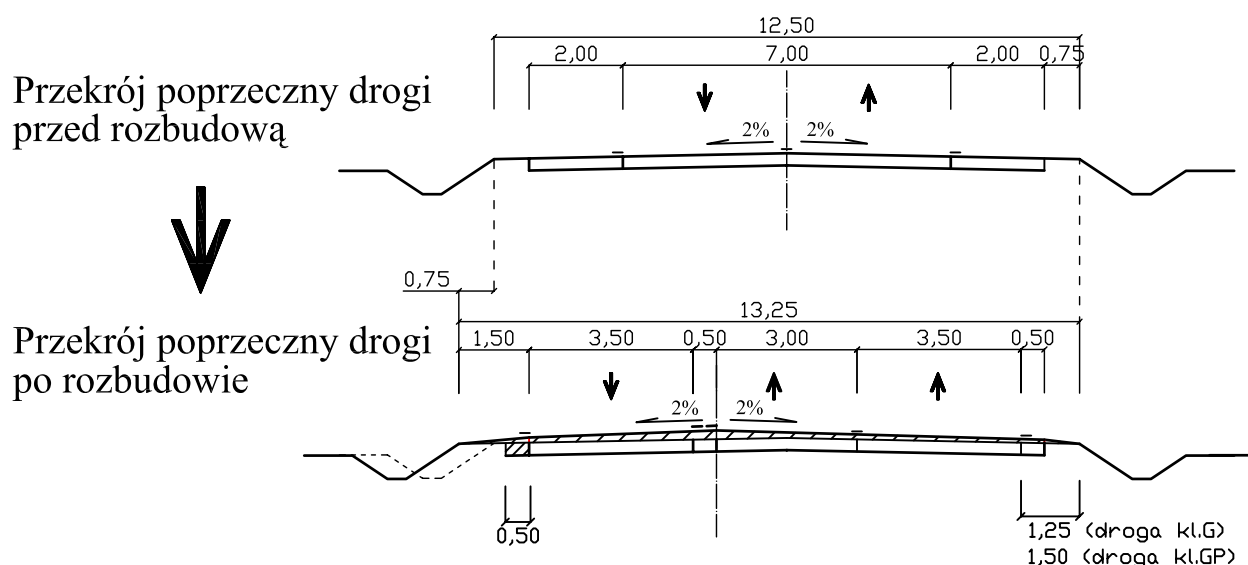
**5.2.3.** Rozbudowa drogi o pas wyprzedzania na wzniesieniu lub poza wzniesieniem jest uzasadniona ze względów ekonomicznych, jeżeli  $KSDR$  ( $SDR$  w analizowanym kierunku), w dziesiątym roku po oddaniu tego pasa do użytkowania, przekroczy krytyczne natężenie ruchu  $Q_k$ , określone w tabl. 5.1-5.4. Krytyczne natężenia ruchu  $Q_k$  określone w tabl. 5.1 - 5.4 dla pasa wyprzedzania na wzniesieniu uzależnia się ponadto od:

- długości  $L$  tego pasa, którą należy określić na podstawie profilu prędkości  $MSC$  (pkt 4.2.2 - 4.2.5) i zaokrąglić do 100 m,
- miarodajnego pochylenia podłużnego  $s$ , które jest średnim ważonym pochyleniem podłużnym na długości  $L$  pasa wyprzedzania, w zaokrągleniu do 1%.

W wypadku pasa wyprzedzania poza wzniesieniem, krytyczne natężenie ruchu  $Q_k$ , określone w tabl. 5.1 - 5.4, uzależnia się od:

- długości  $L$  tego pasa, którą należy określić z uwzględnieniem zaleceń określonych w pkt 6.2.2.2 i zaokrąglić do 100 m,
- udziału pojazdów ciężkich  $U_c$  w ruchu, w zaokrągleniu do 1%.

**Tabl. 5.1. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną rozbudowy drogi o pas wyprzedzania według Programu A**



Zakres podstawowych robót w obrębie korony drogi obejmuje: jednostronne poszerzenie korony drogi o 0,75 m oraz wykonanie opaski zewnętrznej o szerokości 0,50 m i o konstrukcji nawierzchni jak jezdni a także warstwy wyrównawczej zapewniającej takie samo pochylenie poprzeczne (co do wartości i kierunku) pasa wyprzedzania i pasa przeznaczonego do ruchu w tym samym kierunku.

Przedsięwzięcie jest uzasadnione, jeżeli  $KSDR$  ( $SDR$  w analizowanym kierunku), w dziesiątym roku po oddaniu drogi do użytkowania, przekroczy krytyczne natężenie ruchu  $Q_k$ , określone niżej:

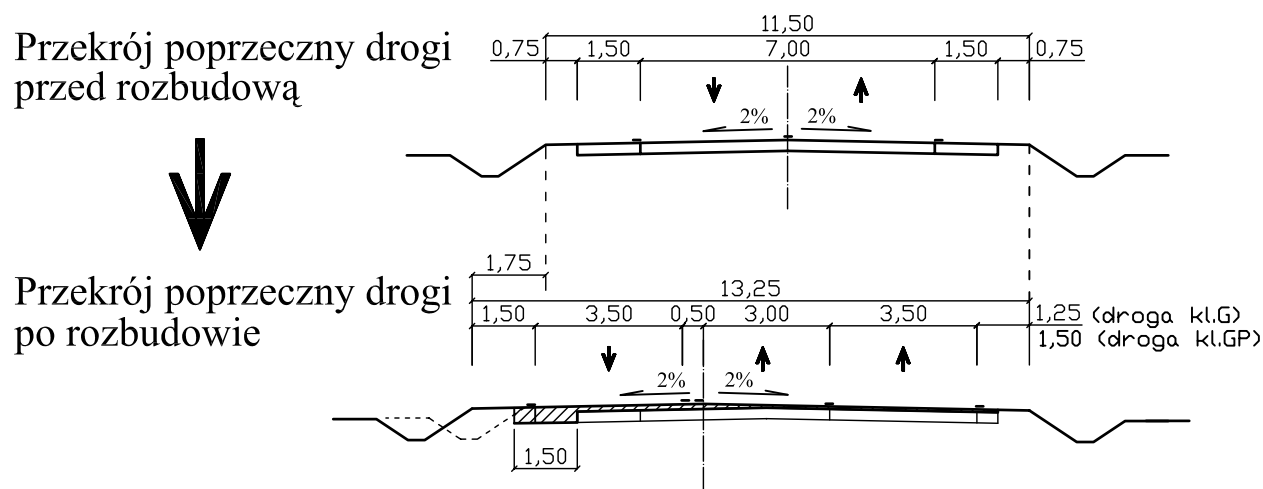
a) dla drogi z pasem wyprzedzania na wzniesieniu

Miarodajne pochylenie podłużne $s$	$L = 0,5$ km	$L = 1,0$ km	$L = 1,5$ km	$L \geq 2,0$ km
2% - 4%	3500	3000	2700	2500
>4%	3500	2800	2500	2200

b) dla drogi z pasem wyprzedzania poza wzniesieniem

	$L = 0,5$ km			$L = 1,0$ km			$L = 1,5$ km			$L \geq 2,0$ km		
$U_c$	$\leq 10\%$	20%	$\geq 30\%$	$\leq 10\%$	20%	$\geq 30\%$	$\leq 10\%$	20%	$\geq 30\%$	$\leq 10\%$	20%	$\geq 30\%$
$Q_k$	3 200	3 200	3 000	3 000	3 000	2 900	2 800			2 700		

**Tabl. 5.2. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną rozbudowy drogi o pas wyprzedzania według Programu B**



*Zakres podstawowych robót w obrębie korony drogi obejmuje: jednostronne poszerzenie korony drogi o 1,75 m oraz wykonanie nawierzchni jezdni o szerokości 1,50 m (wraz z opaską zewnętrzną), a także warstwy wyrównawczej zapewniającej takie samo pochylenie poprzeczne (co do wartości i kierunku) pasa wyprzedzania i pasa przeznaczonego do ruchu w tym samym kierunku.*

Przedsięwzięcie jest uzasadnione, jeżeli  $KSDR$  ( $SDR$  w analizowanym kierunku), w dziesiątym roku po oddaniu drogi do użytkowania, przekroczy krytyczne natężenie ruchu  $Q_k$ , określone niżej:

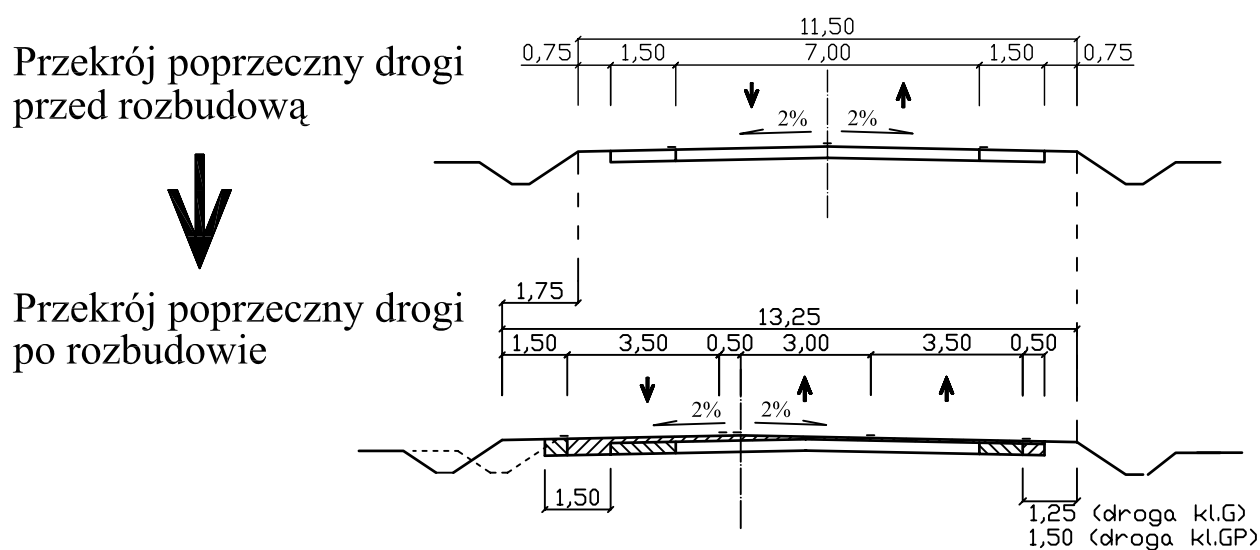
a) dla drogi z pasem wyprzedzania na wzniesieniu

Miarodajne pochylenie podłużne $s$	$L = 0,5$ km	$L = 1,0$ km	$L = 1,5$ km	$L \geq 2,0$ km
2% - 4%	4500	4000	3700	3500
>4%	4500	3800	3400	3200

b) dla drogi z pasem wyprzedzania poza wzniesieniem

	$L = 0,5$ km			$L = 1,0$ km			$L = 1,5$ km			$L \geq 2,0$ km		
	$\leq 10\%$	20%	$\geq 30\%$	$\leq 10\%$	20%	$\geq 30\%$	$\leq 10\%$	20%	$\geq 30\%$	$\leq 10\%$	20%	$\geq 30\%$
$U_c$												
$Q_k$	4 500	4 300	4 000	4 200	4 100	3 800	4 000	4 000	3 800	3 900	3 800	3 700

**Tabl. 5.3. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną rozbudowy drogi o pas wyprzedzania według Programu C**



Zakres podstawowych robót w obrębie korony drogi obejmuje: jednostronne poszerzenie korony drogi o 1,75 m, poszerzenie jezdni o 1,50 m (wraz z opaską zewnętrzną) i wymianę nawierzchni utwardzonych poboczy na konstrukcję o nośności takiej jak jezdni oraz wykonanie warstwy wyrównawczej zapewniającej takie samo pochylenie poprzeczne (co do wartości i kierunku) pasa wyprzedzania i pasa przeznaczonego do ruchu w tym samym kierunku.

Przedsięwzięcie jest uzasadnione, jeżeli KSRD (SDR w analizowanym kierunku), w dziesiątym roku po oddaniu drogi do użytkowania, przekroczy krytyczne natężenie ruchu  $Q_k$ , określone niżej:

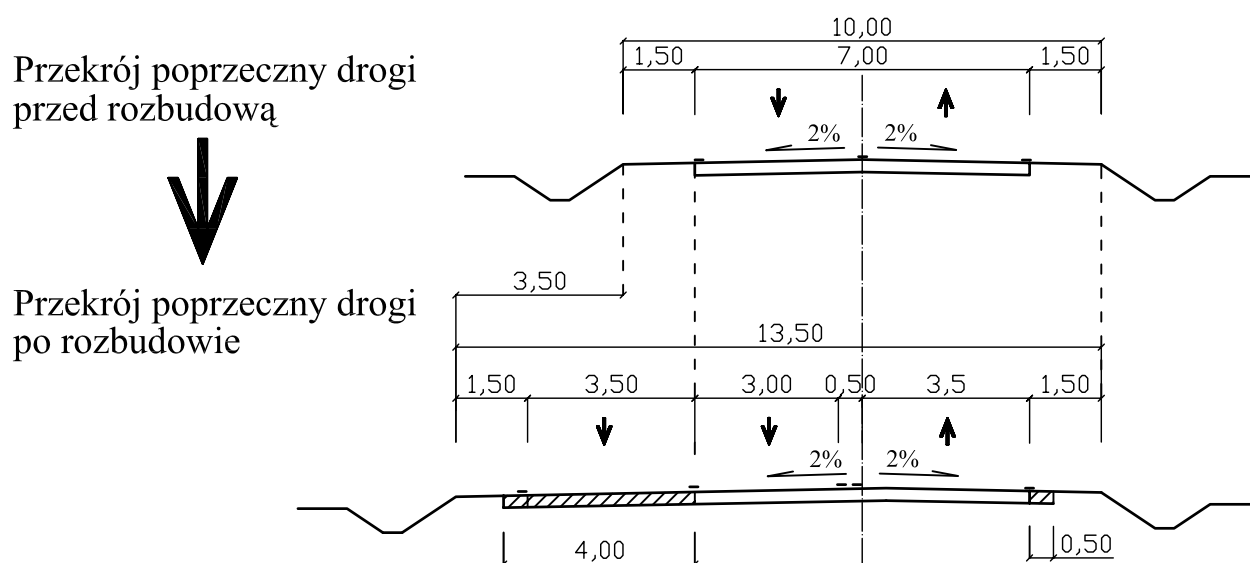
a) dla drogi z pasem wyprzedzania na wzniesieniu

Miarodajne pochylenie podłużne $s$	$L = 0,5$ km	$L = 1,0$ km	$L = 1,5$ km	$L \geq 2,0$ km
2% - 4%	6500	6300	6100	6000
>4%	6500	6200	5800	5500

b) dla drogi z pasem wyprzedzania poza wzniesieniem

	$L = 0,5$ km			$L = 1,0$ km			$L = 1,5$ km			$L \geq 2,0$ km		
$U_c$	$\leq 10\%$	20%	$\geq 30\%$	$\leq 10\%$	20%	$\geq 30\%$	$\leq 10\%$	20%	$\geq 30\%$	$\leq 10\%$	20%	$\geq 30\%$
$Q_k$	7 400	6 900	6 200	7 000	6 700	6 100	6 800	6 500	6 000	6 600	6 300	5 900

**Tabl. 5.4. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną rozbudowy drogi o pas wyprzedzania według Programu D**



Zakres podstawowych robót w obrębie korony drogi obejmuje: jednostronne poszerzenie korony drogi o 3,50 m oraz poszerzenie jezdni o 4,00 m (wraz z opaską zewnętrzną), wykonanie opaski zewnętrznej o szerokości 0,50 m po drugiej stronie jezdni oraz warstwy ścieralnej na całej szerokości jezdni.

Przedsięwzięcie jest uzasadnione, jeżeli *KSRD* (*SDR* w analizowanym kierunku), w dziesiątym roku po oddaniu drogi do użytkowania, przekroczy krytyczne natężenie ruchu  $Q_k$ , określone niżej:

a) dla drogi z pasem wyprzedzania na wzniesieniu

Miarodajne pochylenie podłużne $s$	$L = 0,5$ km	$L = 1,0$ km	$L = 1,5$ km	$L \geq 2,0$ km
2% - 4%	7500	7000	6800	6500
>4%	7500	6800	6200	6000

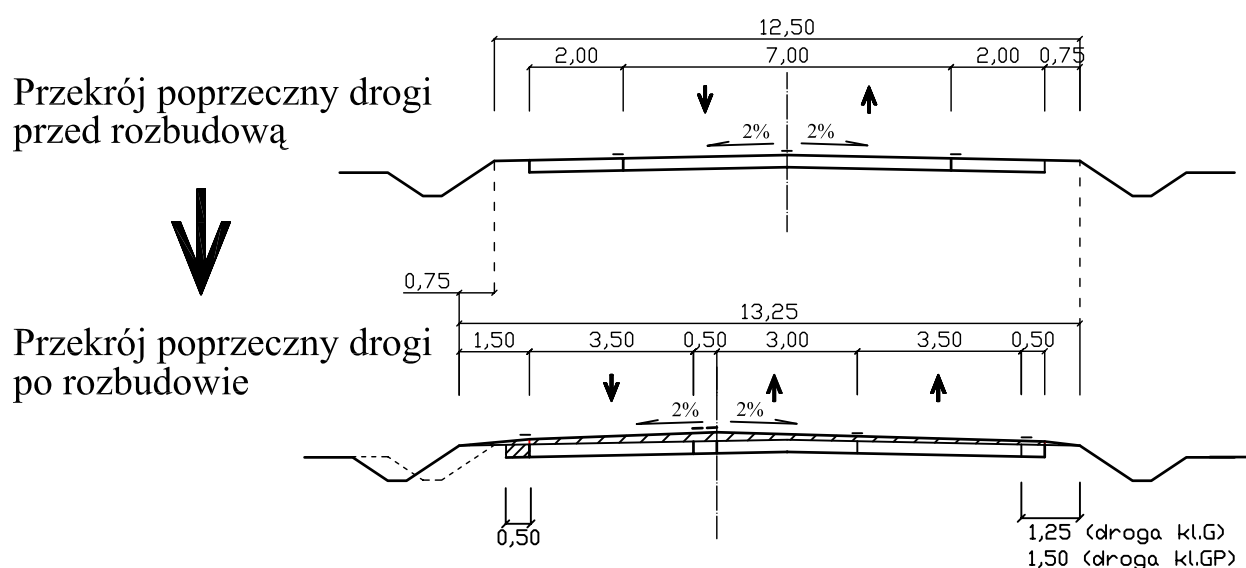
b) dla drogi z pasem wyprzedzania poza wzniesieniem

	$L = 0,5$ km			$L = 1,0$ km			$L = 1,5$ km			$L \geq 2,0$ km		
$U_c$	$\leq 10\%$	20%	$\geq 30\%$	$\leq 10\%$	20%	$\geq 30\%$	$\leq 10\%$	20%	$\geq 30\%$	$\leq 10\%$	20%	$\geq 30\%$
$Q_k$	8 100	7 600	6 800	7 700	7 300	6 600	7 500	7 100	6 500	7 200	6 900	6 500

**5.2.4.** Rozbudowa dwupasowej drogi dwukierunkowej do drogi o przekroju 2+1 pasowym jest uzasadniona ze względów ekonomicznych, jeżeli  $SDR$  (w obu kierunkach), w dziesiątym roku po oddaniu drogi do użytkowania, przekroczy krytyczne natężenie ruchu  $Q_k$ , określone w tabl. 5.5-5.8.

Krytyczne natężenie ruchu  $Q_k$  określone w tabl. 5.5–5.8 uzależniono od udziału pojazdów ciężkich  $U_c$  w ruchu, w zaokrągleniu do 1%.

**Tabl. 5.5. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną rozbudowy dwupasowej drogi dwukierunkowej do drogi o przekroju 2+1 pasowym według Programu A**

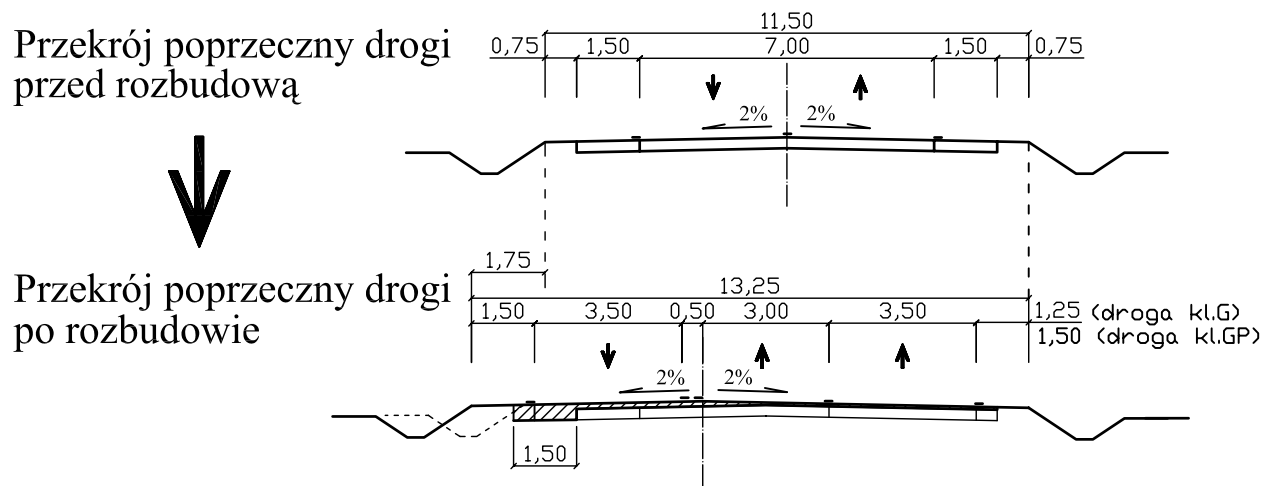


*Zakres podstawowych robót w obrębie korony drogi obejmuje: jednostronne poszerzenie korony drogi o 0,75 m oraz wykonanie opaski zewnętrznej o szerokości 0,50 m i o konstrukcji nawierzchni jak jezdni a także warstwy wyrównawczej zapewniającej takie samo pochylenie poprzeczne (co do wartości i kierunku) pasa wyprzedzania i pasa przeznaczonego do ruchu w tym samym kierunku.*

Przedsięwzięcie jest uzasadnione, jeżeli  $SDR$  w dziesiątym roku po oddaniu drogi o przekroju 2+1 pasowym do użytkowania, przekroczy krytyczne natężenie ruchu  $Q_k$ , określone niżej:

$U_c$	≤5%	10%	15%	≥20%
$Q_k$	2 700	2 800	2 800	2 900

**Tabl. 5.6. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną rozbudowy dwupasowej drogi dwukierunkowej do drogi o przekroju 2+1 pasowym według Programu B**

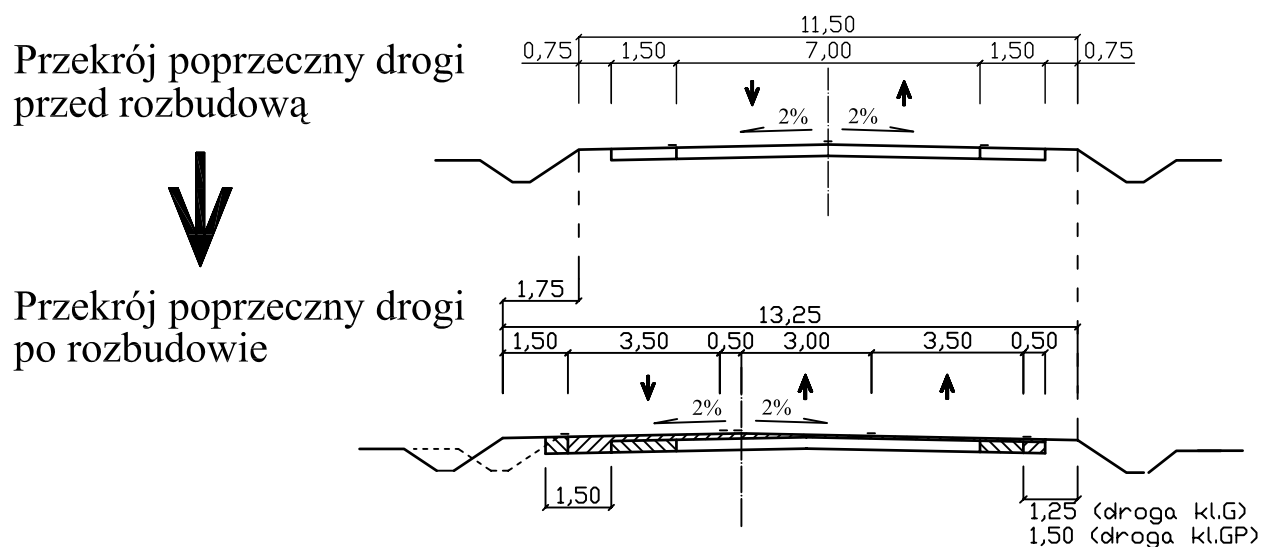


*Zakres podstawowych robót w obrębie korony drogi obejmuje: jednostronne poszerzenie korony drogi o 1,75 m oraz wykonanie nawierzchni jezdni o szerokości 1,50 m (wraz z opaską zewnętrzną), a także warstwy wyrównawczej zapewniającej takie samo pochylenie poprzeczne (co do wartości i kierunku) pasa wyprzedzania i pasa przeznaczanego do ruchu w tym samym kierunku.*

Przedsięwzięcie jest uzasadnione, jeżeli  $SDR$  w dziesiątym roku po oddaniu drogi o przekroju 2+1 pasowym do użytkowania, przekroczy krytyczne natężenie ruchu  $Q_k$ , określone niżej:

$U_c$	$\leq 5\%$	10%	15%	$\geq 20\%$
$Q_k$	4 400	4 500	4 600	4 700

**Tabl. 5.7. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną rozbudowy dwupasowej drogi dwukierunkowej do drogi o przekroju 2+1 pasowym według Programu C**



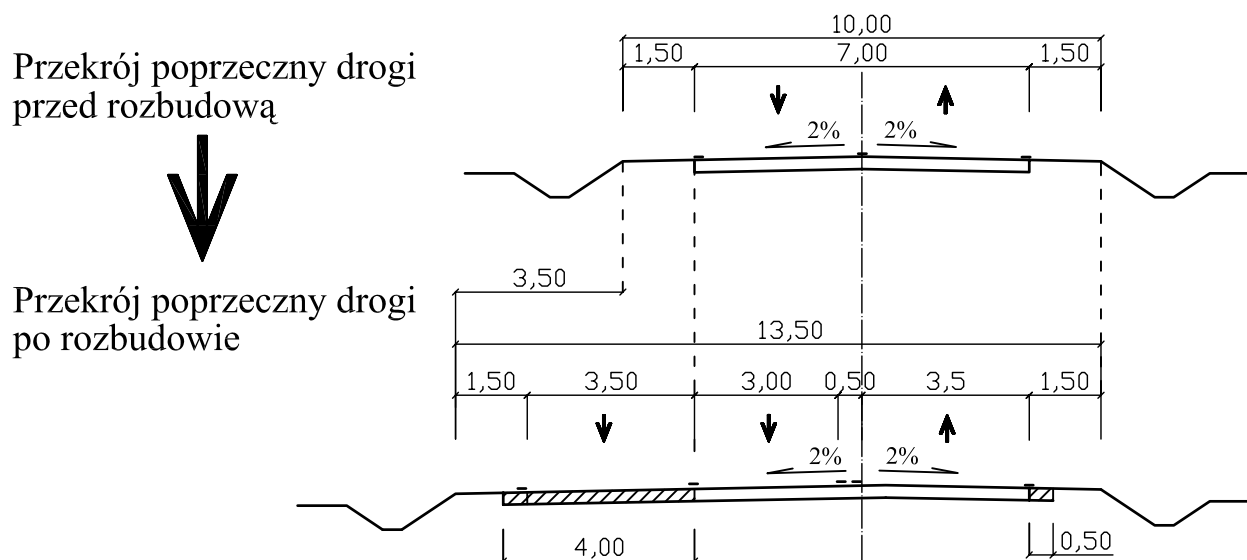
*Zakres podstawowych robót w obrębie korony drogi obejmuje: jednostronne poszerzenie korony drogi o 1,75 m, poszerzenie jezdni o 1,50 m (wraz z opaską zewnętrzną) i wymianę nawierzchni utwardzonych poboczy na konstrukcję o nośności takiej jak jezdni oraz wykonanie warstwy wyrównawczej zapewniającej takie samo pochylenie poprzeczne (co do wartości i kierunku) pasa wyprzedzania i pasa przeznaczonego do ruchu w tym samym kierunku.*

Przedsięwzięcie jest uzasadnione, jeżeli  $SDR$  w dziesiątym roku po oddaniu drogi o przekroju 2+1 pasowym do użytkowania, przekroczy krytyczne natężenie ruchu  $Q_k$ , określone niżej:

$U_c$	≤5%	10%	15%	≥20%
$Q_k$	9 400	9 700	9 900	10 300



**Tabl. 5.8. Analiza efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną rozbudowy dwupasowej drogi dwukierunkowej do drogi o przekroju 2+1 pasowym według Programu D**



*Zakres podstawowych robót w obrębie korony drogi obejmuje: jednostronne poszerzenie korony drogi o 3,50 m oraz poszerzenie jezdni o 4,00 m (wraz z opaską zewnętrzną), wykonanie opaski zewnętrznej o szerokości 0,50 m po drugiej stronie jezdni oraz warstwy ścieralnej na całej szerokości jezdni.*

Przedsięwzięcie jest uzasadnione, jeżeli  $SDR$  w dziesiątym roku po oddaniu drogi o przekroju 2+1 pasowym do użytkowania, przekroczy krytyczne natężenie ruchu  $Q_k$ , określone niżej:

$U_c$	$\leq 5\%$	10%	15%	$\geq 20\%$
$Q_k$	10 800	11 100	11 400	11 800

### **5.3. ANALIZA EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ METODĄ SZCZEGÓŁOWĄ**

**5.3.1.** W metodzie szczegółowej dokonuje się porównania zdyskontowanych kosztów inwestycyjnych oraz zdyskontowanych kosztów utrzymania ze zdyskontowanymi korzyściami użytkowników wynikającymi z zastosowania pasów wyprzedzania. Inwestycja jest uzasadniona ekonomicznie, jeżeli są uwzględnione kryteria określone w rozdz. 3.

**5.3.2.** W wypadku pasa wyprzedzania na wzniesieniu, parametrami analizy są:

- miarodajne pochylenie podłużne ( $s$ ) – jako średnie ważone na długości pasa, w zaokrągleniu do 1%;
- długość pasa wyprzedzania ( $L$ );
- $KSRD$  ( $SDR$  w analizowanym kierunku), w zaokrągleniu do 500 P/dobę, w pierwszym, dziesiątym i dwudziestym roku eksploatacji inwestycji;
- udział pojazdów ciężkich ( $Uc$ ) w ruchu w zaokrągleniu do 1%.

**5.3.3.** W odniesieniu do pasa wyprzedzania poza wzniesieniem, parametrami analizy są:

- długość pasa wyprzedzania ( $L$ );
- $KSRD$  ( $SDR$  w analizowanym kierunku), w zaokrągleniu do 500 P/dobę, w pierwszym, dziesiątym i dwudziestym roku eksploatacji inwestycji;
- udział pojazdów ciężkich ( $Uc$ ) w ruchu w zaokrągleniu do 1%.

**5.3.4.** W wypadku drogi o przekroju 2+1 pasowym parametrami analizy są:

- $SDR$  w obu kierunkach (w zaokrągleniu do 1000 P/dobę), w pierwszym, dziesiątym i dwudziestym roku eksploatacji inwestycji;
- udział pojazdów ciężkich ( $Uc$ ) w ruchu w zaokrągleniu do 1%.

**5.3.5.** Koszty inwestycyjne należy określić w poszczególnych latach zakładanego okresu realizacji. Ewentualne koszty prac przygotowawczych (studia, dokumentacja projektowa itp.) należy przyjąć w pierwszym roku realizacji. W kosztach inwestycyjnych nie należy uwzględniać podatku VAT.

Ponadto, należy określić koszty utrzymania analizowanej inwestycji, jako różnicę w stosunku do wariantu odniesienia. Jeżeli brak jest dokładnych oszacowań, roczne koszty utrzymania pasów wyprzedzania w okresie eksploatacji można przyjąć w wysokości 1,25% całkowitych kosztów inwestycyjnych.

**5.3.6.** Jednostkowe korzyści użytkowników  $B_r$ , wynikające z wprowadzenia pasów wyprzedzania należy odczytać z odpowiednich nomogramów (Załącznik nr 1, 2 lub 3) dla ruchu prognozowanego w pierwszym, dziesiątym i dwudziestym roku eksploatacji. Dla wartości pośrednich długości pasa wyprzedzania na wzniesieniu lub poza wzniesieniem, korzyści jednostkowe należy wyznaczyć z dwóch nomogramów (Załącznik nr 1 w przypadku pasów wyprzedzania na wzniesieniu lub Załącznik nr 2 dla pasów wyprzedzania poza wzniesieniem) dla odpowiednich długości  $L_1$  i  $L_2$  (gdzie  $L_1 < L < L_2$ ) i interpolować liniowo. W wypadku drogi o przekroju 2+1 pasowym, korzyści jednostkowe należy wyznaczyć z nomogramu (Załącznik nr 3) dla odpowiednich wartości  $SDR$  i  $Uc$ .

Wyznaczone wartości korzyści jednostkowych  $B_r$ , należy przemnożyć przez długość pasa wyprzedzania  $L$  (w wypadku drogi o przekroju 2+1 pasowym przez jej długość), w celu uzyskania korzyści całkowitych  $B$ .

*Nomogramy jednostkowych korzyści użytkowników sporządzono dla stopy dyskontowej równej  $r=6\%$  i 20-letniego okresu eksploatacji.*

**5.3.7.** Dane wejściowe i wyniki analizy efektywności ekonomicznej należy przedstawić zgodnie ze schematem zamieszczonym w Załączniku nr 4 ( $n$  – kolejny rok okresu analizy,  $p$  – ostatni rok inwestycji,  $p+1$  – pierwszy rok eksploatacji). Obliczone wartości korzyści użytkowników w pierwszym, dziesiątym i dwudziestym roku okresu eksploatacji należy wpisać w odpowiednich (wyróżnionych pogrubioną ramką) rubrykach tablicy (Załącznik nr 4, kolumna 5). Wartości korzyści użytkowników dla lat pośrednich interpoluje się liniowo. W tablicy wpisuje się także odpowiednie wartości kosztów inwestycyjnych (kolumna 3) i kosztów utrzymania (kolumna 4). Korzyści netto (kolumna 6) oblicza się jako różnicę pomiędzy korzyściami użytkowników a kosztami inwestycyjnymi i kosztami utrzymania. W kolumnie 7 dyskontuje się korzyści netto, mnożąc je przez czynnik dyskontowy  $1/(1+r)^n$ , dla stopy dyskontowej  $r = 6\%$ .

Oblicza się wartości wskaźników efektywności:

- $NPV$ , czyli sumy zdyskontowanych korzyści netto;
- $B/C$ , czyli ilorazu zdyskontowanych korzyści netto do zdyskontowanych kosztów (inwestycyjnych i utrzymania);
- $IRR$ , tzn. stopy dyskontowej, przy której  $NPV=0$ .

**5.3.8.** Ponadto, należy wykonać analizę wrażliwości wskaźnika *IRR* na wartości kluczowych parametrów analizy, tzn. kosztów inwestycyjnych oraz wielkości prognozowanego natężenia ruchu (*SDR*). W tym celu należy obliczyć wartość *IRR* dla następujących wariantów:

- wariant I: koszty inwestycyjne zwiększone o 10%;
- wariant II: natężenie ruchu zmniejszone o 10%;
- wariant III: koszty inwestycyjne zwiększone o 10% i natężenie ruchu zmniejszone o 10%.

Analiza wrażliwości służy określeniu zakresu zmienności efektywności ekonomicznej analizowanej inwestycji w zależności od wartości jej kluczowych parametrów. Uzyskanie wartości wskaźnika *IRR* mniejszego niż 6% dla dowolnego z wariantów analizy wrażliwości nie przesądza jeszcze o negatywnej ocenie przedsięwzięcia, chociaż jest sygnałem, że przy mniej korzystnych wartościach parametrów niż założone w analizie, inwestycja może okazać się nieefektywna.

**5.3.9.** Analiza efektywności ekonomicznej metodą szczegółową, dotycząca budowy nowego ciągu drogowego ze zlokalizowanymi na nim pasami wyprzedzania, powinna zostać wykonana dwuetapowo. W pierwszym etapie należy wykonać standardową analizę ekonomiczną, wg metody zalecanej przez GDDKiA [13], dla hipotetycznego wariantu zakładającego ten sam przebieg drogi, ale bez pasów wyprzedzania. Obliczone w ten sposób strumienie kosztów i korzyści należy wpisać w arkusz zamieszczony w Załączniku nr 4. W drugim etapie, do obliczonych w ten sposób strumieni kosztów i korzyści należy dodać dodatkowe koszty inwestycyjne i utrzymania oraz korzyści użytkowników wynikające z wprowadzenia pasów, obliczone według metody szczegółowej zamieszczonej w niniejszej Instrukcji. Po dodaniu tych dodatkowych kosztów i korzyści należy obliczyć wskaźniki efektywności ekonomicznej zgodnie z zaleceniami niniejszej Instrukcji.

W przypadku analizy efektywności ekonomicznej drogi o przekroju 2+1 pasowym, dodatkowe korzyści obliczone według niniejszej Instrukcji należy uwzględnić na całej długości analizowanego ciągu drogowego, natomiast w przypadku pasów wyprzedzania na wzniesieniach i poza wzniesieniami – tylko na długości tych pasów.

*Może się zdarzyć, że w przypadku nowej inwestycji zaistnieje konieczność porównania dwóch lub kilku wariantów przebiegu drogi, przy czym niektóre z wariantów mogą zakładać budowę drogi wyposażonej w pasy wyprzedzania, a inne – zwykłej drogi dwupasowej. W takich przypadkach efektywność ekonomiczną wariantu drogi bez pasów wyprzedzania należy określić metodą zalecaną przez GDDKiA [13]. Metoda ta nie*

*pozwała jednak na analizę wariantu drogi z pasami wyprzedzania. W celu określenia efektywności ekonomicznej wariantu nowej drogi z pasami wyprzedzania należy najpierw określić koszty i korzyści tej drogi bez pasów wyprzedzania metodą zalecaną przez GDDKiA, a następnie uzupełnić o dodatkowe koszty i korzyści wynikające z zastosowania pasów wyprzedzania, wykorzystując metodę szczegółową podaną w Instrukcji.*

## **6. WARUNKI TECHNICZNE, JAKIM POWINNY ODPOWIADAĆ PASY WYPRZEDZANIA**

### **6.1. WYMAGANIA OGÓLNE**

**6.1.1.** Droga na której występują pasy wyprzedzania powinna spełniać wymagania określone w Warunkach technicznych [8], a także dodatkowe warunki wynikające ze szczególnej organizacji i zarządzania ruchem.

**6.1.2.** Z uwagi na to, że pas wyprzedzania na drodze umożliwia – a nawet prowokuje – wyprzedzanie, jego lokalizacja, parametry techniczne, wyposażenie oraz organizacja ruchu powinny zapewniać wysoki poziom bezpieczeństwa.

Pas wyprzedzania powinien być usytuowany w miejscu, gdzie będzie on w porę dostrzegany i zrozumiały dla uczestników ruchu. Jego parametry techniczne i wyposażenie powinny być zgodne z wymaganiami określonymi w niniejszej Instrukcji, a organizacja ruchu powinna ograniczać podejmowanie błędnych decyzji przez kierujących pojazdami.

### **6.2. PARAMETRY TECHNICZNE PASA WYPRZEDZANIA W PLANIE SYTUACYJNYM**

#### **6.2.1. PAS WYPRZEDZANIA NA WZNIESIENIU**

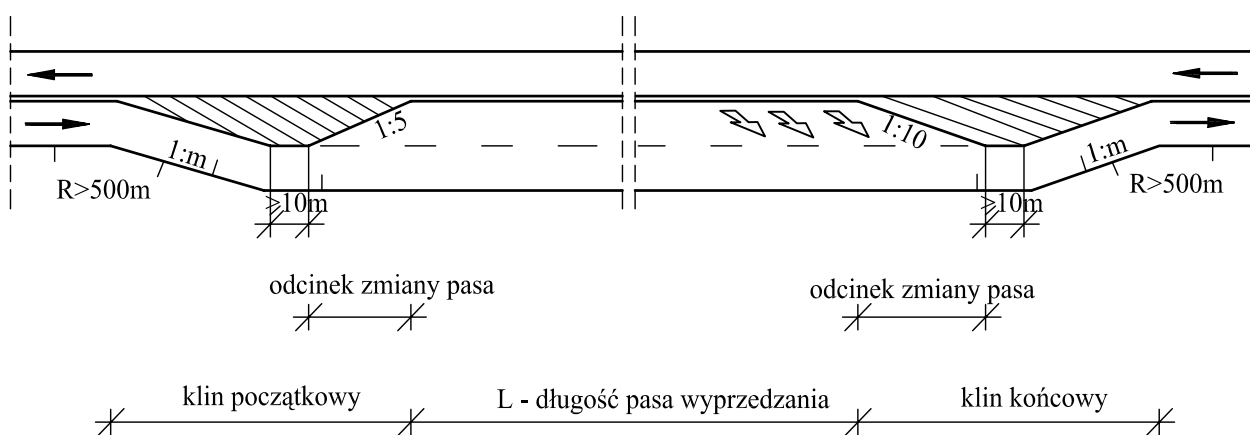
**6.2.1.1.** Podstawowe wymiary elementów klina początkowego i końcowego podano na rys. 6.1. Skos 1:m należy określić zgodnie z §64 ust. 1 Warunków technicznych [8]. Załomy krawędzi jezdni należy wyokrąglać łukami kołowymi o promieniu  $R > 500$  m.

**6.2.1.2.** Najmniejsza długość pasa wyprzedzania na wzniesieniu wynosi 500 m.

**6.2.1.3.** Długość pasa wyprzedzania na wzniesieniu wyznaczona na podstawie profilu prędkości MSC (pkt 4.2) może być zwiększona, jeżeli:

- zmiana lokalizacji początku i/lub końca pasa wyprzedzania przyczyni się do zapewnienia decyzyjnej odległości widoczności klina początkowego i końcowego (pkt 6.4),
- lokalizacja istniejącego skrzyżowania koliduje z pasem wyprzedzania i nie jest możliwa zmiana jego położenia (pkt 6.6),
- zachodzi przypadek opisany w pkt 6.2.1.4.

**6.2.1.4.** Jeżeli odległość między końcem jednego pasa wyprzedzania i początkiem następnego pasa jest mniejsza niż 300 m, to oba pasy należy połączyć w jeden pas wyprzedzania. Połączenie to nie jest konieczne, jeżeli między pasami wyprzedzania występuje skrzyżowanie lub zjazd, którego likwidacja nie jest uzasadniona.



**Rys. 6.1. Podstawowe wymiary elementów klina początkowego i końcowego**

## 6.2.2. PAS WYPRZEDZANIA POZA WZNIESIENIEM

**6.2.2.1.** Podstawowe parametry techniczne pasa wyprzedzania poza wzniesieniem są określone w pkt 6.2.1.1 i na rys. 6.1.

**6.2.2.2.** Długość pasa wyprzedzania poza wzniesieniem należy dostosować do lokalnego ograniczenia możliwości wyprzedzania. Najmniejsza długość pasa wyprzedzania wynosi 500 m. Zaleca się, aby długość pasa wyprzedzania mieściła się w przedziale 800 – 1 500 m. Przy udziale pojazdów ciężkich w potoku powyżej 15%, a także gdy warunki drogowe istotnie ograniczają prędkości pojazdów, zaleca się stosowanie pasów krótszych (800 – 1 200 m). Gdy udział pojazdów ciężkich w potoku jest równy lub mniejszy niż 15% mogą być stosowane pasy dłuższe (1 200 – 1 500 m).

Nie zaleca się stosowania pasa wyprzedzania o długości większej niż 2 000 m.

*Brak możliwości wyprzedzania na przylegającym do pasa wyprzedzania jednopasowym odcinku drogi przeznaczonym do ruchu w przeciwnym kierunku powoduje istotne pogorszenie warunków ruchu. Ponadto, zbyt długi pas wyprzedzania nie jest efektywnie wykorzystywany, wywołuje wzrost prędkości pojazdów, które na końcu pasa mają trudności przy włączaniu się do ruchu na zasadniczym pasie.*

*Ustalenie długości pasa wyprzedzania poza wzniesieniem na podstawie wymienionych wyżej zaleceń powinno być potwierdzone pozytywnym wynikiem analizy efektywności ekonomicznej (rozdz. 5).*

**6.2.2.3.** Zaleca się, aby rozkład pasów wyprzedzania przeznaczonych dla tego samego kierunku ruchu był równomierny, tzn. by były one rozmieszczone w równych lub zbliżonych odstępach. Cykliczne występowanie pasów wyprzedzania przyczynia się także do uporządkowania i uspokojenia ruchu na drodze. Im większe są odstępy pasów wyprzedzania, tym w mniejszym stopniu usprawniają one ruch na ciągu drogowym.

**6.2.2.4.** Konfiguracja pasów wyprzedzania przeznaczonych do ruchu w przeciwnych kierunkach ma wpływ na skuteczne zapewnienie jednakowych możliwości wyprzedzania w obu kierunkach ruchu. Typowe konfiguracje pasów wyprzedzania przedstawiono na rys. 6.2.

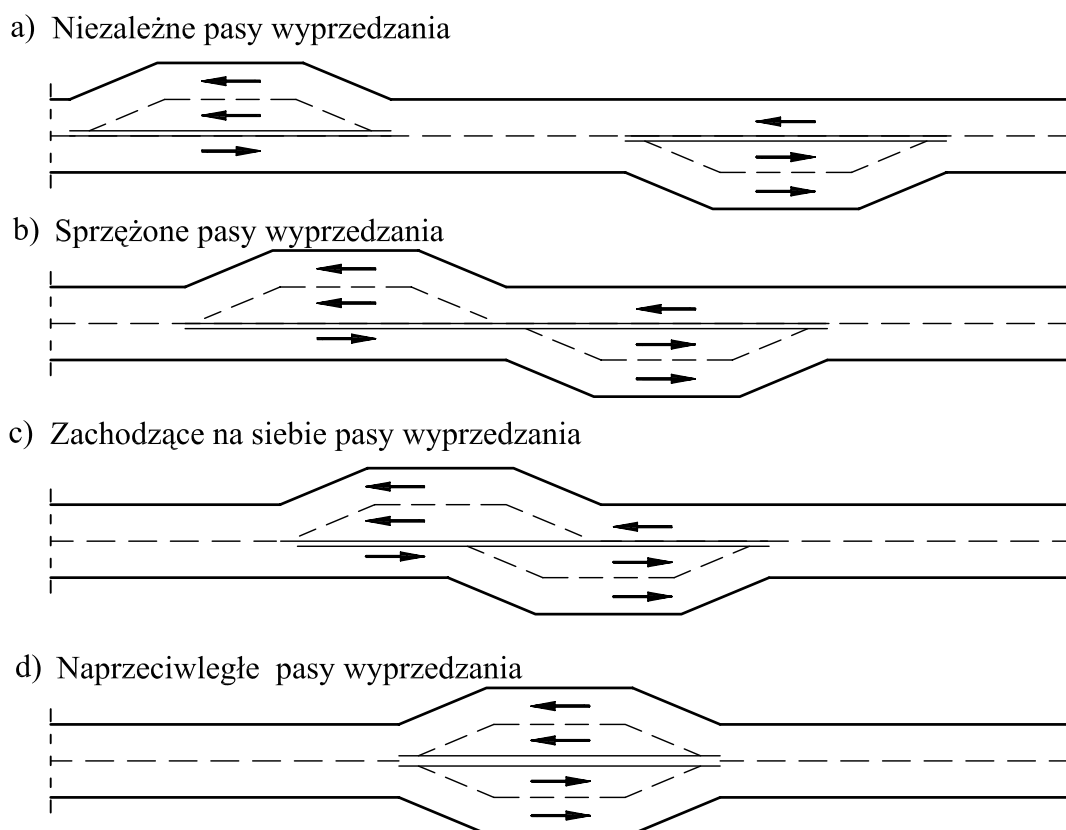
**Pasy niezależne** regularnie rozmieszczone są najczęściej stosowane na ciągach drogowych.

**Pasy sprzężone** przyczyniają się do wyrównania możliwości wyprzedzania w obu kierunkach ruchu. Sprzężone pasy wyprzedzania uznaje się za efektywne, jeżeli:

- wzmożone tworzenie się kolumn w potoku (brak możliwości wyprzedzania, podwójna linia ciągła) następuje przed każdym z pasów,
- niezgodny z przepisami przejazd pojazdu przez klin końcowy nie stwarza zagrożenia zderzenia czołowego z pojazdami jadącymi z przeciwnego kierunku.

**Pasy zachodzące na siebie** są często stosowane po obu stronach wzniesienia.

**Pasy naprzeciwległe** są stosowane na początku lub na końcu ciągu drogowego, a także na odcinku drogi, gdzie koszty budowy i pozyskania terenu są małe i warto to wykorzystać do budowy pasów wyprzedzania dla jednego i drugiego kierunku ruchu. Pasy te powinny być rozdzielone pasem dzielącym z usytuowaną na nim barierą ochronną.



**Rys. 6.2. Typowe konfiguracje pasów wyprzedzania (schemat)**

### 6.2.3. DROGA O PRZEKROJU 2+1 PASOWYM

**6.2.3.1.** Drogę o przekroju 2+1 pasowym można stosować na nowym ciągu drogowym lub jego fragmencie, jak też przy rozbudowie dwupasowej drogi dwukierunkowej, szczególnie gdy wielkość natężenia ruchu to uzasadnia, a droga będzie przeznaczona dla pojazdów samochodowych.

Nowa droga o przekroju 2+1 pasowym może być w szczególności:

- obwodnicą miejscowości,
- etapowym rozwiązaniem drogi klasy GP, a także A lub S, jeżeli w etapie nie muszą być one drogami oznaczonymi znakiem D-9 „autostrada” lub D-7 „droga ekspresowa” i gdy prognozowane natężenie ruchu nie uzasadnia budowy dwóch jezdni w pierwszym etapie.

*Często stosowany w takich przypadkach przekrój dwupasowy z utwardzonymi pobocznymi oferuje tylko po jednym pasie ruchu w każdym kierunku i zachęca do bardzo niebezpiecznych manewrów wyprzedzania, co przy ukształtowaniu drogi dostosowanym do docelowych wysokich prędkości projektowej i miarodajnej drogi jest zdecydowanie gorszym rozwiązaniem. Zastosowanie w etapie drogi o przekroju 2+1 pasowym jest*



*korzystniejsze nie tylko ze względów ekonomicznych ale w szczególności ze względu na bezpieczeństwo ruchu.*

Rozbudowa dwupasowej drogi dwukierunkowej do drogi o przekroju 2+1 pasowym jest szczególnie zalecana, gdy:

- duże natężenie ruchu i zróżnicowana struktura rodzajowa pojazdów wywołują zapotrzebowanie na wyprzedzanie, które może być zrealizowane w znikomym zakresie,
- utwardzone pobocza mają nawierzchnię o takiej samej nośności jak jezdnia, a ich szerokość jest większa lub równa 2,0 m,
- niepewność co do prognozowanego natężenia ruchu uzasadnia etapowe dochodzenie do docelowego przekroju poprzecznego drogi dwujezdniowej,
- z prognozowanego natężenia ruchu albo ze względu na bezpieczeństwo i warunki ruchu wynika potrzeba dobudowy drugiej jezdni, lecz warunki środowiskowe lub możliwości finansowe nie pozwalają na zwiększenie szerokości pasa drogowego.

*Droga o przekroju 2+1 pasowym pod względem sprawności ruchowej i bezpieczeństwa ruchu wypełnia lukę między drogą bez pasów wyprzedzania a drogą dwujezdniową. Oferuje ona wyraźnie wyższy poziom bezpieczeństwa ruchu, a także wyższy poziom swobody ruchu (nawet o dwa poziomy według klasyfikacji HCM-2000) w porównaniu z dwupasową drogą dwukierunkową, szczególnie gdy jest przeznaczona wyłącznie dla pojazdów samochodowych. Gwarancja cyklicznej realizacji bezpiecznych manewrów wyprzedzania na drodze o przekroju 2+1 pasowym powoduje wzrost liczby wyprzedzeń nawet o 30%, a systematyczne informowanie uczestników ruchu na jednopasowym odcinku drogi o zbliżającej się możliwości wyprzedzania eliminuje podejmowanie ryzykownych wyprzedzeń i łagodzi zachowania kierujących pojazdami.*

**6.2.3.2.** Przepustowość drogi o przekroju 2+1 pasowym jest zbliżona do przepustowości dwupasowej drogi dwukierunkowej.

*O przepustowości drogi o przekroju 2+1 pasowym decyduje największy przekrój poprzeczny drogi, w którym – tak jak na dwupasowej drodze dwukierunkowej – są dwa pasy ruchu. Pozostałe odcinki drogi o przekroju 2+1 pasowym mają szersze przekroje poprzeczne, a więc warunki ruchu są lepsze. Szczególną cechą drogi o przekroju 2+1 pasowym jest zachowanie wysokiego poziomu swobody ruchu w znacznym obszarze natężeń ruchu (tabl. 6.1).*

**Tabl. 6.1. Porównanie warunków ruchu na drodze o przekroju 2+1 pasowym i na drodze dwupasowej**

Typ dwupasowej drogi dwukierunkowej:	Poziomy swobody ruchu przy natężeniu ruchu w obu kierunkach [P/h]:						
	400	800	1200	1600	2000	2400	2800
<i>bez pasów wyprzedzania</i>	B	C	D	D	E	E	E
<i>z samodzielnymi pasami wyprzedzania</i>	A	C	C	D	D	D	E
<i>droga o przekroju 2+1 pasowym</i>	A	B	B	B	C	C	C

*Właściwość ta jest szczególnie przydatna, gdy ze względu na ochronę środowiska lub potrzebę ograniczenia dostępu do obszaru, przez który przebiega dwupasowa droga dwukierunkowa, nie jest pożądane zwiększenie liczby pojazdów wjeżdżających do tego obszaru, ale jest uzasadniona poprawa bezpieczeństwa i warunków ruchu przy równoczesnym ograniczeniu negatywnego oddziaływania ruchu na środowisko.*

**6.2.3.3.** Długość pasa wyprzedzania na drodze o przekroju 2+1 pasowym powinna umożliwiać rozładowanie kolumn pojazdów wjeżdżających na ten pas. Z uwagi na to, że na tej drodze pasy wyprzedzania występują na przemian dla jednego i drugiego kierunku ruchu, to ich długości powinny być zbliżone do siebie. Najmniejsza długość pasa wyprzedzania wynosi 500 m. Zaleca się, aby następujące po sobie pasy wyprzedzania oraz rozdzielające je odcinki drogi bez pasów miały zbliżone do siebie długości z przedziału 800 – 1 500 m.

*Pasy wyprzedzania o zbliżonej długości mieszczącej się w zalecanym przedziale mają na drodze o przekroju 2+1 pasowym niemal jednakową sprawność ruchową (zbliżone średnie prędkości podróży oraz procent czasu jazdy w kolumnie, liczone dla obu kierunków ruchu) w porównaniu z pasami o innej długości z tego przedziału. Jedyne struktura rodzajowa pojazdów może być przesłanką do dokładniejszego wyboru długości pasa wyprzedzania z zalecanego zakresu. Przy udziale pojazdów ciężkich w potoku równym lub mniejszym niż 15% zaleca się stosowanie pasów wyprzedzania dłuższych (1 200 – 1 500 m), a gdy udział pojazdów ciężkich jest większy niż 15% - pasów krótszych (800 – 1 200 m).*

Zaleca się, aby największa długość pasa wyprzedzania nie przekraczała 2 000 m.

*Uzasadnienie ograniczenia długości pasa podano w pkt 6.2.2.2.*

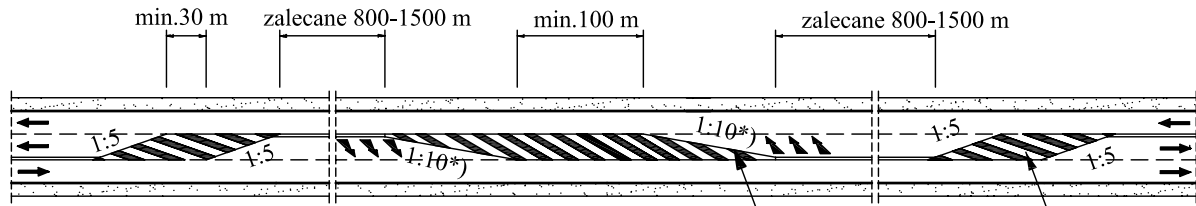
**6.2.3.4.** Kliny początkowe oraz kliny końcowe leżących na przemian pasów wyprzedzania na drodze o przekroju 2+1 pasowym stykają się ze sobą i rozdzielają pasy przeznaczone do ruchu w przeciwnych kierunkach. Są to powierzchnie wyłączone z ruchu pojazdów znakiem P-21, których kształt jest dostosowany do toru jazdy pojazdów wjeżdżających i wyjeżdżających z pasa wyprzedzania (rys. 6.3). Kliny początkowe oraz kliny końcowe są rozsunięte, jeżeli między nimi występuje węzeł, skrzyżowanie lub zjazd (rys. 6.17 – 6.19).

*Kliny służą do poprawienia efektywności funkcjonowania pasa wyprzedzania. Klin początkowy kieruje cały potok na zasadniczy pas ruchu i dzięki temu ciężkie i wolniejsze pojazdy są zmuszane do poruszania się tym pasem. Natomiast szybsze pojazdy mają dogodne warunki do wyprzedzania. Klin końcowy stanowi granicę, której pojazdy wyprzedzające nie powinny przekraczać.*

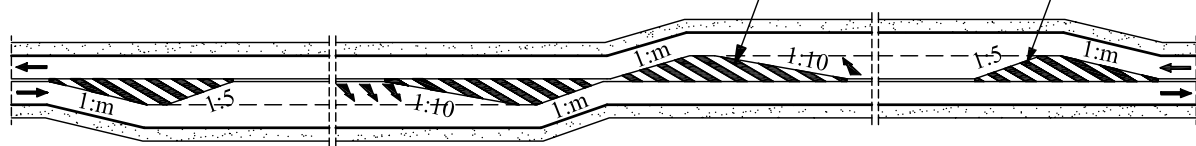
Jeżeli droga o przekroju 2+1 pasowym powstaje w wyniku niesymetrycznej rozbudowy dwupasowej drogi dwukierunkowej, to kształt klina początkowego i końcowego może być inny (rys. 6.5).

*Kliny są oznakowane jako powierzchnie wyłączone z ruchu. W zależności od potrzeb mogą być uzupełnione o separatory ruchu lub tablice uchylne z elementami odblaskowymi. Z powierzchni klinów końcowych można wydzielić część wyróżniającą się odmienną konstrukcją nawierzchni (kostka betonowa, kamienna) lub wyniesioną nad jezdnię, skutecznie przeciwdziałającą niepożądanemu wjeżdżaniu na nie pojazdów. Do tych powierzchni można zastosować oznakowanie grubowarstwowe z najezdniowymi elementami odblaskowymi. Kliny nie powinny stwarzać zagrożenia bezpieczeństwa pojazdom wjeżdżającym na nie z dużą prędkością. Ich konstrukcja powinna być też trwała i nie utrudniająca robót utrzymaniowych na drodze. W wypadku umieszczenia na drodze o przekroju 2+1 pasowym dzielącej bariery ochronnej, wówczas skos odcinka zmiany pasa ruchu klina końcowego powinien być 1:20 (rys. 6.3a i c).*

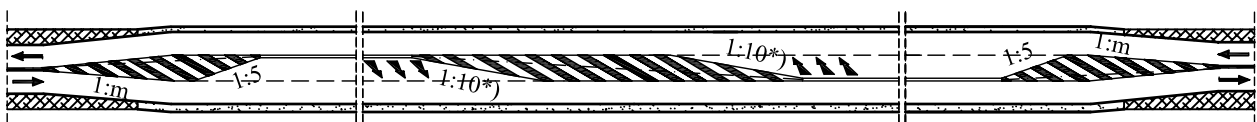
a) Nowa droga o przekroju 2+1 pasowym



b) Rozbudowa dwupasowej drogi dwukierunkowej



c) Zmiana organizacji ruchu na drodze z utwardzonymi pobocznymi



\*) 1:20 w przypadku umieszczenia dzielącej bariery ochronnej

**Rys. 6.3. Klin początkowy i końcowy na drodze o przekroju 2+1 pasowym (typowe rozwiązania)**

Załomy krawędzi jezdni o zalecanym skosie nie większym niż 1:m (tabl. 6.2) należy wyokrąglić łukami kołowymi o promieniu większym niż 500 m.

**Tabl. 6.2. Skos załamania krawędzi jezdni [8]**

Prędkość miarodajna drogi [km/h]	60	70	80	≥ 90
Skos załamania krawędzi jezdni 1:m [-]	1:20	1:25	1:30	1:40

**6.2.3.5.** W celu wskazania możliwości wprowadzenia na ciągu drogowym odcinków drogi o przekroju 2+1 pasowym należy ustalić lokalizację:

- skrzyżowań i przejazdów kolejowych o istotnym znaczeniu, których usytuowanie nie może ulec zmianie,

- odcinków drogi, na których przekrój poprzeczny nie może być zmieniony (długie obiekty mostowe, dojazdy do obiektów mostowych na wysokich nasypach, odcinki drogi na terenie zabudowy, przejścia przez miejscowości, na których intensywny ruch lokalny oraz częste zjazdy do nieruchomości nie mogą być przeniesione poza koronę drogi, odcinki, na których koszty dobudowy pasa wyprzedzania byłyby wyjątkowo wysokie),
- już istniejących na drodze pasów wyprzedzania,
- wzniesień, na których jest uzasadnione wprowadzenie pasów wyprzedzania.

Identyfikacja tych miejsc na drodze umożliwi wskazanie potencjalnych odcinków, na których można wprowadzić przekrój 2+1 pasowy. Spośród tych odcinków należy wyeliminować te, które są zbyt krótkie (tj. krótsze niż suma długości dwóch pasów wyprzedzania wraz z klinami) lub z innych ważnych względów nie są przydatne do wprowadzenia przekroju 2+1 pasowego (odcinki krzywoliniowe wymuszające ruch pojazdów z prędkościami poniżej 70 km/h).

Dalsze postępowanie należy przeprowadzić w następującej kolejności:

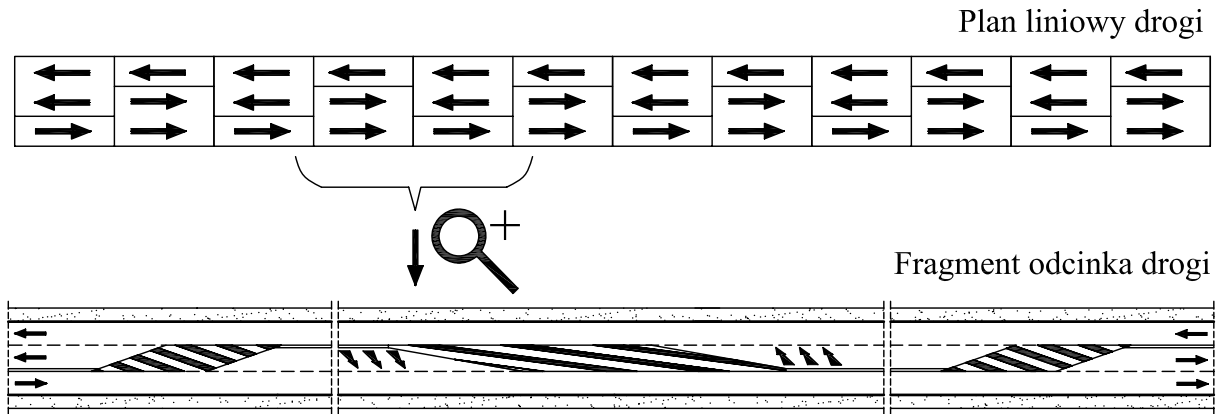
1. Uwzględniając wynik analizy celowości wprowadzenia pasów wyprzedzania na ciągu drogowym (pkt 4.1) należy wybrać jeden z programów przebudowy:

- dobudowę drugiej jezdni – zadanie to wykracza poza zakres Instrukcji,
- drogę o przekroju 2+1 pasowym,
- samodzielne pasy wyprzedzania,

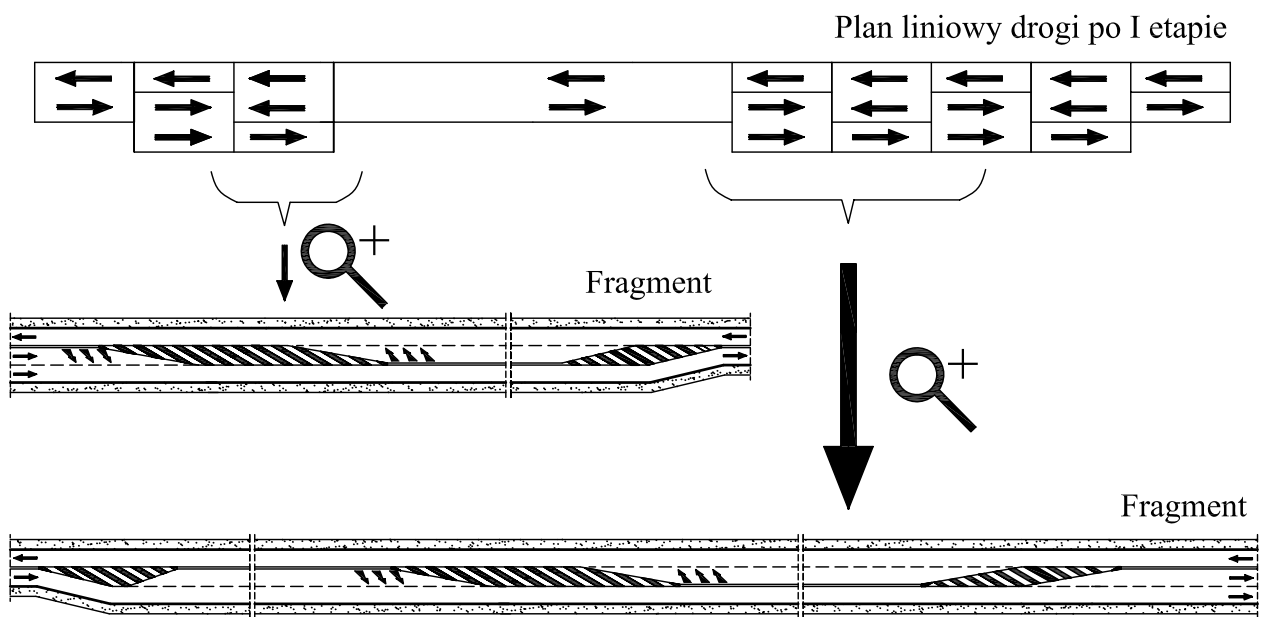
w zależności od wartości współczynnika długości pasów wyprzedzania WSL (rys. 4.2).

2. W wypadku budowy nowej drogi o przekroju 2+1 pasowym można wybrać rozkład i konfigurację pasów wyprzedzania jak na rys. 6.4a, jeżeli jest to przedsięwzięcie jednoetapowe lub jeden z wariantów przedstawionych na rys. 6.4b, jeżeli przewiduje się etapowanie robót. W przypadku etapowania przedsięwzięcia poszerzenie korony drogi może odbyć się z jednej bądź z drugiej strony osi drogi. Niezależnie od wariantu realizacji przedsięwzięcia zaleca się wprowadzenie jednostronnego pochylenia poprzecznego jezdni.

a) Budowa w jednym etapie



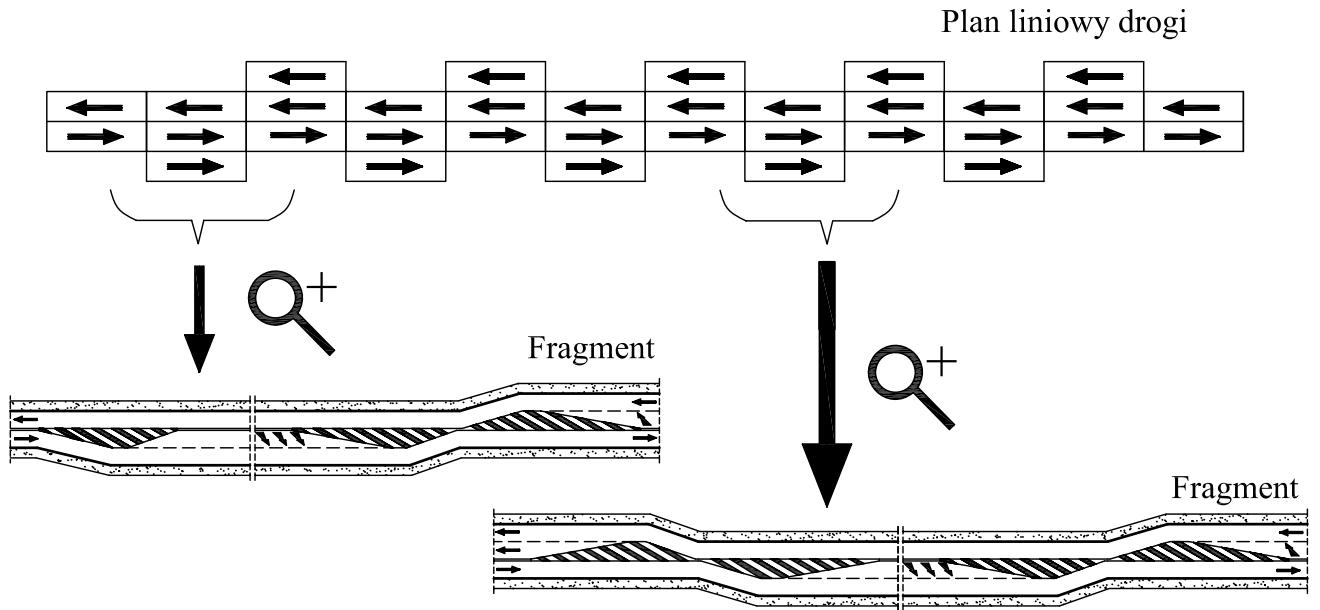
b) Budowa w dwóch etapach



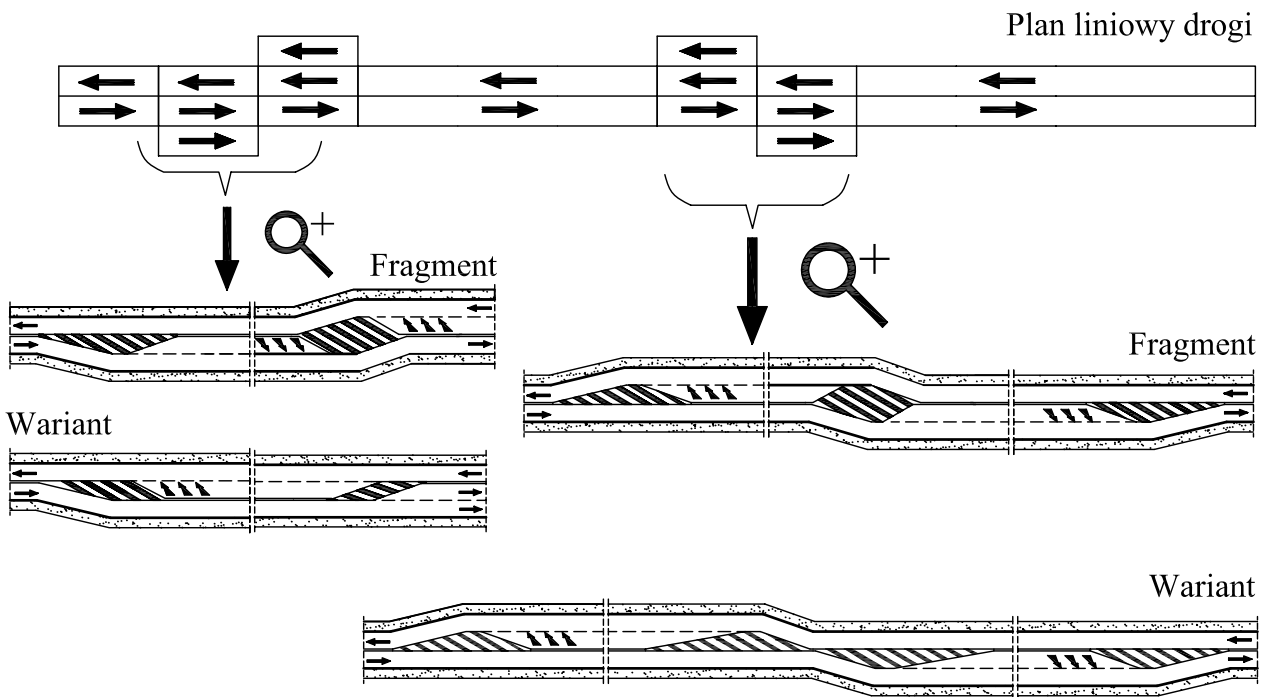
Rys. 6.4. Etapowanie budowy nowej drogi o przekroju 2+1 pasowym

3. W wypadku rozbudowy dwupasowej drogi dwukierunkowej do przekroju 2+1 pasowego można wybrać rozkład i konfigurację pasów wyprzedzania jak na rys. 6.5a, jeżeli jest to przedsięwzięcie jednoetapowe lub jak na rys. 6.5b, jeżeli przewiduje się etapowanie robót.

a) Rozbudowa w jednym etapie



b) Rozbudowa w dwóch etapach



Rys. 6.5. Etapowanie rozbudowy dwupasowej drogi dwukierunkowej do drogi o przekroju 2+1 pasowym

4. W wypadku rozbudowy dwupasowej drogi dwukierunkowej o samodzielne pasy wyprzedzania można postępować zgodnie z zaleceniami zawartymi w pkt 6.2.1 i 6.2.2.

*W praktyce opracowanie optymalnego programu wprowadzania systemu pasów wyprzedzania na dłuższym ciągu drogowym jest skomplikowane ze względu na dużą liczbę wariantów rozkładu i konfiguracji pasów. W celu wyboru najlepszej strategii etapowej rozbudowy drogi o pasy wyprzedzania może być przydatne zastosowanie modelu symulacyjnego. Przy ustalaniu rozkładu i konfiguracji pasów wyprzedzania w kolejnych etapach rozbudowy drogi zaleca się uwzględnienie następujących wskazań:*

- na każdym etapie rozbudowy drogi i po jej zakończeniu należy dążyć do zrównoważenia możliwości wyprzedzania w obu kierunkach ruchu,*
- na długim ciągu drogowym z brakiem możliwości wyprzedzania nie zaleca się w pierwszym etapie wprowadzenia jednej pary pasów wyprzedzania, gdyż stają się one „torem wyścigowym” dla agresywnych kierowców, którzy długie oczekiwanie na możliwość wyprzedzania chcą zrekompensować jak największą liczbą wyprzedzeń,*
- przy lokalizacji pasów wyprzedzania zaleca się unikanie nakładania się pasów wyprzedzania prowadzącego do tworzenia odcinków drogi dwujezdniowej (rys. 6.2d); w §14 ust. 5 Warunków technicznych [8] dopuszcza się stosowanie takich odcinków dróg o długości nie większej niż 2 km, ale ze względu na bezpieczeństwo ruchu przeciwne kierunki ruchu należy rozdzielić barierą ochronną.*

### **6.3. PRZEKROJE POPRZECZNE DROGI Z PASAMI WYPRZEDZANIA**

#### **6.3.1. PRZEKRÓJ POPRZECZNY ROZBUDOWYWANEJ DROGI**

**6.3.1.1.** Przy rozbudowie drogi o pasy wyprzedzania należy dostosować przekrój poprzeczny i jego wyposażenie do nowych funkcji, jakie będzie pełnić droga.

**6.3.1.2.** Parametry przekroju poprzecznego drogi z pasem wyprzedzania powinny być zgodne z wymaganiami określonymi w Warunkach technicznych [8].

**6.3.1.3.** Zaleca się, aby szerokości zasadniczych pasów ruchu i poboczy w obrębie pasa wyprzedzania były takie same jak na sąsiednim odcinku drogi, z zastrzeżeniem pkt 6.3.2.2.

**6.3.1.4.** Szerokość pasa wyprzedzania powinna być nie mniejsza niż 3,00 m, a w uzasadnionych wypadkach – 3,50 m (np. na drodze o  $V_p > 80$  km/h i przy większym niż 20% udziale pojazdów



ciężkich w potoku). Przy rozbudowie drogi można stosować pas wyprzedzania o szerokości od 3,00 m do 3,50 m. Jeżeli łączna szerokość pasa wyprzedzania jak i zasadniczego pasa przeznaczonego dla tego samego kierunku ruchu jest mniejsza niż 6,25 m, to zaleca się wprowadzenie znaku B-26 „zakaz wyprzedzania przez samochody ciężarowe”.

**6.3.1.5.** Pas wyprzedzania powinien być oddzielony opaską środkową od zasadniczego pasa przeznaczonego do ruchu w przeciwnym kierunku. Szerokość, wyposażenie i konstrukcja powierzchni opaski powinny być dostosowane do jej przeznaczenia oraz wymagań bezpieczeństwa ruchu.

Podstawową funkcją opaski środkowej jest rozdzielenie przeciwnych kierunków ruchu oraz wymuszenie zaniechania zakazanego manewru wyprzedzania i jej przejeżdżania przez pojazdy poruszające się po jednopasowym odcinku drogi. Opaska środkowa może być przeznaczona w szczególności do:

- umieszczenia na jej krawędziach rozsuniętej „podwójnej linii ciągłej” (znak P-4) wykonanej z materiału grubowarstwowego o powiększonej odblaskowości lub z zastosowaniem wygarbień o szerokości do 10 cm i wysokości do 8 mm umieszczonych w regularnych odstępach do 25 cm; między liniami ciągłymi zaleca się umieszczenie punktowych elementów odblaskowych, separatorów ruchu U-25b w odstępach co 6,0 m lub tablic uchylnych z elementami odblaskowymi U-24; szerokość tak wyposażonej opaski może wynosić od 0,50 m do 0,74 m,
- oznaczenia jako „powierzchnia wyłączona z ruchu” znakiem P-21 i zastosowania oznakowania grubowarstwowego takiego, że najechanie na linię powoduje efekt akustyczny ostrzegający kierującego, że zjechał on poza pas ruchu; szerokość tak wyposażonej opaski może wynosić od 0,75 m do 1,00 m.

**6.3.1.6.** Jeżeli w wyniku rozbudowy drogi do przekroju 2+1 pasowego będzie zastosowana bariera ochronna do rozdzielenia przeciwnych kierunków ruchu, to szerokość, wyposażenie i konstrukcja powierzchni pasa dzielącego powinny spełniać warunki określone w Instrukcji [17] oraz w pkt 6.3.2.3.

**6.3.1.7.** Droga bez utwardzonych poboczy (bitumicznych) w obrębie pasa wyprzedzania oraz klinów początkowego i końcowego powinna mieć opaski zewnętrzne, każdą o szerokości 0,50 m, stanowiące część poboczy przylegających do jezdni. Droga zaliczona do sieci dróg międzynarodowych powinna mieć opaski zewnętrzne, każdą o szerokości nie mniejszej niż

0,70 m, stanowiące część pobocza przylegającego do jezdni. Konstrukcja nawierzchni opaski powinna być taka sama jak jezdni.

**6.3.1.8.** Pochylenie poprzeczne pasa wyprzedzania powinno być co do wartości i kierunku takie samo jak pasa przeznaczonego do ruchu w tym samym kierunku.

*Na odcinku prostym oraz krzywoliniowym nie wymagającym przechyłki grzbiet jezdni powinien rozdzielać kierunki ruchu, gdyż jest to uzasadnione względami bezpieczeństwa ruchu, ułatwia utrzymanie drogi, a także ma dla kierujących pojazdami znaczenie psychologiczne. Spełnienie tego warunku powoduje wzdłuż drogi zmiany położenia osi rozdzielającej kierunki ruchu (grzbietu jezdni). Zakres tych zmian zależy od przekroju poprzecznego drogi przed rozbudową i przyjętego sposobu rozbudowy drogi, a szczególnie usytuowania pasa wyprzedzania po prawej czy po lewej stronie osi jezdni przed rozbudową. Im większe są zmiany położenia osi rozdzielającej kierunki ruchu (grzbietu jezdni), tym większe utrudnienia mogą wystąpić przy wbudowywaniu warstw nawierzchni jezdni i klinów początkowego i końcowego.*

**6.3.1.9.** Naprzeciwnie pasy wyprzedzania (dwa pasy wyprzedzania przeznaczone do ruchu w przeciwnym kierunku, występujące na tym samym odcinku drogi, rys. 6.2d) powinny być rozdzielone pasem dzielącym z umieszczoną na nim barierą ochronną ([17], [18], [19] oraz pkt 6.3.2.3).

**6.3.1.10.** Wyróżnia się cztery typowe programy rozbudowy dwupasowej drogi dwukierunkowej, przyjęte także w analizie efektywności ekonomicznej metodą uproszczoną (pkt 5.2.2).

**Program A.** Rozbudowa drogi o pasy wyprzedzania, jeżeli jezdnia ma szerokość 7,00 m, a utwardzone pobocza o szerokości po 2,00 m mają nawierzchnię o takiej samej nośności jak jezdnia i nie wymagają wzmocnienia (rys. 6.6).

*Zakres podstawowych robót w obrębie korony drogi zamieszczono w tabl. 5.1.*

*W konsekwencji w obrębie klinów i pasa wyprzedzania następuje zmiana położenia osi jezdni (grzbietu jezdni), co zaznaczono na rys. 6.6. Na rys. 6.3c przedstawiono schemat planu sytuacyjnego drogi po przebudowie oraz przebieg nowej osi jezdni rozdzielającej kierunki ruchu (grzbietu jezdni).*

**Program B.** Rozbudowa drogi o pasy wyprzedzania, jeżeli jezdnia ma szerokość 7,0 m, a utwardzone pobocza o szerokości po 1,50 m mają nawierzchnię o takiej samej nośności jak jezdnia i nie wymagają wzmocnienia (rys. 6.7).

*Zakres podstawowych robót w obrębie korony drogi zamieszczono w tabl. 5.2.*

*W konsekwencji w obrębie klinów i pasa wyprzedzania następuje zmiana położenia osi jezdni (grzbietu jezdni), co zaznaczono na rys. 6.7. Przebieg nowej osi jezdni rozdzielającej kierunki ruchu (grzbietu jezdni) jest podobny do opisanego przypadku w Programie A.*

**Program C.** Rozbudowa drogi o pasy wyprzedzania, jeżeli jezdnia ma szerokość 7,00 m, a utwardzone pobocza o szerokości 1,50 m - 2,00 m mają nawierzchnię wymagającą wymiany (rys. 6.8).

*Zakres podstawowych robót w obrębie korony drogi zamieszczono w tabl. 5.3.*

*W konsekwencji w obrębie klinów i pasa wyprzedzania następuje zmiana położenia osi jezdni (grzbietu jezdni), co zaznaczono na rys. 6.8. Przebieg nowej osi jezdni rozdzielającej kierunki ruchu (grzbietu jezdni) jest podobny do opisanego w Programie A.*

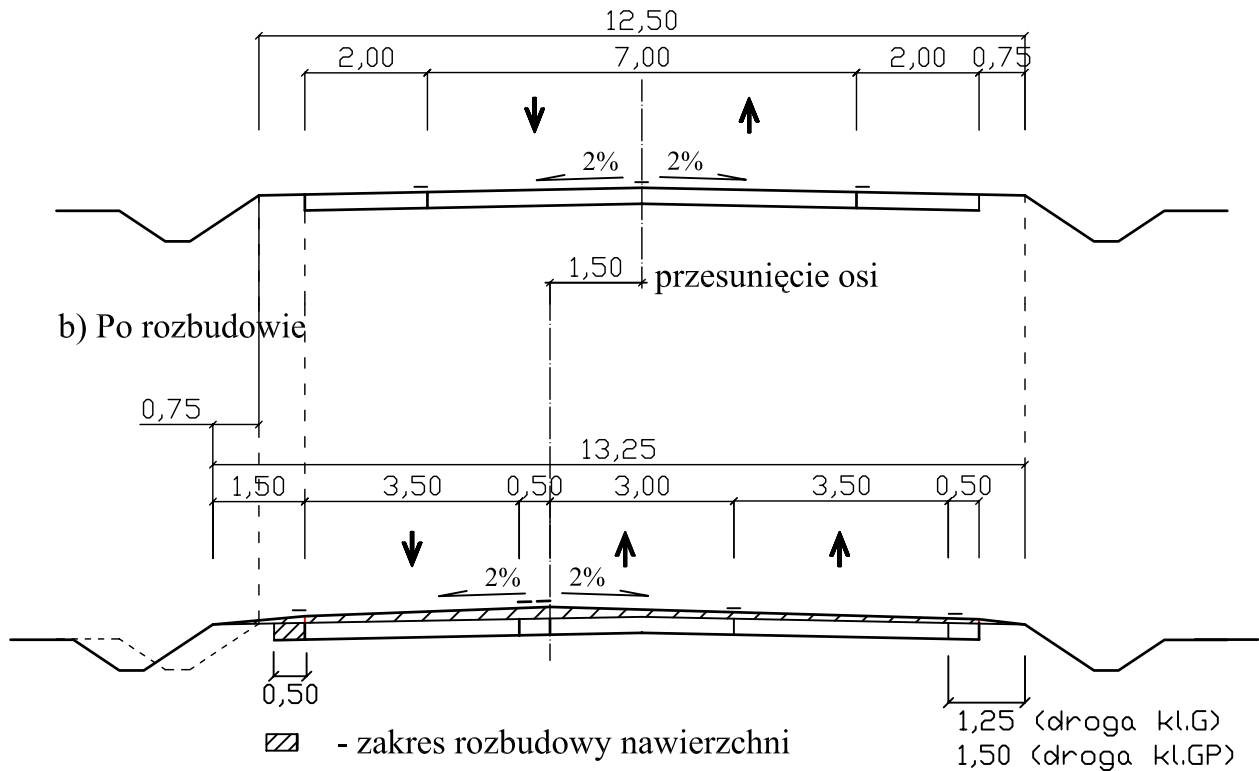
**Program D.** Rozbudowa drogi o pasy wyprzedzania, jeżeli jezdnia ma szerokość 7,00 m, a gruntowe pobocza mają szerokość 1,50 m (rys. 6.9).

*Zakres podstawowych robót w obrębie korony drogi zamieszczono w tabl. 5.4.*

*W wariancie I rozbudowy (rys. 6.9b) ani w obrębie klinów, ani też pasa wyprzedzania nie ma zmiany położenia osi jezdni (grzbietu jezdni). Na rys. 6.3b przedstawiono schemat planu sytuacyjnego drogi po rozbudowie oraz niezmienny przebieg osi jezdni rozdzielającej kierunki ruchu (grzbietu jezdni).*

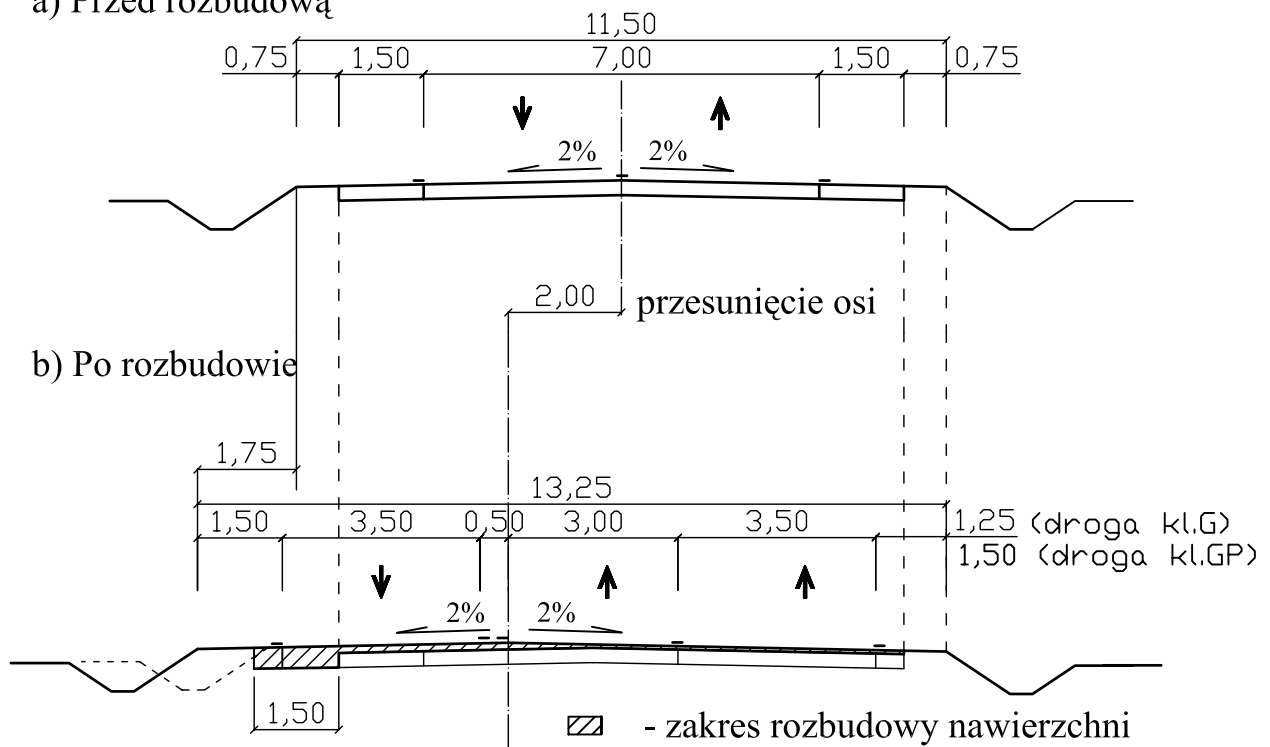
*W wariancie II rozbudowy (rys. 6.9c) następuje przesunięcie osi jezdni o 0,50 m; grzbiet jezdni występuje w obrębie zasadniczego pasa ruchu, ale roboty nawierzchniowe ograniczają się do jednej strony drogi.*

a) Przed rozbudową

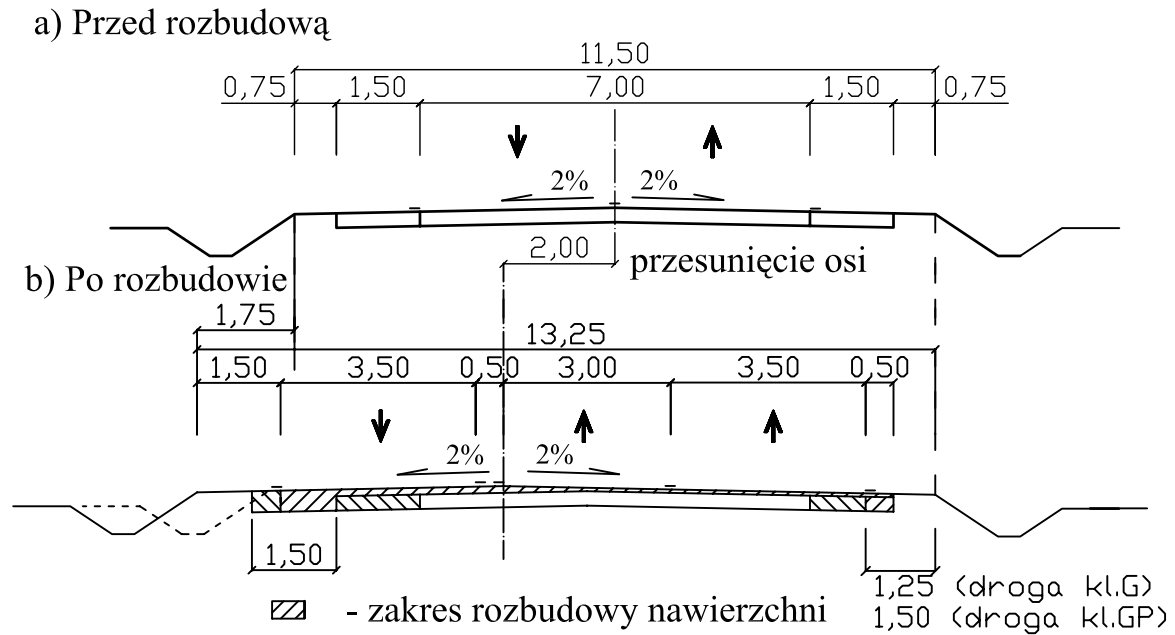


Rys. 6.6. Rozbudowa drogi z utwardzonymi poboczami o szerokości 2,00 m

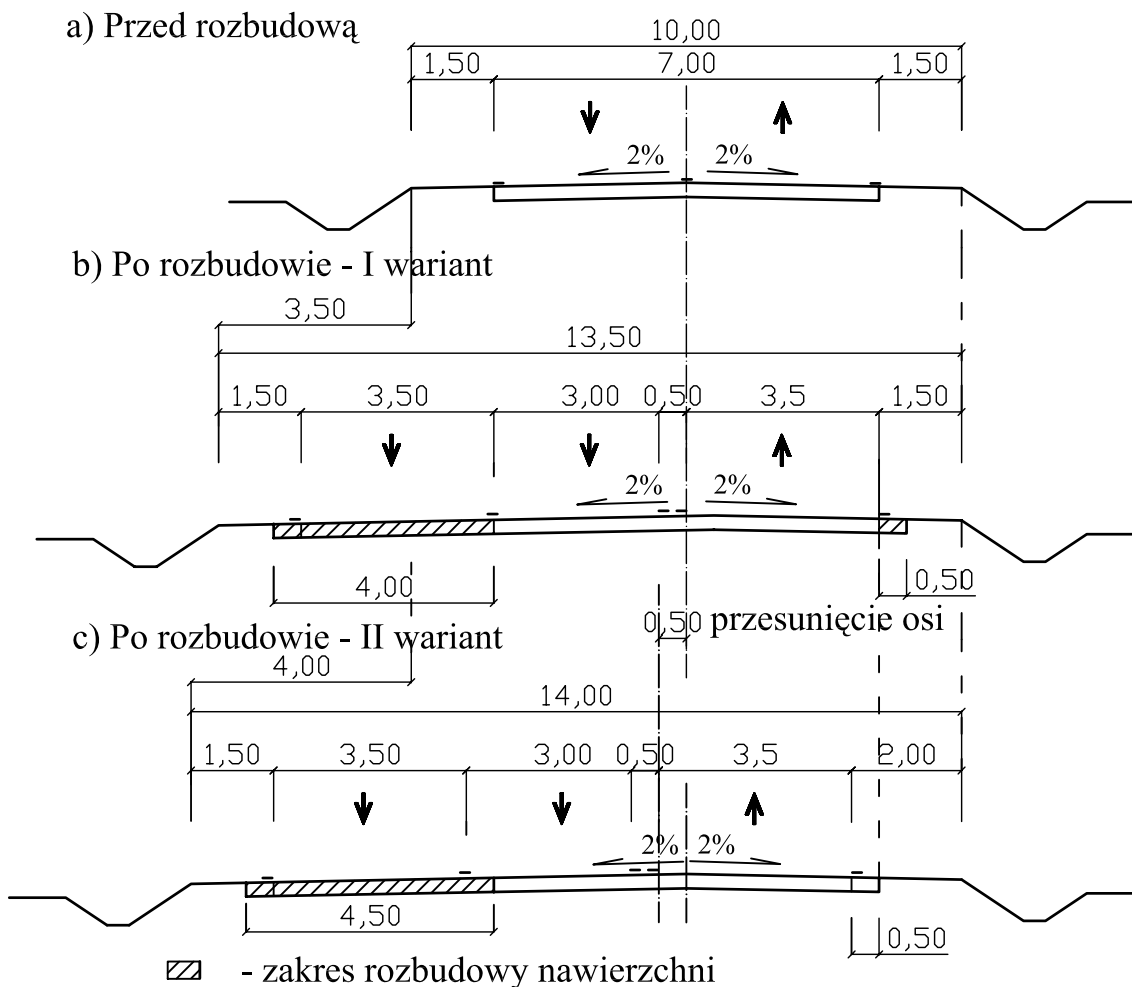
a) Przed rozbudową



Rys. 6.7. Rozbudowa drogi z utwardzonymi poboczami o szerokości 1,50 m



Rys. 6.8. Rozbudowa drogi z utwardzonymi poboczami o nawierzchni wymagającej wymiany



Rys. 6.9. Rozbudowa drogi z gruntowymi poboczami

### 6.3.2. PRZEKRÓJ POPRZECZNY NOWEJ DROGI 2+1 PASOWEJ

6.3.2.1. Przekroje poprzeczne drogi 2+1 pasowej klasy GP i G na prostym odcinku w planie sytuacyjnym są przedstawione na rys. 6.10. Na rysunku tym w nawiasach podano wymiary elementów przekroju poprzecznego drogi klasy G.

6.3.2.2. Część przekroju poprzecznego, do którego należy jeden pas ruchu ma niezależnie od klasy drogi pas ruchu o szerokości 3,50 m, opaskę zewnętrzną o szerokości 0,50 m oraz gruntowe pobocze o nawierzchni ulepszonej o szerokości nie mniejszej niż 1,00 m.

*Łącznie elementy te wraz z opaską środkową lub dostępną częścią pasa dzielącego stanowią korytarz umożliwiający:*

- *ominięcie pojazdu, który uległ awarii,*
- *wyprzedzenie wolno poruszającego się pojazdu,*
- *wykonywanie robót drogowych bez groźby zablokowania jednego kierunku ruchu,*
- *sporadyczny ruch pieszych i rowerzystów, o ile czasowo musi on odbywać się po poboczu.*

6.3.2.3. Na drodze o przekroju 2+1 pasowym do rozdzielenia pasa wyprzedzania od pasa przeznaczonego do ruchu w przeciwnym kierunku można zastosować:

- opaskę środkową (rys. 6.10a i b),
- pas dzielący z barierą ochronną (rys. 6.10c).

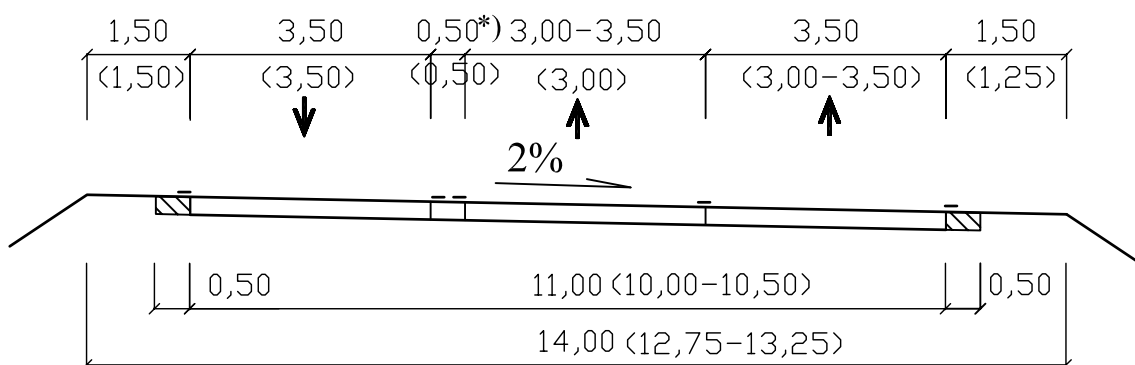
Szerokość, wyposażenie i konstrukcja powierzchni opaski środkowej powinna być zgodna z wymaganiami określonymi w pkt 6.3.1.5.

Pas dzielący z barierą ochronną można stosować w szczególności na nowej drodze o przekroju 2+1 pasowym, gdzie ze względu na ograniczenie dostępności drogi może występować nasilenie niedozwolonych przejazdów przez pas dzielący. Rodzaj i typ bariery ochronnej, a także szerokość pasa dzielącego powinny spełniać wymagania określone w [17] oraz [19] i zapewniać powstrzymanie źle skierowanego pojazdu przed wjechaniem na przeciwny pas ruchu i zderzeniem z pojazdem poruszającym się z przeciwnego kierunku ruchu.

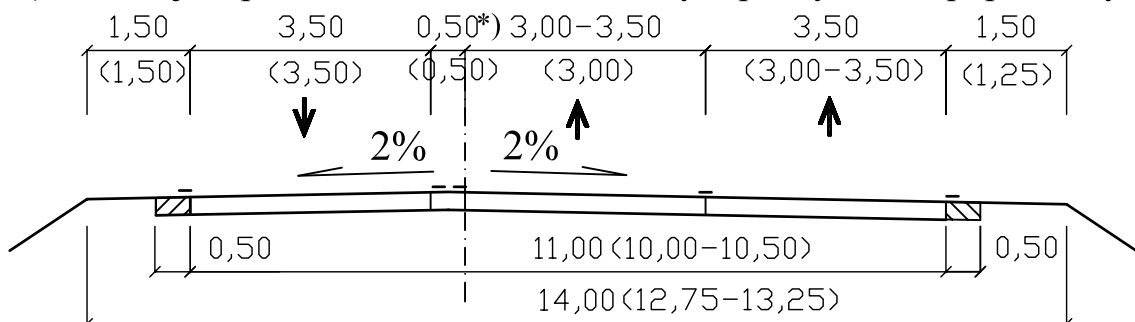
*Wybór poziomu powstrzymywania dla bariery ochronnej należy określić w zależności od największej dopuszczalnej prędkości samochodów osobowych na drodze oraz natężenia ruchu samochodów ciężarowych [17]. Poziom powstrzymywania umożliwia skoordynowanie rodzaju i typu przyjętej bariery ochronnej (szerokości pracującej bariery) z szerokością pasa dzielącego.*

**6.3.2.4.** Pochylenie poprzeczne jezdni na odcinku prostym lub na odcinku krzywoliniowym nie wymagającym przechyłki może być jednostronne (rys. 6.10a) lub dwustronne (rys. 6.10b). Zasady doboru wartości pochyłeń poprzecznych jezdni i poboczy na prostych i krzywoliniowych odcinkach dróg są określone w Warunkach technicznych [8].

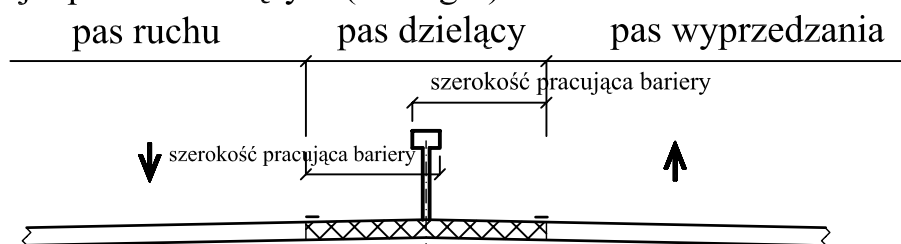
a) Przekrój z opaską środkową i jednostronnym pochyleniem poprzecznym



b) Przekrój z opaską środkową i dwustronnym pochyleniem poprzecznym



c) Przekrój z pasem dzielącym (szczegół)



\*) - szerokość opaski środkowej może być inna (pkt 6.3.1.5)

**Rys. 6.10. Przekroje poprzeczne drogi 2+1 pasowej**

Na drodze o przekroju 2+1 pasowym klasy GP nie obsługującej bezpośredniego otoczenia (ruch lokalny, pieszych, rowerzystów jest poza koroną drogi) zaleca się stosowanie jednostronnego pochylenia poprzecznego jezdni. Pochylenie to zaleca się także przy jednoetapowej budowie drogi o przekroju 2+1 pasowym. W pozostałych przypadkach, wybór dwustronnego czy jednostronnego pochylenia poprzecznego jezdni

*należy przeprowadzić na podstawie analizy uwzględniającej aspekty bezpieczeństwa ruchu, planowanego programu rozbudowy drogi, efektywności ekonomicznej, odwodnienia i utrzymania drogi oraz estetyki.*

**6.3.3.** Parametry przekroju poprzecznego pasa wyprzedzania na nowej drodze powinny być zgodne z wymaganiami określonymi w pkt 6.3.1.

## **6.4. WYMAGANIA WIDOCZNOŚCI**

**6.4.1.** Dla uzyskania wymaganego poziomu bezpieczeństwa ruchu, a także sprawnego funkcjonowania pasa wyprzedzania należy zapewnić:

- na zasadniczym pasie ruchu oraz na pasie wyprzedzania odległość widoczności na zatrzymanie przed przeszkodą określoną w §168 ust. 1 i ust. 2 Warunków technicznych [8],
- na zasadniczym pasie ruchu decyzyjną odległość widoczności przy zbliżaniu się do klina początkowego (rys.6.11),
- na pasie wyprzedzania decyzyjną odległość widoczności przy zbliżaniu się do klina końcowego (rys.6.12).

**6.4.2.** Przy ustalaniu wymagań widoczności na zatrzymanie, zgodnie z §168 ust. 1 i ust. 2, Warunków technicznych [8], jako prędkość miarodajną drogi z pasem wyprzedzania należy przyjąć:

$$V_m = V_p + 20 \text{ km/h} \quad \text{przy czym} \quad V_m \leq 110 \text{ km/h}$$

gdzie  $V_p$  – prędkość projektowa drogi [km/h].

**6.4.3.** Przy zbliżaniu się do klina początkowego (rys. 6.11) kierujący pojazdem powinien mieć zapewnioną widoczność tylnych świateł jadącego przed nim pojazdu, który sygnalizuje zamiar zmiany pasa ruchu w miejscu, gdzie klin początkowy osiąga największą szerokość, z odległości nie mniejszej niż decyzyjna odległość widoczności (tabl. 6.3).

Przy sprawdzaniu widoczności (rys. 6.11) należy przyjąć:

- cel obserwacji umieszczony w osi zasadniczego pasa ruchu na wysokości  $h_2=0,60$  m nad jezdnią (kierunkowskazy pojazdu),
- punkt obserwacyjny umieszczony na wysokości  $h_1=1,0$  m nad osią zasadniczego pasa ruchu.

**6.4.4.** Przy zbliżaniu się do klina końcowego (rys. 6.12) kierujący pojazdem powinien mieć zapewnioną widoczność krawędzi klina końcowego ograniczającej pas wyprzedzania z odległości nie mniejszej niż decyzyjna odległość widoczności (tabl. 6.3).



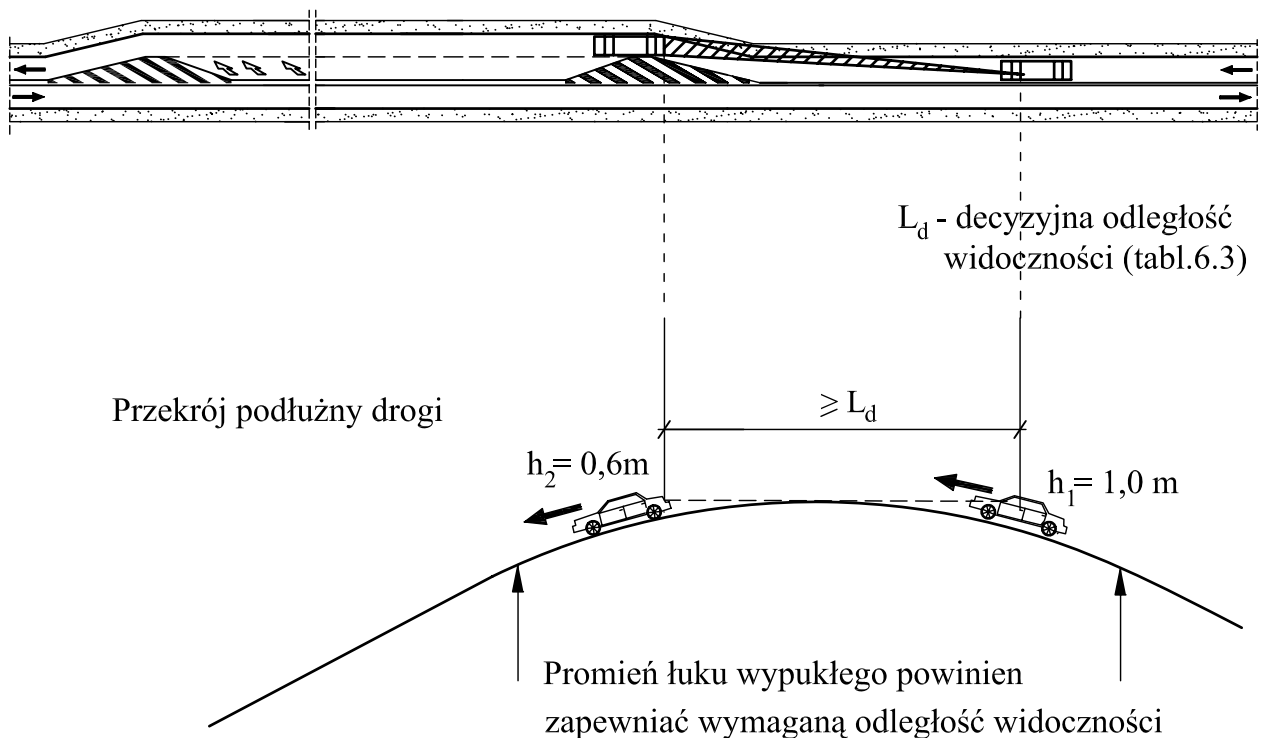
Tabl. 6.3. Decyzyjna odległość widoczności

Prędkość miarodajna drogi $V_m$ [km/h]	110	100	$\leq 90$
Decyzyjna odległość widoczności $L_d$ [m]	300	250	200

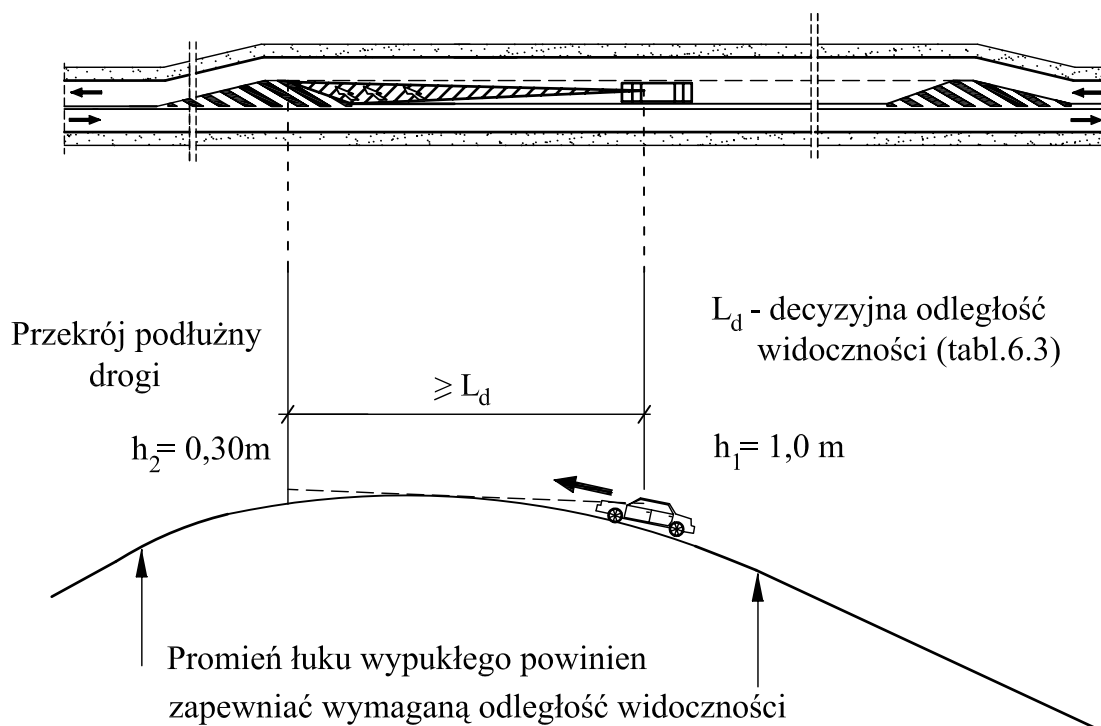
Decyzyjna odległość widoczności  $L_d$  jest to odległość, na której kierujący pojazdem poruszającym się na pasie wyprzedzania z prędkością miarodajną, może rozpoznać sytuację na zasadniczym pasie ruchu, przyspieszyć lub zwolnić, a następnie wykonać manewr zmiany pasa ruchu lub po nieudanej próbie zatrzymać się przed krawędzią klina końcowego, stanowiącego zakończenie pasa wyprzedzania.

Przy sprawdzaniu widoczności (rys. 6.12) należy przyjąć:

- cel obserwacji leżący na krawędzi klina końcowego w obrębie pasa wyprzedzania na wysokości  $h_2=0,30$  m,
- punkt obserwacyjny umieszczony na wysokości  $h_1=1,0$  m nad osią pasa wyprzedzania.



Rys. 6.11. Wymagania widoczności przy zbliżaniu się do klina początkowego



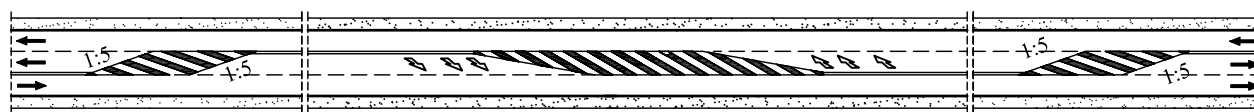
**Rys. 6.12. Wymagania widoczności przy zbliżaniu się do klina końcowego**

**6.4.5.** Na drodze o przekroju 2+1 pasowym (rys. 6.13a), a także na dwupasowej drodze dwukierunkowej ze sprzężonymi pasami wyprzedzania (rys. 6.13b), na których klin końcowy rozdziela pasy przeznaczone do ruchu w przeciwnych kierunkach, kierujący pojazdami powinni widzieć się wzajemnie z odległości nie mniejszej niż odległość widoczności na zatrzymanie zbliżających się do siebie pojazdów (rys. 6.13c). Odległość widoczności na zatrzymanie zbliżających się do siebie pojazdów jest sumą odległości widoczności na zatrzymanie określonych w §168 ust. 2 Warunków technicznych [8].

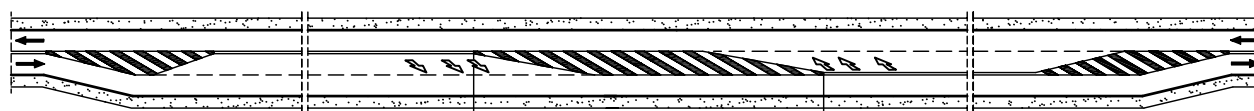
Przy sprawdzaniu widoczności należy przyjąć cel obserwacji, jak też punkt obserwacyjny umieszczone na wysokości  $h_1=h_2=1,0$  m nad osią pasa ruchu. Jeżeli wymagana odległość widoczności nie jest zapewniona, należy wydłużyć klin końcowy i zwiększyć promień łuku wypukłego lub zwiększyć długości pasów wyprzedzania tak, aby zachodziły na siebie (rys. 6.13d).

**6.4.6.** Wymaganych odległości widoczności określonych w pkt: 6.4.1 – 6.4.5 nie powinny ograniczać żadne przeszkody. Słupy oświetleniowe, pnie drzew, podpory znaków pionowych oraz urządzenia o szerokości do 1 m nie są przeszkodami, o ile ich liczba i rozmieszczenie nie stwarzają efektu przesłony.

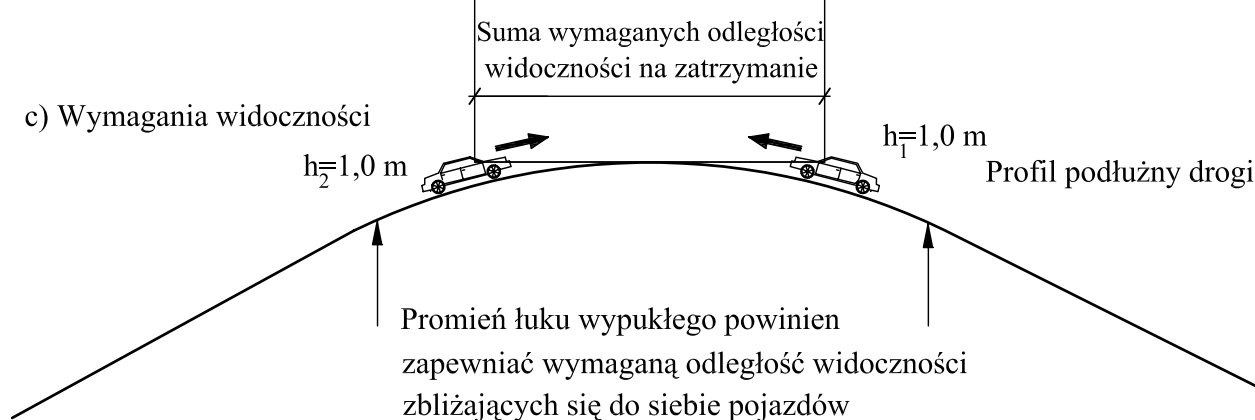
a) Droga o przekroju 2+1 pasowym



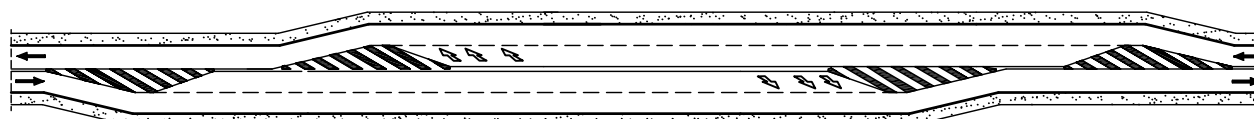
b) Sprężone pasy wyprzedzania



c) Wymagania widoczności



d) Zwiększone długości pasów wyprzedzania



**Rys. 6.13. Wymagania widoczności przy zbliżaniu się do klina końcowego sprężonych pasów wyprzedzania**

## 6.5. DOSTĘPNOŚĆ DROGI Z PASAMI WYPRZEDZANIA

**6.5.1.** Na drodze o przekroju 2+1 pasowym klasy S skrzyżowanie/węzeł może wystąpić tylko między rozsuniętymi klinami początkowymi (rys. 6.17 i 6.18); usytuowanie skrzyżowania/węzła między rozsuniętymi klinami końcowymi (rys. 6.19) jest dopuszczalne tylko przy rozbudowie drogi. Zatoki autobusowe można lokalizować tylko w obrębie skrzyżowania/węzła. Na skrzyżowaniu z zatokami autobusowymi należy ograniczyć prędkość do 70 km/h.

W obrębie pojedynczego pasa wyprzedzania (na wzniesieniu lub poza wzniesieniem) na drodze klasy S, klina początkowego i końcowego, nie należy lokalizować skrzyżowania/węzła oraz zatok autobusowych.

**6.5.2.** Droga o przekroju 2+1 pasowym klasy GP powinna być przeznaczona wyłącznie do ruchu pojazdów samochodowych (na drogach prowadzących ruch bezpośrednio do tej drogi należy stosować znak B-6/8/9 „zakaz wjazdu pojazdów innych niż samochodowe”), nie obsługiwać bezpośredniego zagospodarowania, a zjazdy indywidualne nie są dopuszczalne.

Skrzyżowanie lub zjazd publiczny na drodze klasy GP o przekroju 2+1 pasowym może występować między rozsuniętymi klinami początkowymi lub rozsuniętymi klinami końcowymi. Zatoki autobusowe można lokalizować tylko w obrębie skrzyżowania lub zjazdu publicznego. Na skrzyżowaniu/zjeździe publicznym z zatokami autobusowymi należy ograniczyć prędkość do 70 km/h.

W obrębie pojedynczego pasa wyprzedzania (na wzniesieniu lub poza wzniesieniem) na drodze klasy GP, klina początkowego i końcowego nie należy lokalizować skrzyżowania, zjazdu, przejścia dla pieszych, przejazdu dla rowerzystów oraz zatok autobusowych. Urządzenia przeznaczone do ruchu pieszych i rowerzystów powinny być usytuowane poza koroną drogi, a wyjątkowo dopuszcza się na poszerzonej koronie drogi za bocznym pasem dzielącym.

**6.5.3.** Droga o przekroju 2+1 pasowym klasy G może być przeznaczona dla wszystkich uczestników ruchu z wyłączeniem pieszych i rowerzystów. Urządzenia przeznaczone do ruchu pieszych i rowerzystów powinny być usytuowane poza koroną drogi, a wyjątkowo dopuszcza się na poszerzonej koronie drogi za bocznym pasem dzielącym. Na drodze tej, skrzyżowania oraz zjazdy (indywidualne i publiczne) mogą występować tylko między rozsuniętymi klinami początkowymi lub rozsuniętymi klinami końcowymi. Zatoki autobusowe można lokalizować tylko w obrębie skrzyżowania lub zjazdu. Na skrzyżowaniu z zatokami autobusowymi należy ograniczyć prędkość do 70 km/h.

W obrębie pojedynczego pasa wyprzedzania (na wzniesieniu lub poza wzniesieniem) na drodze klasy G, klina początkowego i końcowego nie należy lokalizować skrzyżowania, przejścia dla pieszych, przejazdu dla rowerzystów oraz zatok autobusowych. Urządzenia przeznaczone do ruchu pieszych i rowerzystów powinny być usytuowane poza koroną drogi lub na poszerzonej koronie drogi za bocznym pasem dzielącym.

Dopuszcza się pojedyncze zjazdy umożliwiające tylko prawe skręty usytuowane w obrębie pasa wyprzedzania po jego prawej stronie (po tej stronie jezdni, gdzie występują dwa pasy ruchu przeznaczone dla jednego kierunku).

## **6.6. SKRZYŻOWANIA, ZJAZDY I RUCH PIESZYCH NA DRODZE Z PASAMI WYPRZEDZANIA**

**6.6.1.** Zasady i ograniczenia lokalizacji skrzyżowania, zjazdu lub przejścia dla pieszych na odcinku drogi z pasami wyprzedzania są określone w pkt 6.5.

**6.6.2.** Pas wyprzedzania na wzniesieniu lub poza wzniesieniem powinien być zlokalizowany na odcinku drogi, na którym nie występują skrzyżowania/węzły. Zaleca się, aby pas wyprzedzania wraz z klinami i wymaganym polem widoczności (pkt 6.4.3) leżał poza obszarem oddziaływania poprzedzającego ten pas skrzyżowania/węzła.

*Zalecenie to ma na celu takie rozdzielenie skrzyżowania od początku pasa wyprzedzania, aby uczestnicy ruchu po opuszczeniu skrzyżowania mieli wystarczająco dużo czasu na rozpoznanie znaków informacyjnych o możliwościach wyprzedzania i podjęcie decyzji o sposobie dalszego poruszania się po drodze.*

Jeżeli jednak z lokalizacji pasa wyprzedzania na wzniesieniu (pkt 4.2) lub poza wzniesieniem (pkt 4.3) wynika, że w miejscu usytuowania klina początkowego lub w jego sąsiedztwie występuje skrzyżowanie, to należy klin początkowy i/lub skrzyżowanie przesunąć względem siebie tak, aby uzyskać rozwiązanie zgodne z warunkami określonymi na rys. 6.14.

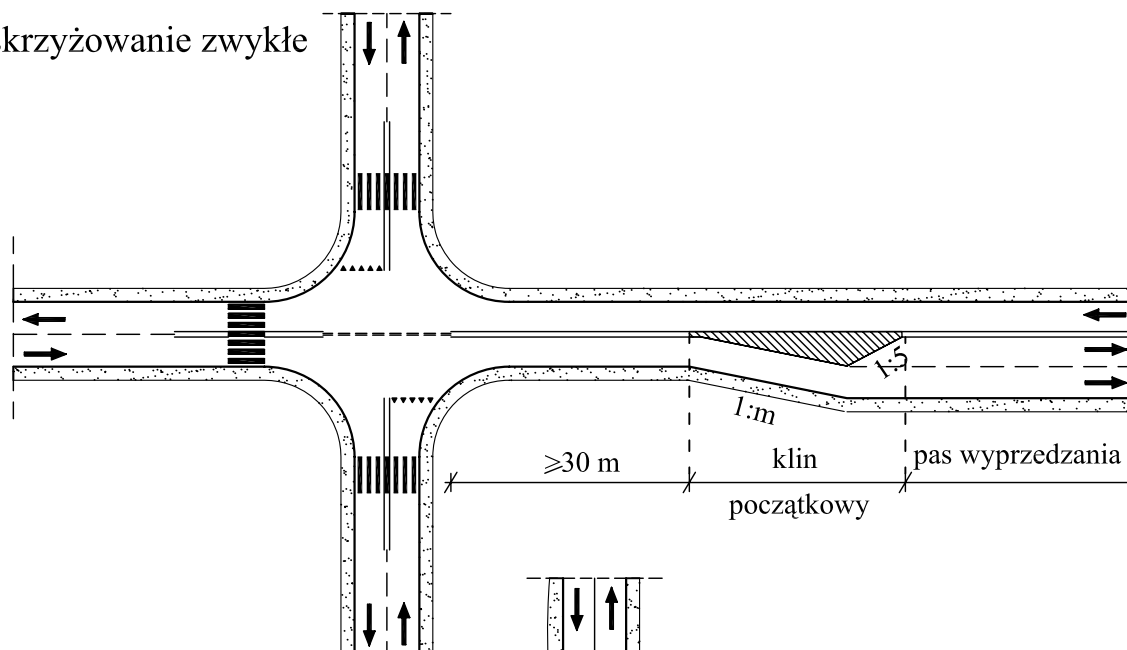
*Najmniejsze odległości zaznaczone na rys. 6.14 pozwalają rozpoznać znak D-13b „początek pasa ruchu na jezdni dwukierunkowej” zaraz po opuszczeniu skrzyżowania. Wówczas nie umieszcza się zalecanego znaku dodatkowego D-13b z tabliczką T-1a i napisem „200 m”, jeżeli kolidowałby on ze znakami informacyjnymi skrzyżowania.*

Na skrzyżowaniu z wlotem po tej samej stronie co pas wyprzedzania (rys. 6.14a i c) nie należy stosować dodatkowego pasa ruchu z prawej strony wylotu drogi z pierwszeństwem przejazdu, gdyż spowoduje on zwiększenie zagrożenia bezpieczeństwa ruchu na jednopasowym odcinku drogi przed początkiem pasa wyprzedzania.

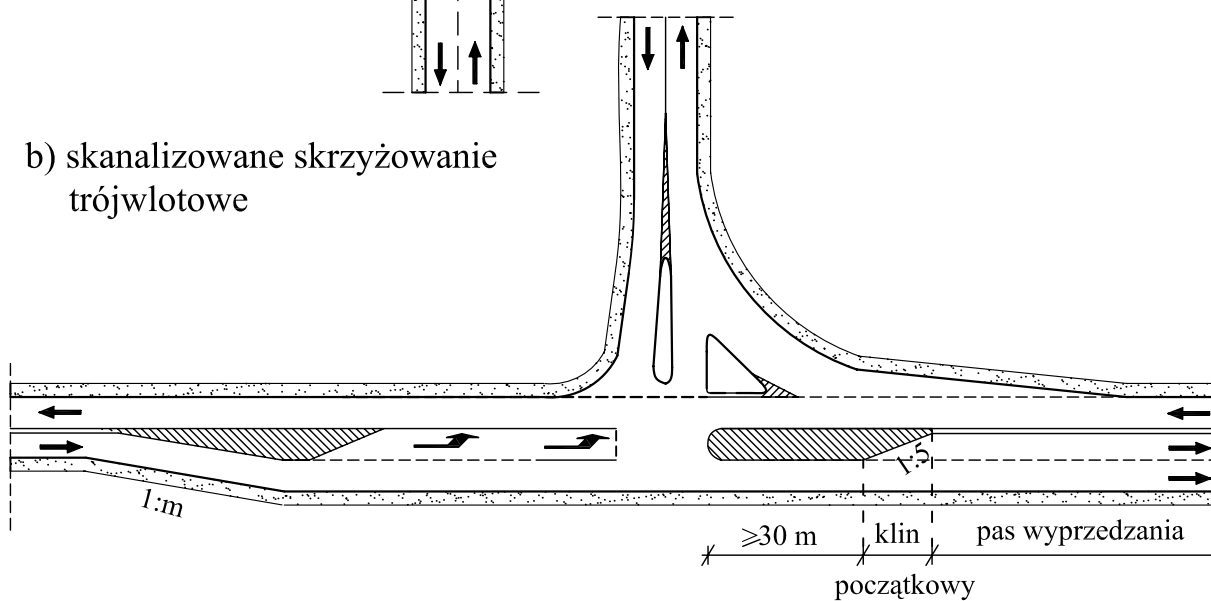
**6.6.3.** Na drodze klasy G w obrębie pasa wyprzedzania dopuszcza się pojedyncze zjazdy usytuowane po prawej stronie tego pasa (po tej stronie jezdni, gdzie są dwa pasy ruchu przeznaczone dla jednego kierunku). Na zjeździe takim mogą występować jedynie skręty w prawo. Zjazd powinien mieć wyspę trójkątną wyodrębnioną z jezdni. Nie zaleca się stosowania dodatkowego pasa ruchu do skrętów w prawo na drogę.

Zakazane relacje skrętne w lewo mogą być zrealizowane za klinem końcowym pasa wyprzedzania na samodzielnej jezdni do zawracania (rys. 6.15a) lub na takiej jezdni powiązanej ze skrzyżowaniem lub zjazdem (rys. 6.15b i 6.15c).

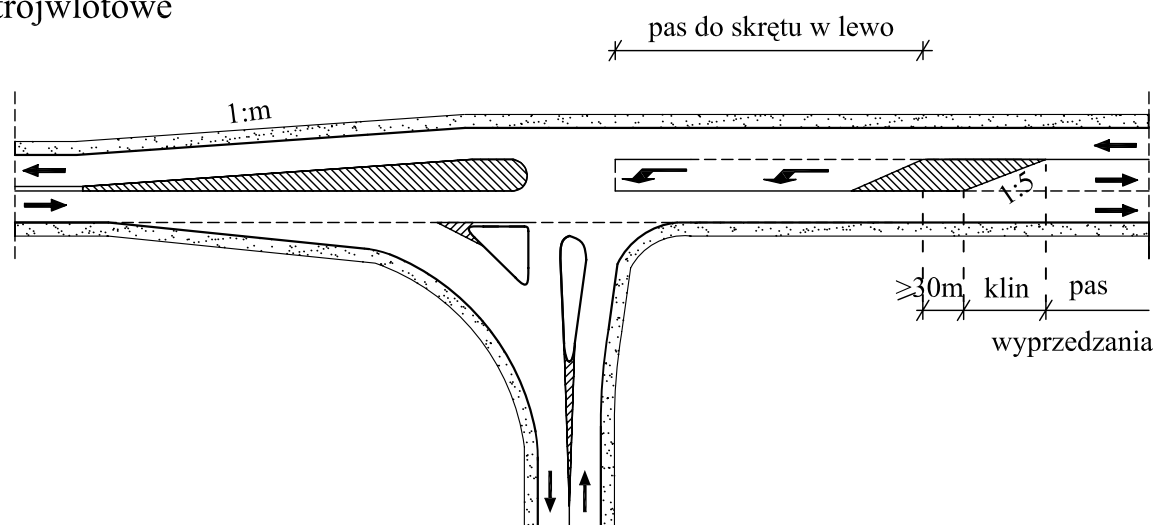
a) skrzyżowanie zwykłe



b) skanalizowane skrzyżowanie trójwlotowe



c) skanalizowane skrzyżowanie trójwlotowe



Rys. 6.14. Lokalizacja skrzyżowania przed klinem początkowym pasa wyprzedzania

*Nie zaleca się lokalizowania zjazdu blisko klinów początkowego i końcowego, gdyż w ich obrębie występuje duża intensywność manewrów zmian pasa ruchu. Jeżeli nie można uniknąć zjazdu na pasie wyprzedzania, to zaleca się jego umieszczenie w środkowej części tego pasa.*

*Parametry techniczne zjazdu na prawe skręty, a także jezdni do zawracania powinny spełniać wymagania określone w [8], [14].*

**6.6.4.** Lokalizacja skrzyżowania za pasem wyprzedzania powinna umożliwiać umieszczenie znaków kierunku przed wlotem skrzyżowania, zgodnie z wymaganiami określonymi w [7]. W szczególnych wypadkach i przy przebudowie drogi dopuszcza się lokalizację skrzyżowania za pasem wyprzedzania w odległości nie mniejszej niż określona na rys. 6.16.

*Najmniejsze odległości skrzyżowania od pasa wyprzedzania określone na rys. 6.16 nie są wystarczające do umieszczenia znaków kierunku zgodnie z przepisami wykonawczymi do ustawy Prawo o ruchu drogowym [7].*

**6.6.5.** Skrzyżowanie na drodze o przekroju 2+1 pasowym może być zlokalizowane między rozsuniętymi klinami początkowymi (rys. 6.17).

*Zaleca się lokalizowanie skrzyżowania między rozsuniętymi klinami początkowymi.*

*Dojazdy do takiego skrzyżowania są jednopasowe, co zapewnia spowolnienie ruchu na skrzyżowaniu. Dzięki temu, skrzyżowanie to:*

- jest zrozumiałe,*
- jest proste i zajmuje małą powierzchnię,*
- nie sprawia trudności w czytelnym oznakowaniu,*
- zapewnia łatwy wyjazd z zatoki autobusowej.*

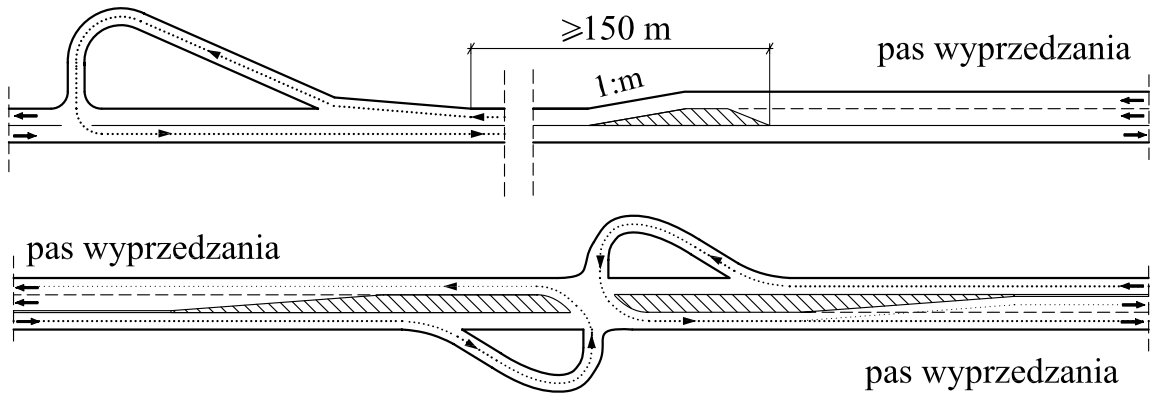
Na skrzyżowaniu (rys. 6.17) nie należy stosować dodatkowego pasa ruchu po prawej stronie wylotu drogi z pierwszeństwem przejazdu.

Węzeł typu WB na drodze o przekroju 2+1 pasowym między rozsuniętymi klinami początkowymi ma najczęściej przedłużone pasy włączania, co zapewnia bezpieczne wyprzedzanie na dwóch pasach ruchu zlokalizowanych po obu stronach węzła (rys. 6.18).

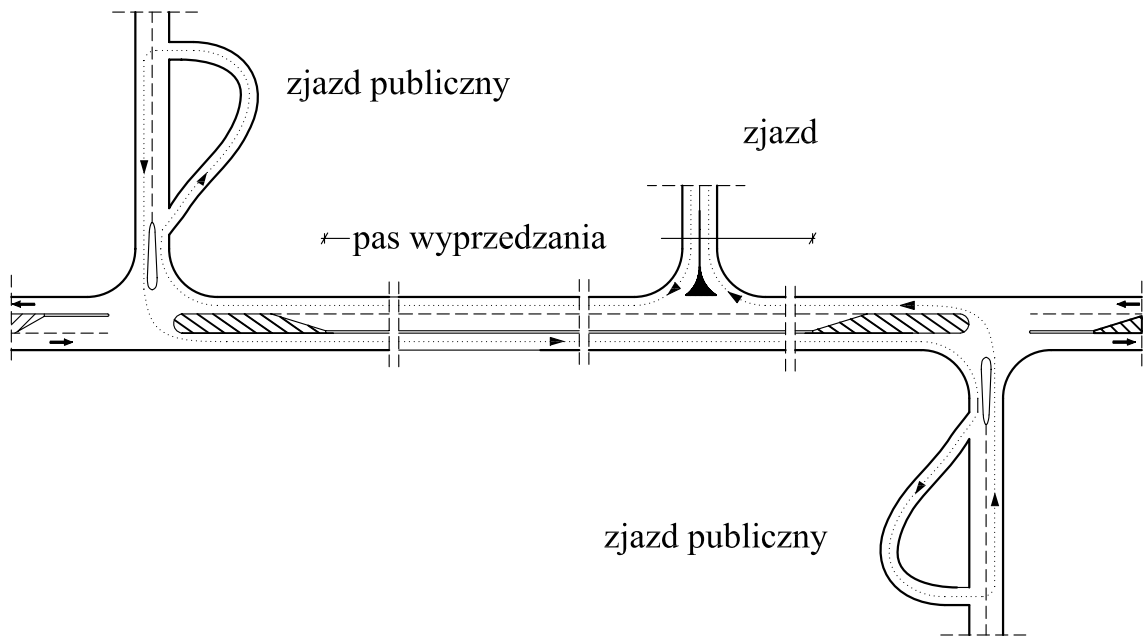
*Rozwiązanie to jest zrozumiałe dzięki prostej konstrukcji i uproszczonej organizacji ruchu (znaku D-13b nie stosuje się) oraz efektywne, gdyż umożliwia wyprzedzanie na dłuższym odcinku drogi niż klasyczny pas wyprzedzania.*

Umożliwienie zawracania:

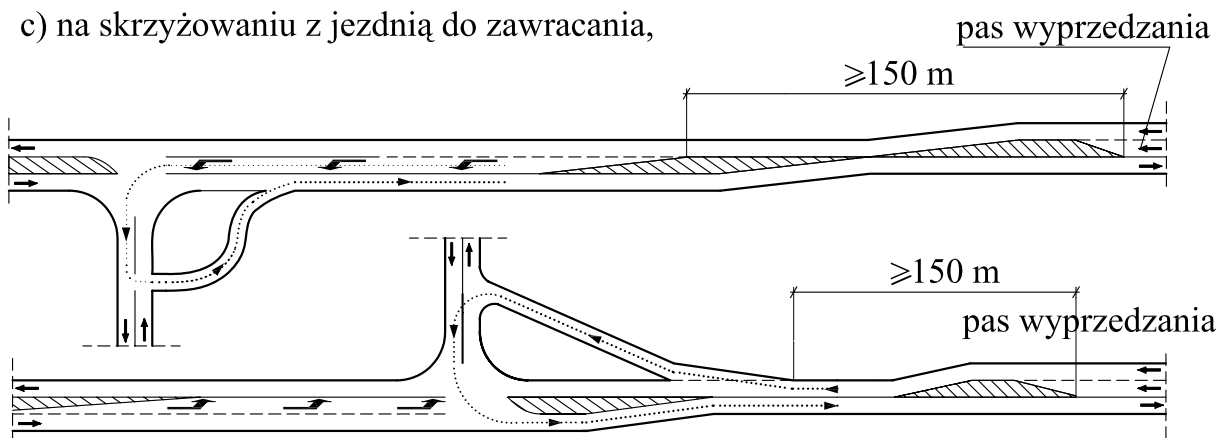
a) na samodzielnej jezdni do zawracania,



b) na zjeździe i samodzielnej jezdni do zawracania,



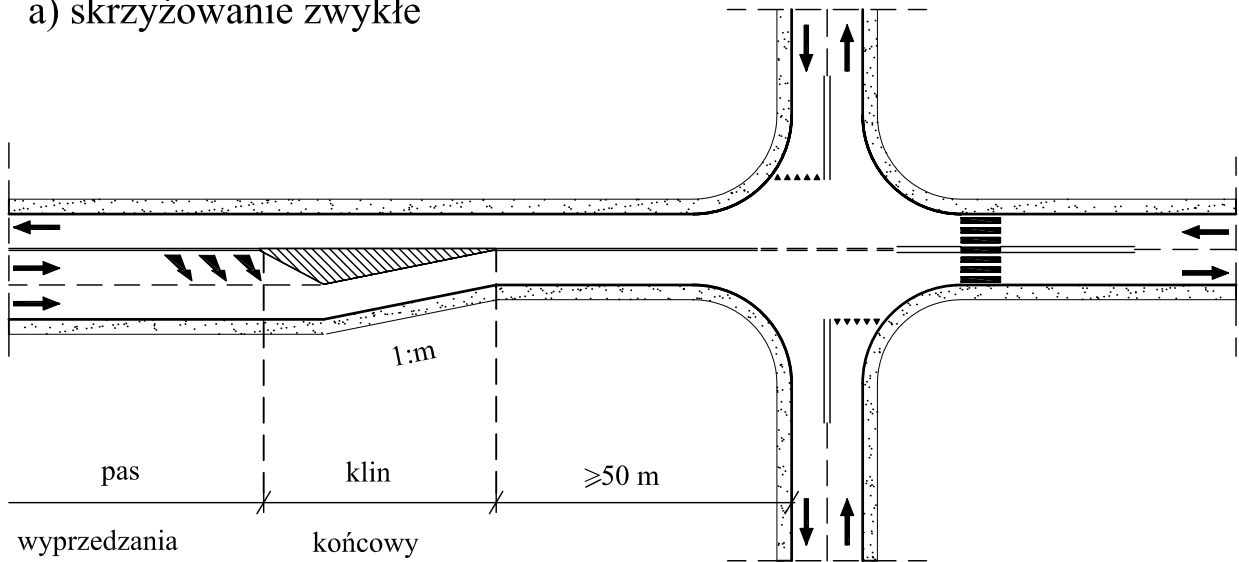
c) na skrzyżowaniu z jezdnią do zawracania,



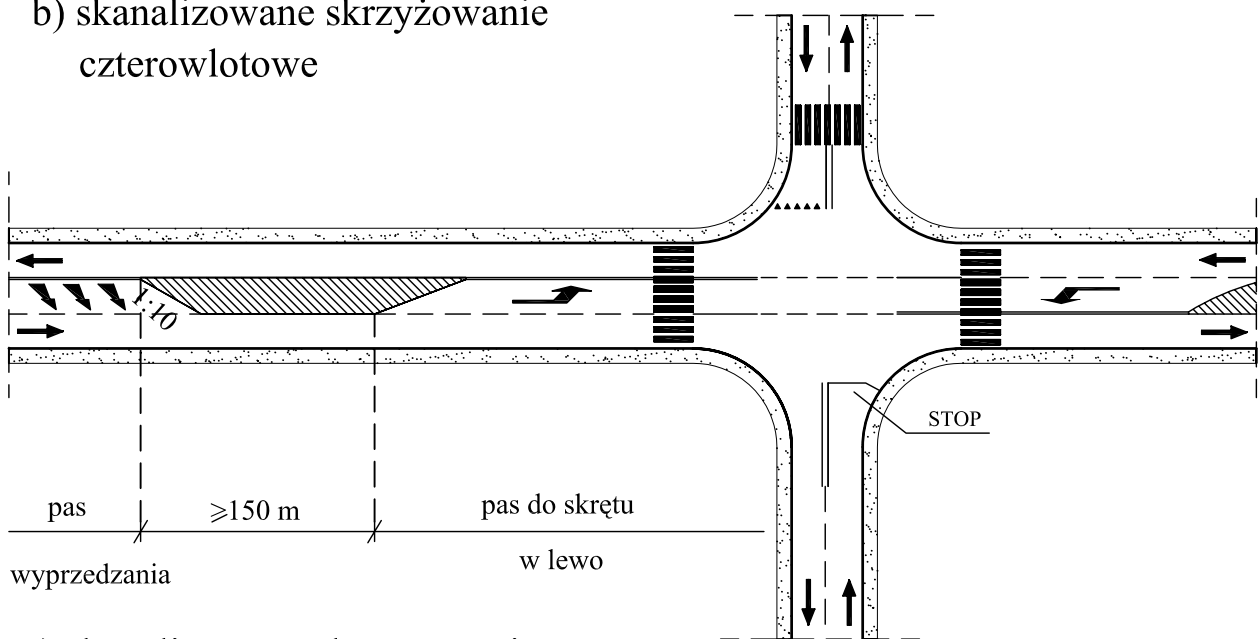
Rys. 6.15. Sposoby umożliwienia zawracania za pasem wyprzedzania



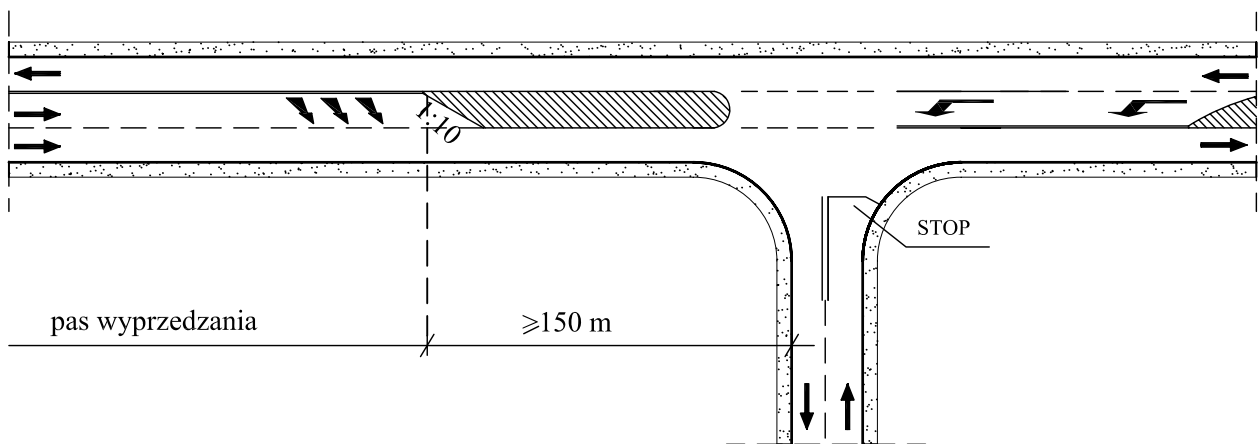
a) skrzyżowanie zwykłe



b) skanalizowane skrzyżowanie czterowlotowe



c) skanalizowane skrzyżowanie trójwlotowe



Rys. 6.16. Lokalizacja skrzyżowania za pasem wyprzedzania

*Wadami tego rozwiązania jest przejście zasadniczego pasa ruchu za węzłem w dodatkowy pas oraz wzmożone manewry zmiany pasa ruchu. Jednak pozytywne doświadczenia zagraniczne wskazują, że przy przestrzeganiu zasady jazdy blisko prawej krawędzi jezdni wady te nie mają żadnego znaczenia.*

**6.6.6.** Skrzyżowanie/węzeł na drodze o przekroju 2+1 pasowym może być zlokalizowane między rozsuniętymi klinami końcowymi (rys. 6.19), z wyłączeniem drogi klasy S (pkt 6.5.1).

*Na dojazdach do skrzyżowania/węzła następuje redukcja liczby pasów ruchu z dwóch do jednego, co jest przyczyną dodatkowych zaburzeń w przepływie ruchu na wlotach skrzyżowania/węzła.*

**6.6.7.** Zatoki autobusowe, przejścia dla pieszych oraz przejazdy dla rowerzystów mogą być usytuowane na skrzyżowaniu lub zjeździe. Zasady lokalizacji skrzyżowania lub zjazdu na drodze o przekroju 2+1 pasowym oraz na odcinku drogi z pasem wyprzedzania są określone w pkt 6.5.

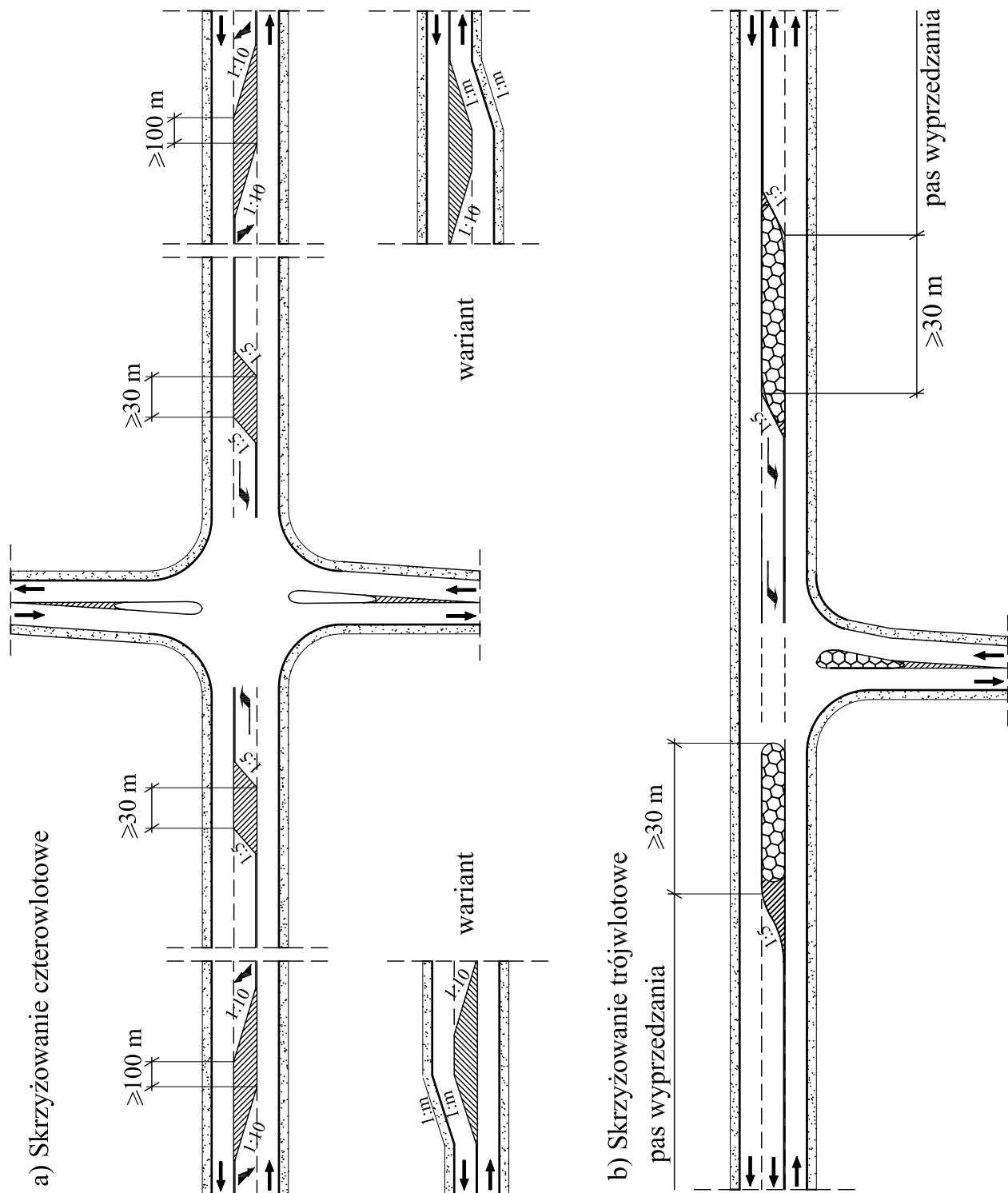
## **6.7. ZASADY ORGANIZACJI RUCHU I OZNAKOWANIA**

**6.7.1.** Oznakowanie pionowe i poziome pasa wyprzedzania ma istotny wpływ na bezpieczne i sprawne jego funkcjonowanie.

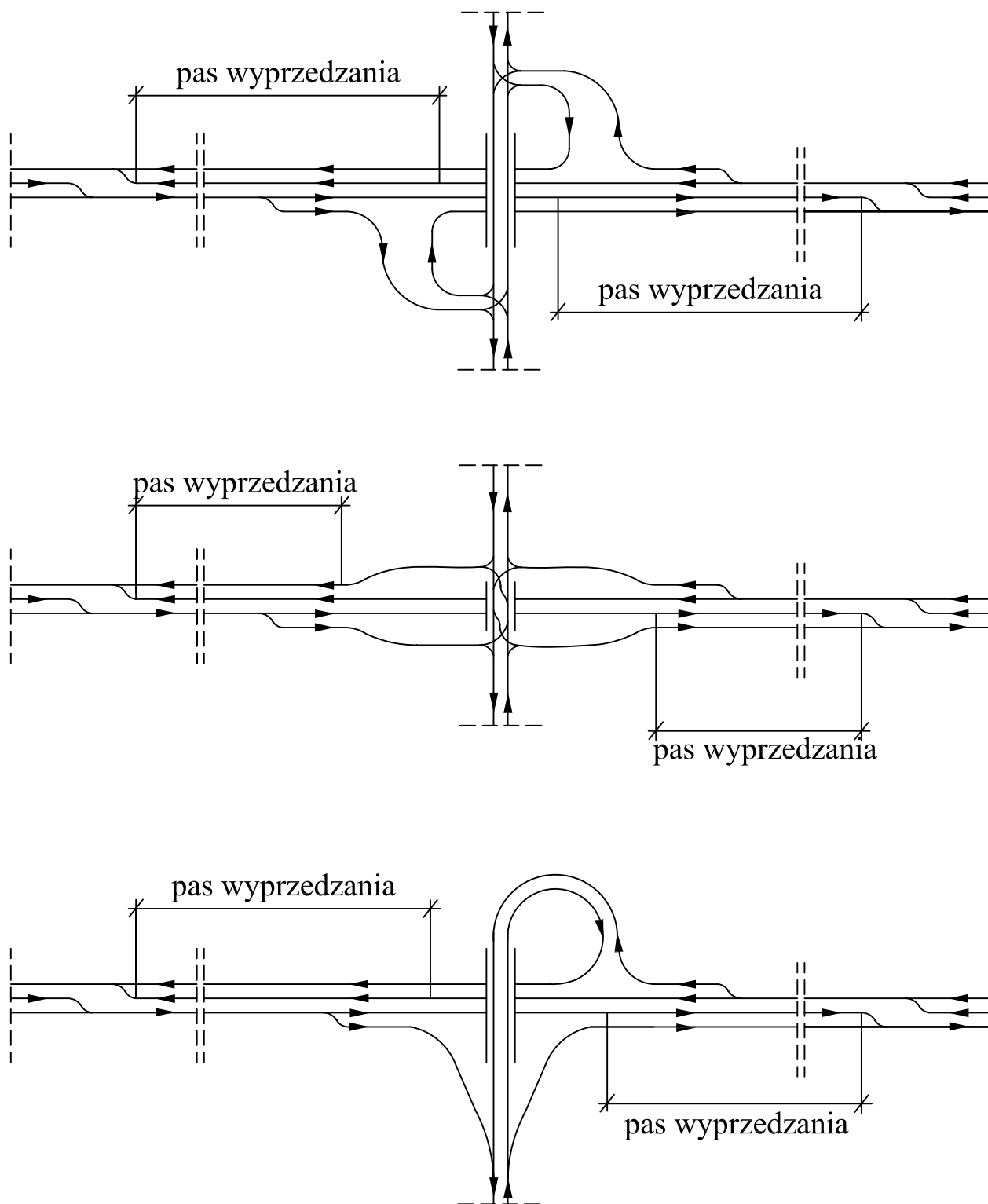
*Bezpieczeństwo ruchu oraz efektywność pasa wyprzedzania zależą od tego, w jakim stopniu środkami organizacji ruchu uda się nakłonić kierujących pojazdami do jazdy prawym pasem, korzystania z lewego pasa tylko do wyprzedzania oraz zakończenia wyprzedzania przed klinem końcowym. Istotne jest również cykliczne informowanie kierujących pojazdami na jednopasowym odcinku drogi o przekroju 2+1 pasowym o zbliżającej się możliwości bezpiecznego wyprzedzania.*

**6.7.2.** Warunki umieszczania znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego na pasie wyprzedzania określają przepisy wykonawcze do ustawy Prawo o ruchu drogowym [6], [7].

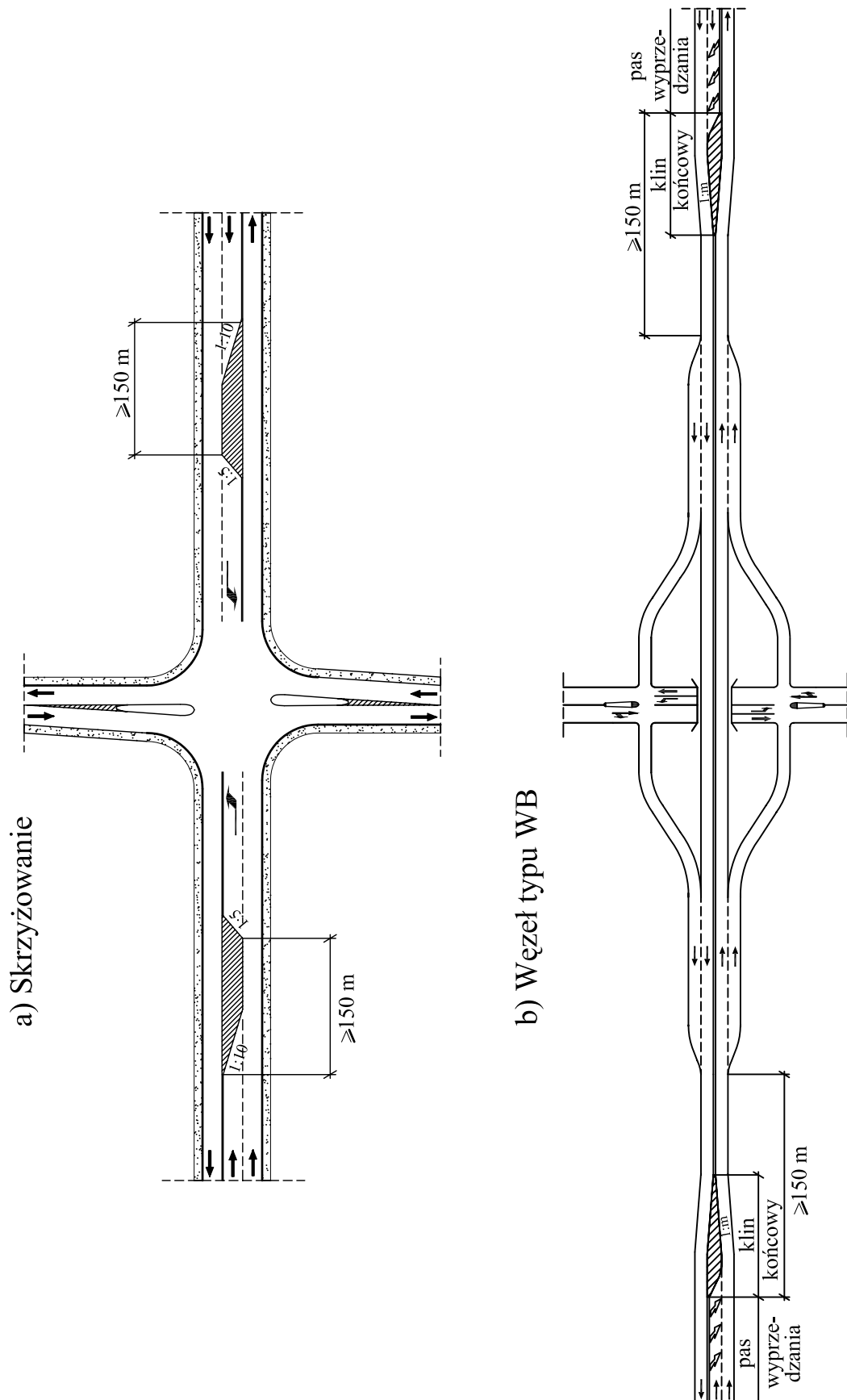
**6.7.3.** Przykład oznakowania odcinka dwupasowej jezdni dwukierunkowej z utwardzonymi poboczami, na którym zastosowano pas wyprzedzania, pokazano na rys. 6.20 (wkładka po str.70).



Rys. 6.17. Lokalizacja skrzyżowania na drodze o przekroju 2+1 pasowym między rozsuniętymi klinami początkowymi



Rys. 6.18. Węzły typu WB między rozsuniętymi klinami początkowymi (przykłady)



Rys. 6.19. Lokalizacja skrzyżowania i węzła na drodze o przekroju 2+1 pasowym między rozsuniętymi klinami końcowymi

## 7. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE

### 7.1. Przykład nr 1: Analiza celowości wprowadzenia pasów wyprzedzania na istniejącym ciągu drogowym

#### Dane:

- długość ciągu drogowego  $L = 40$  km,
- dwupasowa droga dwukierunkowa ma jezdnię o szerokości 7,00 m,
- udział odcinków z możliwością wyprzedzania w zadanym kierunku wynosi  $PW1 = 0,2$  (20% długości całego ciągu drogowego), a w kierunku przeciwnym  $PW2 = 0,4$ ,
- rozbudowę ciągu drogowego można prowadzić w latach 2005 - 2006,
- na ciągu drogowym występuje ruch o gospodarczym charakterze,
- z pomiarów ruchu oraz prognoz wynika następujący średni dobowy ruch w obu kierunkach ( $SDR$ ):
  - ➔ w 2007 roku  $SDR = 7\ 000$  P/dobę,
  - ➔ w 2016 roku  $SDR = 12\ 000$  P/dobę,
  - ➔ w 2026 roku  $SDR = 18\ 000$  P/dobę.

#### Rozwiązanie:

#### I. Analiza celowości wprowadzenia pasów wyprzedzania na ciągu drogowym ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa ruchu

##### 1. Wyznaczenie miarodajnego ruchu godzinowego $Q$

Jako miarodajny ruch godzinowy  $Q$  należy przyjąć natężenie w 50-tej godzinie w 10-tym roku po oddaniu etapu rozbudowy drogi do użytkowania.

Na podstawie [15, tabl. 20] ustalono, że prognozowany miarodajny ruch godzinowy  $Q_{50}$  na analizowanym ciągu drogowym będzie wynosić:

- w 2007 r.  $Q_{50} = 7\ 000 \cdot 0,095 = 665$  P/h, a w jednym kierunku ruchu  $Q = 332$  P/h,
- w 2016 r.  $Q_{50} = 12\ 000 \cdot 0,085 = 1020$  P/h, a w jednym kierunku ruchu  $Q = 510$  P/h,
- w 2026 r.  $Q_{50} = 18\ 000 \cdot 0,085 = 1530$  P/h, a w jednym kierunku ruchu  $Q = 765$  P/h.

##### 2. Ustalenie docelowego zakresu rozbudowy ciągu drogowego

W celu wstępnego określenia docelowego zakresu przebudowy ciągu drogowego wykorzystano wykres na rys. 7.1. Prognozowane natężenie ruchu ( $SDR$ ) w 2026 r. wynoszące 18 000 P/dobę

wskazuje, że koncepcja rozbudowy istniejącego ciągu drogowego do parametrów drogi o przekroju 2+1 pasowym może być zaakceptowana. Jak wynika z rys. 7.1, droga o przekroju 2+1 pasowym może przenieść ruch o znacznie większym natężeniu, bo sięgającym 25 000 P/dobę. Z praktyki zagranicznej wynika, że na drogach o przekroju 2+1 pasowym obserwowano dobowe natężenia ruchu sięgające 30 000 P/dobę, a w godzinie szczytu w jednym kierunku 1 200 –1 400 P/h.

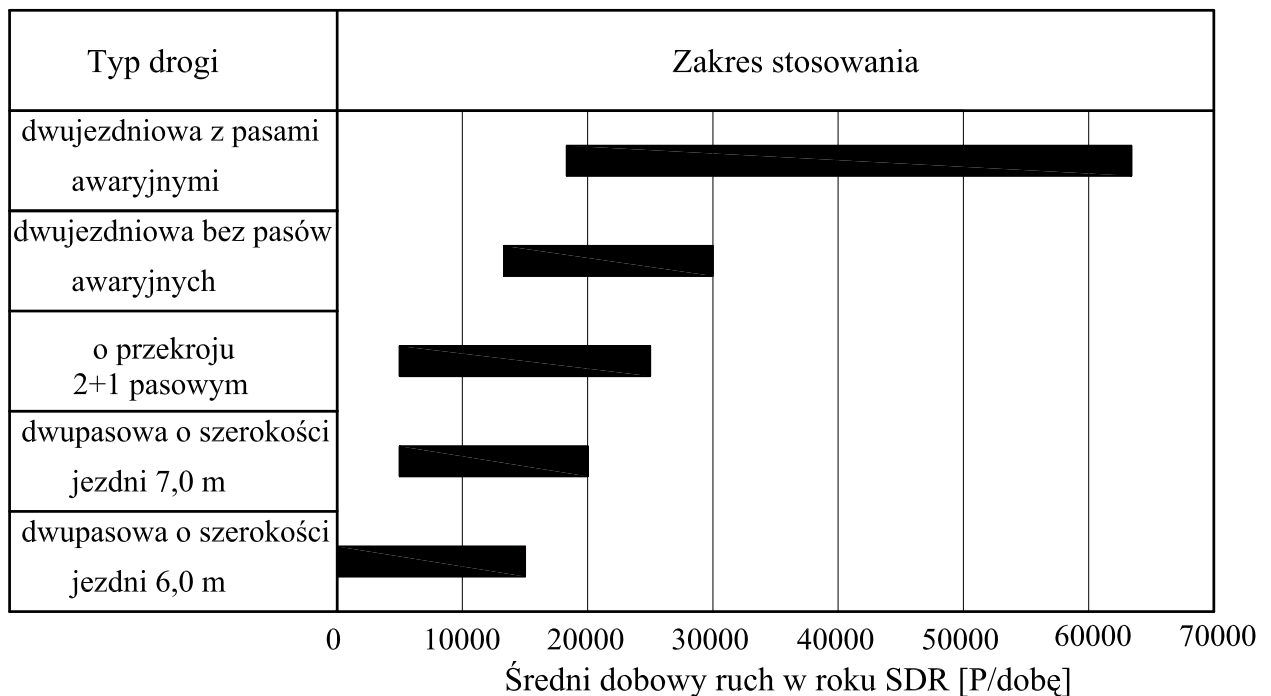
Docelowy zakres rozbudowy można uściślić postępując zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 4.2, w odniesieniu do prognozowanego natężenia ruchu w 2026 r.

W zadanym kierunku ruchu:

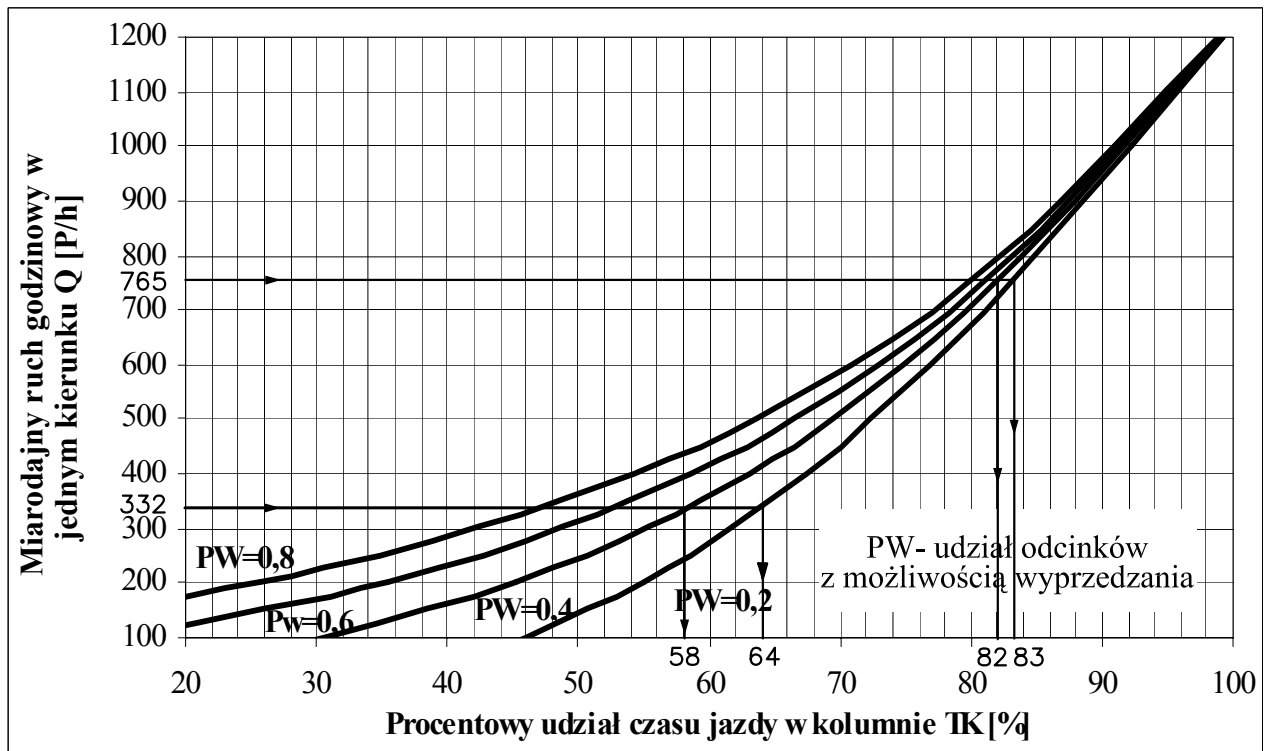
dla  $Q = 765$  P/h i  $PW1 = 0,2$  - z wykresu na rys. 7.2 wyznaczono procentowy udział czasu jazdy w kolumnie  $TK = 83\%$ ,

w przeciwnym kierunku ruchu:

dla  $Q = 765$  P/h i  $PW2 = 0,4$  - z wykresu na rys. 7.2 uzyskano  $TK = 82\%$ .



**Rys. 7.1. Zakres stosowania wybranych przekrojów poprzecznych dróg [21]**



Rys. 7.2. Ustalenie procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie *TK* (rys. 4.1 Instrukcji)

Wartości *TK* znacznie przekraczają 65%, a więc wprowadzenie pasów wyprzedzania jest uzasadnione (rys. 4.2). Pasy wyprzedzania powinny zredukować procentowy udział czasu jazdy w kolumnie *TK* do dopuszczalnego poziomu 65%. Redukcja procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie *RTK* w zadanym kierunku powinna wynieść:

$$RTK = [(83-65) / 83] \cdot 100\% = 21,7 \%,$$

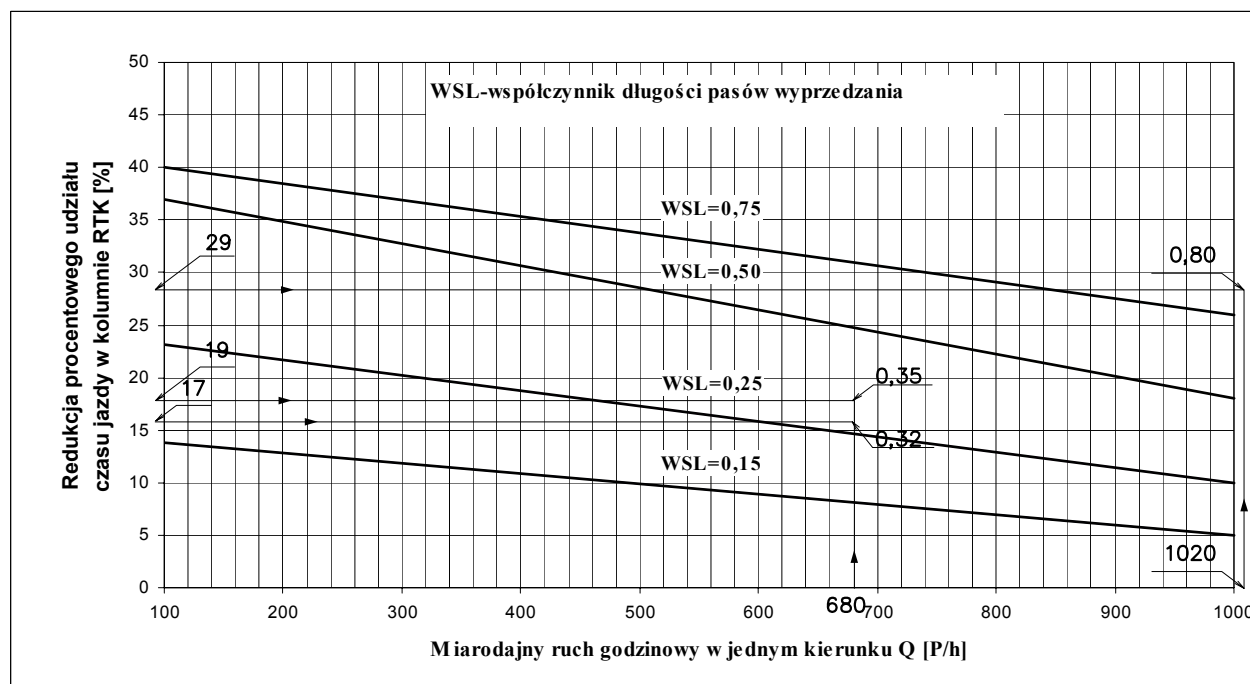
a na podstawie rys. 7.3 dla  $Q = 765$  P/h i  $RTK = 21,7\%$  można określić współczynnik sumy długości pasów wyprzedzania  $WSL = 0,425$ .

Podobnie, redukcja procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie *RTK* w przeciwnym kierunku ruchu powinna wynieść:

$$RTK = [(82-65) / 82] \cdot 100\% = 20,7 \%,$$

a wykorzystując rys. 7.3 dla  $Q = 765$  P/h i  $RTK = 20,7\%$  można określić współczynnik sumy długości pasów wyprzedzania  $WSL = 0,40$ .





Rys. 7.3. Ustalenie współczynnika sumy długości pasów wyprzedzania  $WSL$  (rys. 4.3 Instrukcji)

Wartości  $WSL$  mieszczą się w przedziale 0,25 - 0,50 co oznacza (rys. 4.2), że ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa ruchu jest uzasadniona docelowa rozbudowa analizowanego ciągu drogowego do drogi o przekroju 2+1 pasowym. Rozbudowa ta może odbywać się etapami w dostosowaniu do wzrastającego natężenia ruchu, ale rozmieszczenie pasów wyprzedzania w kolejnych etapach powinno być zgodne z naprzemiennym układem pasów wyprzedzania tak usytuowanych, aby docelowo uzyskać drogę o przekroju 2+1 pasowym.

Ustalenie zakresu rozbudowy istniejącego ciągu drogowego w 2007 i 2016 r. przeprowadzono zgodnie ze schematem postępowania przedstawionym na rys. 4.2.

### 3. Wyznaczenie procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie $TK$

Wykorzystując rys. 7.2 wyznaczono wartości  $TK$  dla kolejnych horyzontów czasowych.

W 2007 r.:

w kierunku zadanym dla  $Q = 332$  P/h i  $PW1 = 0,2$  uzyskano  $TK = 64\%$ ,

w kierunku przeciwnym dla  $Q = 332$  P/h i  $PW2 = 0,4$  uzyskano  $TK = 58\%$ .

Ponieważ procentowy udział czasu jazdy w kolumnie  $TK$  jest mniejszy niż 65%, to przy miarodajnym ruchu godzinowym w 2007 r. nie są potrzebne pasy wyprzedzania na ciągu drogowym. Należy jednak zaznaczyć, że wartości  $TK$  są zbliżone do granicznego poziomu 65%, a więc już w następnych latach warunki ruchu nie będą zadawalające (według  $HCM-2000$  wystąpi poziom swobody ruchu  $D$ ).

W 2016 r.:

w kierunku zadanym dla  $Q = 610$  P/h i  $PW1 = 0,2$  uzyskano  $TK = 77\%$ ,

w kierunku przeciwnym dla  $Q = 610$  P/h i  $PW2 = 0,4$  uzyskano  $TK = 75\%$ .

Ponieważ w 2016 r. procentowy udział czasu jazdy w kolumnie  $TK$  na drodze znacznie przekracza 65%, to jest uzasadniona jej rozbudowa o pasy wyprzedzania. Ze wzrostu natężenia ruchu wynika, że pasy wyprzedzania należy przekazać do użytkowania w 2007 r., a ich długość powinna być taka, aby przez 10 lat (a więc do 2016 r.) wartość  $TK$  nie przekraczała 65%.

#### 4. Określenie sumy długości pasów wyprzedzania przewidzianych do budowy w 2007 r.

Przewidziane do budowy pasy wyprzedzania powinny zredukować procentowy udział czasu jazdy w kolumnie  $TK$  do dopuszczalnego poziomu 65% w ciągu 10 lat ich użytkowania (a więc do 2016 r.). Redukcja procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie  $RTK$  w zadanym kierunku ruchu powinna wynosić:

$$RTK = [(77-65) / 77] \cdot 100\% = 16\%.$$

Wykorzystując rys. 7.3 dla  $Q = 510$  P/h i  $RTK = 16\%$  można określić współczynnik sumy długości pasów wyprzedzania  $WSL = 0,23$ ,

a suma długości pasów wyprzedzania będzie  $SL = 0,23 \cdot 40 = 9,2$  km.

Podobnie redukcja procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie  $RTK$  w kierunku przeciwnym będzie wynosić:

$$RTK = [(75-65) / 75] \cdot 100\% = 13\%.$$

Wykorzystując rys. 7.3 dla  $Q = 510$  P/h i  $RTK = 13\%$  można określić współczynnik sumy długości pasów wyprzedzania  $WSL = 0,18$ ,

a suma długości pasów wyprzedzania będzie  $SL = 0,18 \cdot 40 = 7,2$  km.

Z wartości współczynników sumy długości pasów wyprzedzania ( $WSL < 0,25$ ; rys. 4.2) wynika, że pasy te będą funkcjonować samodzielnie i niezależnie od siebie. Jednak odstępy między sąsiednimi pasami przeznaczonymi dla jednego kierunku ruchu powinny być zbliżone do 3-krotnej długości pasa, co umożliwi uzyskanie docelowo drogi o przekroju 2+1 pasowym.

Na podstawie szczegółowej analizy ciągu drogowego zaproponowano:

- budowę dla zadanego kierunku ruchu dwóch pasów wyprzedzania na wzniesieniach (o długości 2200 m i 2800 m) oraz dwóch pasów poza wzniesieniami (o długości 1800 m i 2200 m), o łącznej długości 9,0 km,
- budowę dla przeciwnego kierunku ruchu trzech pasów wyprzedzania na wzniesieniach o łącznej długości 7,0 km.

Każdy z wymienionych pasów wyprzedzania powinien być poddany analizie celowości jego wprowadzenia, zgodnie z procedurą ustaloną w rozdz. 4 i 5 niniejszej Instrukcji.

Proponowany program budowy pasów wyprzedzania gwarantuje, że do 2016 r. procentowy udział czasu jazdy w kolumnie, w każdym kierunku ruchu nie przekroczy 65%, a więc przy miarodajnym ruchu godzinowym poziom swobody ruchu według *HCM-2000* [26] nie będzie niższy niż *D*.

Przed 2016 r. należy wykonać nową prognozę ruchu uwzględniającą aktualny rozkład ruchu na sieci drogowej i ponownie zbadać celowość rozbudowy ciągu drogowego o dalsze pasy wyprzedzania.

Uwzględniając wynik analizy zawarty w pkt I.2 Przykładu nr 1, można oczekiwać, że potwierdzi się potrzeba takiego rozmieszczenia pasów wyprzedzania, aby docelowo łatwe było uzyskanie drogi o przekroju 2+1 pasowym. Wykorzystując dostępną prognozę ruchu w 2016 roku, można wstępnie dla celów planistycznych określić program rozbudowy ciągu drogowego w 2016 roku.

#### 5. Wstępny program rozbudowy ciągu drogowego w 2016 r. o dalsze pasy wyprzedzania

W pkt I.2 Przykładu nr 1 dla prognozowanego ruchu w 2026 r. obliczono:

- procentowy udział czasu jazdy w kolumnie w zadanym kierunku ruchu  $TK = 83\%$ ,
- procentowy udział czasu jazdy w kolumnie w kierunku przeciwnym  $TK = 82\%$ .

Obliczone wartości  $TK$  należy zredukować ze względu na występowanie na ciągu drogowym pasów wyprzedzania o łącznej długości 9,0 km (w zadanym kierunku) oraz o długości 7,0 km (w przeciwnym kierunku). Współczynnik długości istniejących pasów wyprzedzania wynosi:

$WSL = 9,0 / 40 = 0,225$  w zadanym kierunku ruchu,

$WSL = 7,0 / 40 = 0,175$  w przeciwnym kierunku ruchu.

Wykorzystując wykres przedstawiony na rys. 4.3 można określić redukcję  $TK$ :

- w zadanym kierunku dla  $Q = 765$  P/h i  $WSL = 0,225$  wyznaczono  $RTK = 12,5\%$ ,
- w przeciwnym kierunku dla  $Q = 765$  P/h i  $WSL = 0,175$  uzyskano  $RTK = 9,0\%$ .

Tak więc, zredukowane wartości  $TK$  wynoszą:

- w zadanym kierunku  $TK = 83\% \cdot (1-0,125) = 73\%$ ,
- w przeciwnym kierunku  $TK = 82\% \cdot (1-0,09) = 75\%$ .

Korzystając ponownie z wykresu na rys. 4.3 wyznaczono współczynniki sumy długości nowych pasów wyprzedzania ( $WSL$ ) przewidzianych do budowy w 2016 r.:

- w zadanym kierunku  $RTK = (73-65) / 73 \cdot 100\% = 11\%$ ,  
a więc dla  $Q = 765$  P/h i  $RTK = 11\%$  otrzymano z wykresu  $WSL = 0,20$ ,
- w przeciwnym kierunku  $RTK = (75-65) / 75 \cdot 100\% = 13\%$ ,

a więc dla  $Q = 765$  P/h i  $RTK = 13\%$  uzyskano z wykresu  $WSL = 0,23$ .

Obliczone wartości współczynników sumy długości nowych pasów wyprzedzania wskazują, że w zadanym kierunku suma długości tych pasów wyniesie:

$$SL = 0,20 \cdot 40 = 8,0 \text{ km},$$

a w przeciwnym kierunku  $SL = 0,23 \cdot 40 = 9,2 \text{ km}$ .

Uwzględniając już istniejące pasy wyprzedzania na wzniesieniach, całkowita długość pasów wyprzedzania wyniesie:

- w zadanym kierunku  $9,0 + 8,0 = 17 \text{ km}$ , z czego wynika, że  $WSL = 0,425$ ,
- w przeciwnym kierunku  $7,0 + 9,2 = 16,2 \text{ km}$ , z czego wynika, że  $WSL = 0,405$ .

Wartości współczynników  $WSL$  wskazują, że w wyniku budowy wszystkich pasów wyprzedzania powstanie droga o przekroju 2+1 pasowym, gdyż wartość  $WSL$  jest zbliżona do 0,50 (rys. 4.2).

Należy zwrócić uwagę, aby w kolejnych etapach dochodzenia do przekroju 2+1 pasowego był zachowany zalecany moduł między pasami wyprzedzania, a także zalecana konfiguracja pasów. Zasady lokalizacji i konfiguracji pasów wyprzedzania są określone w pkt 4.3 i 6.4.2 Instrukcji.

## **II. Analiza celowości wprowadzenia pasów wyprzedzania na ciągu drogowym ze względów ekonomicznych**

Zaproponowany w części I Przykładu nr 1 program rozbudowy ciągu drogowego powinien być potwierdzony analizą efektywności ekonomicznej. Program ten obejmuje:

- budowę dla zadanego kierunku ruchu dwóch pasów wyprzedzania na wzniesieniach o długości 2200 i 2800 m) oraz dwóch pasów wyprzedzania poza wzniesieniami (o długości 1800 m i 2200 m), o łącznej długości 9,0 km,
- budowę dla przeciwnego kierunku ruchu trzech pasów wyprzedzania na wzniesieniach (o łącznej długości 7,0 km).

Każdy z wymienionych pasów wyprzedzania powinien być poddany analizie celowości jego wprowadzenia, zgodnie z procedurą ustaloną w rozdz. 5 Instrukcji.

Poniżej zamieszczono przykład analizy jednego pasa wyprzedzania poza wzniesieniem o długości 1800 m.

Rozpatrzono dobudowę pasa wyprzedzania dla następujących warunków:

- długość pasa wyprzedzania  $L=1\ 800$  m;
- $SDR$  w analizowanym kierunku oraz udział pojazdów ciężkich w ruchu  $U_c$ :
  - w roku 2007: 3 500 P/dobę;  $U_c=18\%$ ;
  - w roku 2016: 6 000 P/dobę;  $U_c=16\%$ ;

- w roku 2026: 9 000 P/dobę.  $Uc=15\%$ .
- całkowite koszty inwestycyjne: 900 tys. zł; koszty inwestycji w poszczególnych latach:
  - rok 2005 – 160 tys. zł;
  - rok 2006 – 740 tys. zł;

Tok postępowania:

1. Z dwóch nomogramów: dla długości pasa  $L=1,5$  km oraz  $L=2,0$  km odczytano wartości rocznych jednostkowych korzyści użytkowników  $B_r$  dla trzech wartości  $SDR$  i  $Uc$ . Są to następujące wartości:
  - dla  $L=1,5$  km:
    - $B_r(2007) = 41$  tys. zł/km
    - $B_r(2016) = 98$  tys. zł/km
    - $B_r(2026) = 195$  tys. zł/km
  - dla  $L=2,0$  km:
    - $B_r(2007) = 43$  tys. zł/km
    - $B_r(2016) = 103$  tys. zł/km
    - $B_r(2026) = 205$  tys. zł/km
2. Uzyskane wartości  $B_r$  umożliwiły interpolację liniową dla długości  $L=1,8$  km, a jej wyniki następnie przemnożone przez długość pasa  $L$  pozwoliły na wyznaczenie całkowitych rocznych korzyści  $B$  [tys. zł]:

rok	$B_r$ [tys. zł/km] dla $L$ :			$B=B_r \cdot L$
	1,5 km	2,0 km	1,8 km	[tys. zł]
2007	41	43	42	76
2016	98	103	101	182
2026	195	205	201	362

3. Obliczone wartości wpisano w odpowiednich komórkach arkusza analizy ekonomicznej (tabl. 7.1 – komórki wyróżnione pogrubioną ramką). Wartości korzyści dla lat pośrednich interpolowano liniowo. W arkuszu wpisano także wartości kosztów inwestycyjnych oraz kosztów utrzymania w poszczególnych latach.
4. Obliczono korzyści netto, będące różnicą między korzyściami użytkowników a kosztami inwestycyjnymi i kosztami utrzymania.
5. Korzyści netto zdyskontowano, mnożąc je przez czynnik dyskontowy  $1/(1+r)^n$  dla stopy dyskontowej  $r = 6\%$ .
6. Obliczono wartość  $NPV$ , będącej sumą zdyskontowanych korzyści netto.

7. Następnie obliczono wartość wskaźnika  $B/C$ , będącego ilorazem zdyskontowanych korzyści użytkowników do zdyskontowanych kosztów (inwestycyjnych i utrzymania).
8. Wreszcie obliczono wartość  $IRR$ , tzn. stopy dyskontowej, przy której  $NPV=0$ . Ponieważ jest to działanie iteracyjne, posłużono się arkuszem kalkulacyjnym, w którym funkcja ta jest jedną ze standardowych, wbudowanych funkcji finansowych (np. w arkuszu Excel jest to funkcja  $IRR$  z kategorii funkcji finansowych).

**Tabl. 7.1. Analiza ekonomiczna kosztów i korzyści do Przykładu nr 1 [tys. zł]**

Rok	$N$	Koszty inwestycyjne	Koszty utrzymania	Korzyści użytkowników	Korzyści netto {5}-{4}-{3}	Zdyskontowane korzyści netto {6}/(6%+1) <sup>n</sup>
1	2	3	4	5	6	7
2005	1	160			-160	-151
2006	2	740			-740	-659
2007	3		11	76	65	55
2008	4		11	88	77	61
2009	5		11	99	88	66
2010	6		11	111	100	71
2011	7		11	123	112	74
2012	8		11	135	124	78
2013	9		11	147	136	80
2014	10		11	158	147	82
2015	11		11	170	159	84
2016	12		11	182	171	85
2017	13		11	200	189	89
2018	14		11	218	207	91
2019	15		11	236	225	94
2020	16		11	254	243	96
2021	17		11	272	261	97
2022	18		11	290	279	98
2023	19		11	308	297	98
2024	20		11	326	315	98
2025	21		11	344	333	98
2026	22		11	362	351	97
					<b>NPV =</b>	<b>881</b>
					<b>B/C =</b>	<b>1,96</b>
					<b>IRR =</b>	<b>13,7%</b>

Analizowana inwestycja uzyskała wartość  $IRR = 13,7\%$ , a zatem jest uzasadniona ekonomicznie.

Analiza wrażliwości:

- koszty inwestycyjne zwiększone o 10%:  $IRR = 12,5\%$ ;
- natężenie ruchu zmniejszone o 10%:  $IRR = 11,5\%$ ;

- koszty inwestycyjne zwiększone o 10% i natężenie ruchu zmniejszone o 10%:  
 $IRR = 10,4\%$ .

Analiza wrażliwości pozwala stwierdzić, że w każdym z rozpatrywanych przypadków inwestycja pozostaje efektywna ekonomicznie.

## **7.2. Przykład nr 2: Analiza celowości etapowej rozbudowy ciągu drogowego o pasy wyprzedzania**

Dwupasowa droga dwukierunkowa o długości 18 km miała być według wstępnych planów rozbudowana do drogi dwujezdniowej, ale na etapie ustalania linii rozgraniczających drogi pojawiły się trudności z realizacją tego przedsięwzięcia, zarówno ze względów środowiskowych jak i znacznego wzrostu kosztów inwestycyjnych.

### **Dane:**

- długość ciągu drogowego  $L = 18$  km,
- dwupasowa droga dwukierunkowa ma jezdnię o szerokości 7,00 m oraz utwardzone pobocza o szerokości 2,5 m,
- udział odcinków z możliwością wyprzedzania w zadanym kierunku wynosi  $PW1 = 0,3$  (30% długości całego ciągu drogowego), a w kierunku przeciwnym  $PW2 = 0,5$ ,
- rozbudowę ciągu drogowego można rozpocząć w 2006 roku,
- na ciągu drogowym występuje ruch o gospodarczym charakterze,
- z pomiarów ruchu oraz prognoz wynika następujący średni dobowy ruch w obu kierunkach ( $SDR$ ):
  - ➔ w 2007 roku  $SDR = 16\ 000$  P/dobę,
  - ➔ w 2016 roku  $SDR = 19\ 000$  P/dobę,
  - ➔ w 2026 roku  $SDR = 24\ 000$  P/dobę.

### **Rozwiązanie:**

#### **I. Analiza celowości wprowadzenia pasów wyprzedzania na ciągu drogowym ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa ruchu**

##### 1. Wyznaczenie miarodajnego ruchu godzinowego $Q$

Jako miarodajny ruch godzinowy należy przyjąć natężenie w 50-tej godzinie w 10-tym roku po oddaniu etapu rozbudowy drogi do użytkowania.

Na podstawie [15, tabl. 20] ustalono, że prognozowany miarodajny ruch godzinowy  $Q_{50}$  na analizowanym ciągu drogowym będzie wynosić:

- w 2007 r.  $Q_{50} = 16\ 000 \cdot 0,085 = 1360$  P/h, a w jednym kierunku ruchu  $Q = 680$  P/h,
- w 2016 r.  $Q_{50} = 19\ 000 \cdot 0,085 = 1615$  P/h, a w jednym kierunku ruchu  $Q = 800$  P/h,
- w 2026 r.  $Q_{50} = 24\ 000 \cdot 0,085 = 2040$  P/h, a w jednym kierunku ruchu  $Q = 1020$  P/h.

## 2. Ustalenie docelowego zakresu rozbudowy ciągu drogowego

W celu wstępnego określenia docelowego zakresu rozbudowy ciągu drogowego wykorzystano wykres na rys. 7.1 z Przykładu nr 1. Prognozowane natężenie ruchu w 2026 r. (*SDR*) wynoszące 24 000 P/dobę wskazuje, że rozbudowa istniejącego ciągu drogowego do parametrów drogi o przekroju 2+1 pasowym może być zaakceptowana. Jak wynika z rys. 7.1 z Przykładu nr 1, droga o przekroju 2+1 pasowym może przenieść ruchu o nieco większym natężeniu, bo sięgającym 25000 P/dobę.

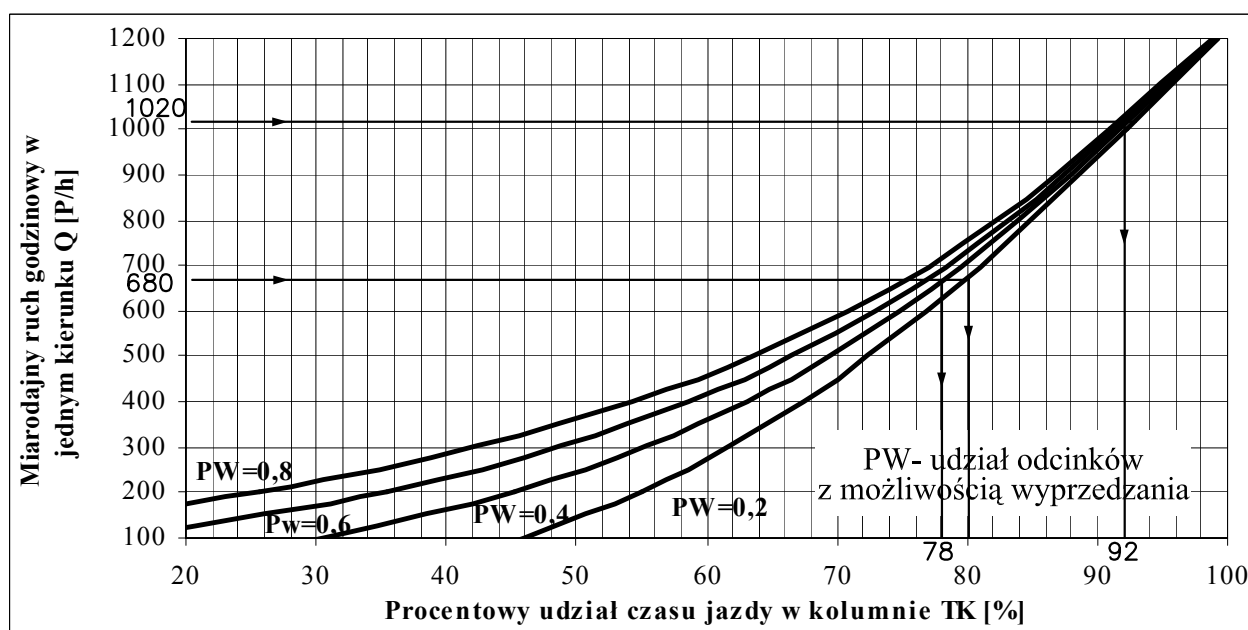
Docelowy zakres rozbudowy można uściślić postępując zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 4.2, w odniesieniu do prognozowanego natężenia ruchu w 2026 r.

W zadanym kierunku ruchu:

dla  $Q = 1\ 020$  P/h i  $PW1 = 0,3$  - z wykresu na rys. 7.4 wyznaczono procentowy udział czasu jazdy w kolumnie  $TK = 92\%$ ,

w przeciwnym kierunku ruchu:

dla  $Q = 1\ 020$  P/h i  $PW2 = 0,5$  - z wykresu na rys. 7.4 uzyskano  $TK = 92\%$ .



Rys. 7.4. Ustalenie procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie  $TK$  (rys. 4.1 Instrukcji)



Wartości  $TK$  znacznie przekraczają 65%, a więc wprowadzenie pasów wyprzedzania może być uzasadnione (rys. 4.2). Pasy wyprzedzania powinny zredukować procentowy udział czasu jazdy w kolumnie  $TK$  do dopuszczalnego poziomu 65%. Redukcja procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie  $RTK$  w zadanym kierunku powinna wynosić:

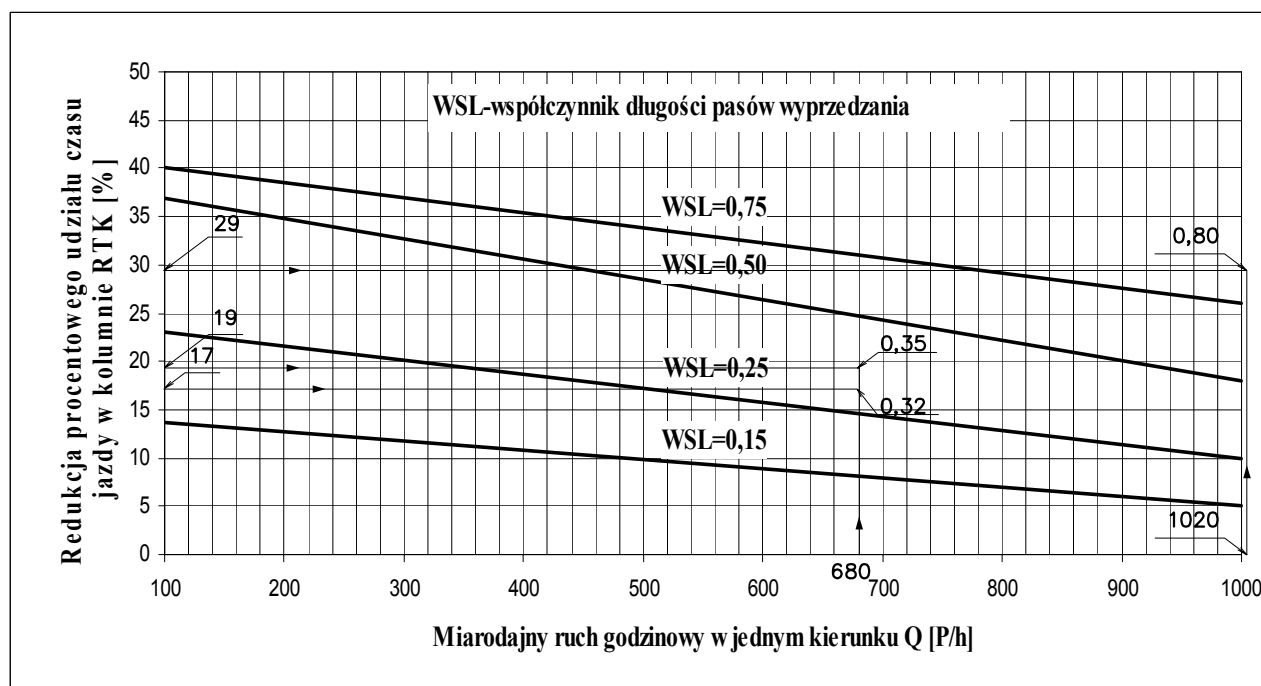
$$RTK = (92-65) / 92 \cdot 100\% = 29 \%,$$

a na podstawie rys. 7.5 dla  $Q = 1020$  P/h i  $RTK = 29\%$  można określić współczynnik sumy długości pasów wyprzedzania  $WSL = 0,80$ .

Podobnie  $RTK$  w przeciwnym kierunku ruchu powinna wynieść:

$$RTK = (92-65) / 92 \cdot 100\% = 29 \%,$$

a wykorzystując rys. 7.5 dla  $Q = 1020$  P/h i  $RTK = 29\%$  można określić współczynnik sumy długości pasów wyprzedzania  $WSL = 0,80$ .



**Rys. 7.5. Ustalenie współczynnika sumy długości pasów wyprzedzania  $WSL$  (rys. 4.3 Instrukcji)**

Wartości  $WSL$  są większe niż 0,50 co oznacza (rys. 4.2), że ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa ruchu jest uzasadniona docelowa rozbudowa analizowanego ciągu drogowego do drogi dwujezdniowej. Rozbudowa ta może jednak odbywać się etapami w dostosowaniu do wzrastającego natężenia ruchu i weryfikowanych cyklicznie prognoz ruchu. Ustalenie zakresu rozbudowy istniejącego ciągu drogowego przeprowadzono zgodnie ze schematem postępowania przedstawionym na rys. 4.2.

### 3. Ustalenie programu rozbudowy ciągu drogowego

Wykorzystując rys. 7.4 wyznaczono wartości  $TK$  na drodze w 2007 r.:

- w kierunku zadanym dla  $Q = 680$  P/h i  $PW1 = 0,3$  uzyskano  $TK = 80\%$ ,
- w kierunku przeciwnym dla  $Q = 680$  P/h i  $PW2 = 0,5$  uzyskano  $TK = 78\%$ .

Ponieważ procentowy udział czasu jazdy w kolumnie  $TK$  w 2007 r. przekroczy 65%, to należy w 2006 r. rozpocząć rozbudowę ciągu drogowego o pasy wyprzedzania.

Przewidziane do budowy pasy wyprzedzania w 2006 r. powinny zredukować procentowy udział czasu jazdy w kolumnie  $TK$  do dopuszczalnego poziomu 65%. Redukcja procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie  $RTK$  w zadanym kierunku ruchu powinna być:

$$RTK = (80-65) / 80 \cdot 100\% = 19\%,$$

wykorzystując rys. 7.5 dla  $Q = 680$  P/h i  $RTK = 19\%$  można określić współczynnik sumy długości pasów wyprzedzania  $WSL = 0,35$ ,

a suma długości pasów wyprzedzania będzie  $SL = 0,35 \cdot 18 = 6,3$  km.

Podobnie  $RTK$  w kierunku przeciwnym będzie wynosić:

$$RTK = (78-65) / 78 \cdot 100\% = 17\%,$$

wykorzystując rys. 7.5 dla  $Q = 680$  P/h i  $RTK = 17\%$  można określić współczynnik sumy długości pasów wyprzedzania  $WSL = 0,32$ ,

a suma długości pasów wyprzedzania będzie  $SL = 0,32 \cdot 18 = 5,8$  km.

Z wartości współczynników sumy długości pasów wyprzedzania ( $WSL$  mieści się w przedziale 0,25-0,50 - rys. 4.2) wynika, że ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa ruchu jest uzasadniona w 2006 r. rozbudowa drogi do przekroju 2+1 pasowego.

Istotne jest wskazanie jak długo będzie mogła funkcjonować analizowana droga o przekroju 2+1 pasowym, a więc kiedy ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa ruchu należy rozważyć potrzebę dobudowy drugiej jezdni. Analizę taką przeprowadzono dla 2016 roku.

### 4. Wyznaczenie procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie $TK$ na drodze w 2016 r.:

- w kierunku zadanym dla  $Q = 800$  P/h i  $PW1 = 0,3$  otrzymujemy  $TK = 85\%$
- w kierunku przeciwnym dla  $Q = 800$  P/h i  $PW2 = 0,5$  otrzymujemy  $TK = 83\%$

### 5. Określenie współczynników sumy długości pasów wyprzedzania potrzebnych w 2016 r.

Pasy wyprzedzania powinny zredukować procentowy udział czasu jazdy w kolumnie  $TK$  do dopuszczalnego poziomu 65%. Redukcja procentowego udziału czasu jazdy w kolumnie  $RTK$  w zadanym kierunku ruchu powinna być:

$$RTK = (85-65) / 85 \cdot 100\% = 24\%,$$

wykorzystując rys. 7.5 dla  $Q = 800$  P/h i  $RTK = 24\%$  można określić współczynnik sumy długości pasów wyprzedzania  $WSL = 0,55$ .

Podobnie  $RTK$  w kierunku przeciwnym będzie wynosić:

$$RTK = (83-65) / 83 \cdot 100\% = 22\%,$$

wykorzystując rys. 7.5 dla  $Q = 800$  P/h i  $RTK = 22\%$  można określić współczynnik sumy długości pasów wyprzedzania  $WSL = 0,45$ ,

a więc tylko w jednym kierunku współczynnik  $WSL$  nieznacznie przekroczył wartość 0,50. Tak więc należy przewidywać, że zadawalające warunki ruchu będą zapewnione do około 2016 roku.

Nieco wcześniej (2014–2015 r.) należy przeprowadzić ponownie analizę funkcjonowania drogi o przekroju 2+1 pasowym, zweryfikować prognozy ruchu i na podstawie tych danych podjąć decyzję co do dalszej rozbudowy drogi.

## **II. Analiza celowości rozbudowy ciągu drogowego do przekroju 2+1 pasowego ze względów ekonomicznych**

Zaproponowany w części I Przykładu nr 2 program rozbudowy ciągu drogowego powinien być potwierdzony analizą efektywności ekonomicznej. Program obejmuje rozbudowę dwupasowej drogi dwukierunkowej do drogi o przekroju 2+1 pasowym, a więc o pasy wyprzedzania usytuowane na przemian po obu stronach osi jezdni.

Rozpatrzono rozbudowę drogi dla następujących warunków:

- długość analizowanego ciągu drogowego  $L = 18,0$  km;
- $SDR$  w obu kierunkach oraz udział pojazdów ciężkich w ruchu  $U_c$ :
  - w roku 2007: 16 000 P/dobę;  $U_c = 18\%$ ;
  - w roku 2016: 19 000 P/dobę;  $U_c = 16\%$ ;
  - w roku 2026: 24 000 P/dobę.  $U_c = 15\%$ .
- całkowite koszty inwestycyjne: 20 700 tys. zł; koszty w poszczególnych latach inwestycji:
  - rok 2005 – 6 210 tys. zł;
  - rok 2006 – 14 490 tys. zł.

Tok postępowania:

1. Z nomogramu (Załącznik nr 3) odczytano wartość rocznych jednostkowych korzyści użytkowników  $B_r$  dla trzech wartości  $SDR$  i  $U_c$ . Są to następujące wartości:

- $B_r(2007) = 202$  tys. zł/km
- $B_r(2016) = 268$  tys. zł/km

–  $B_r(2026) = 434$  tys. zł/km

2. Uzyskane wartości pomnożono przez długość ciągu drogowego  $L$ , w celu uzyskania całkowitych rocznych korzyści  $B$  [tys. zł]:

rok	$B=B_r \cdot L$ [tys. zł]
2007	3 636
2016	4 824
2026	7 812

3. Obliczone wartości wpisano w odpowiednich komórkach arkusza analizy ekonomicznej (zob. tabl. 7.2 – komórki wyróżnione pogrubioną ramką). Wartości korzyści dla lat pośrednich interpolowano liniowo. W arkuszu wpisano także wartości kosztów inwestycyjnych oraz kosztów utrzymania w poszczególnych latach.
4. Obliczono korzyści netto, będące różnicą między korzyściami użytkowników a kosztami inwestycyjnymi i kosztami utrzymania.
5. Korzyści netto zdyskontowano, mnożąc je przez czynnik dyskontowy  $1/(1+r)^n$  dla stopy dyskontowej  $r = 6\%$ .
6. Obliczono wartość  $NPV$ , będącej sumą zdyskontowanych korzyści netto.
7. Obliczono wartość wskaźnika  $B/C$ , będącego ilorazem zdyskontowanych korzyści użytkowników do zdyskontowanych kosztów (inwestycyjnych i utrzymania).
8. Następnie obliczono wartość IRR, tzn. stopy dyskontowej, przy której  $NPV=0$ . Ponieważ jest to działanie iteracyjne, posłużono się w tym celu arkuszem kalkulacyjnym, w którym funkcja ta jest jedną ze standardowych, wbudowanych funkcji finansowych.

Tabl. 7.2. Analiza ekonomiczna kosztów i korzyści do Przykładu nr 2 [tys. zł]

Rok	N	Koszty inwestycyjne	Koszty utrzymania	Korzyści użytkowników	Korzyści netto {5}-{4}-{3}	Zdyskontowane korzyści netto {6}/(6%+1) <sup>n</sup>
1	2	3	4	5	6	7
2005	1	6 210			-6 210	-5 858
2006	2	14 490			-14 490	-12 896
2007	3		259	3 636	3 377	2 835
2008	4		259	3 768	3 509	2 779
2009	5		259	3 900	3 641	2 721
2010	6		259	4 032	3 773	2 660
2011	7		259	4 164	3 905	2 597
2012	8		259	4 296	4 037	2 533
2013	9		259	4 428	4 169	2 468
2014	10		259	4 560	4 301	2 402
2015	11		259	4 692	4 433	2 335
2016	12		259	4 824	4 565	2 269
2017	13		259	4 817	4 558	2 137
2018	14		259	5 116	4 857	2 148
2019	15		259	5 415	5 156	2 151
2020	16		259	5 713	5 454	2 147
2021	17		259	6 012	5 753	2 137
2022	18		259	6 311	6 052	2 120
2023	19		259	6 610	6 351	2 099
2024	20		259	6 909	6 650	2 073
2025	21		259	7 207	6 948	2 044
2026	22		259	7 812	7 553	2 096
					<b>NPV =</b>	<b>27 997</b>
					<b>B/C =</b>	<b>2,31</b>
					<b>IRR=</b>	<b>18,0%</b>

Analizowana inwestycja uzyskała wartość  $IRR=18,0\%$ , a zatem jest uzasadniona ekonomicznie.

Analiza wrażliwości:

- koszty inwestycyjne zwiększone o 10%:  $IRR = 16,3\%$ ;
- natężenie ruchu zmniejszone o 10%:  $IRR = 15,2\%$ ;
- koszty inwestycyjne zwiększone o 10% i natężenie ruchu zmniejszone o 10%:  
 $IRR = 13,7\%$ .

Analiza wrażliwości pozwala stwierdzić, że w każdym z rozpatrywanych przypadków inwestycja pozostaje efektywna ekonomicznie.

W podsumowaniu należy zaznaczyć, że program rozbudowy rozpatrywanego ciągu drogowego do przekroju 2+1 pasowego jest w porównaniu z dobudową drugiej jezdni korzystniejszy ze względu na:

- zmniejszenie całkowitych kosztów inwestycyjnych oraz podniesienie efektywności ich wydatkowania w czasie; uzyskuje się odroczenie terminu dobudowy drugiej jezdni o 10 lat,
- ograniczenie rozbudowy w I etapie do istniejących linii rozgraniczających,
- zminimalizowanie ingerencji w zagospodarowanie, środowisko, krajobraz,
- umożliwienie etapowania robót oraz dostosowanie zakresu robót inwestycyjnych w kolejnych etapach rozbudowy do aktualizowanych prognoz ruchu.

### 7.3. Przykład nr 3: Analiza celowości wprowadzenia pasa wyprzedzania na wzniesieniu ze względów ekonomicznych

#### Dane:

- miarodajne pochylenie podłużne na długości pasa wyprzedzania  $s=5\%$ ;
- długość pasa wyprzedzania na wzniesieniu  $L=1,4$  km;
- $KSDR$  ( $SDR$  w analizowanym kierunku) oraz udział pojazdów ciężkich w ruchu  $U_c$ :
  - w roku 2007: 4 000 P/dobę;  $U_c=18\%$ ;
  - w roku 2016: 6 600 P/dobę;  $U_c=16\%$ ;
  - w roku 2026: 8 400 P/dobę.  $U_c=15\%$ .
- całkowite koszty inwestycyjne: 700 tys. zł; koszty w poszczególnych latach inwestycji:
  - rok 2005 – 160 tys. zł;
  - rok 2006 – 540 tys. zł.

Z uwagi na to, że koszty inwestycyjne są dokładnie określone, analizę efektywności ekonomicznej przeprowadzono metodą szczegółową.

#### Tok postępowania:

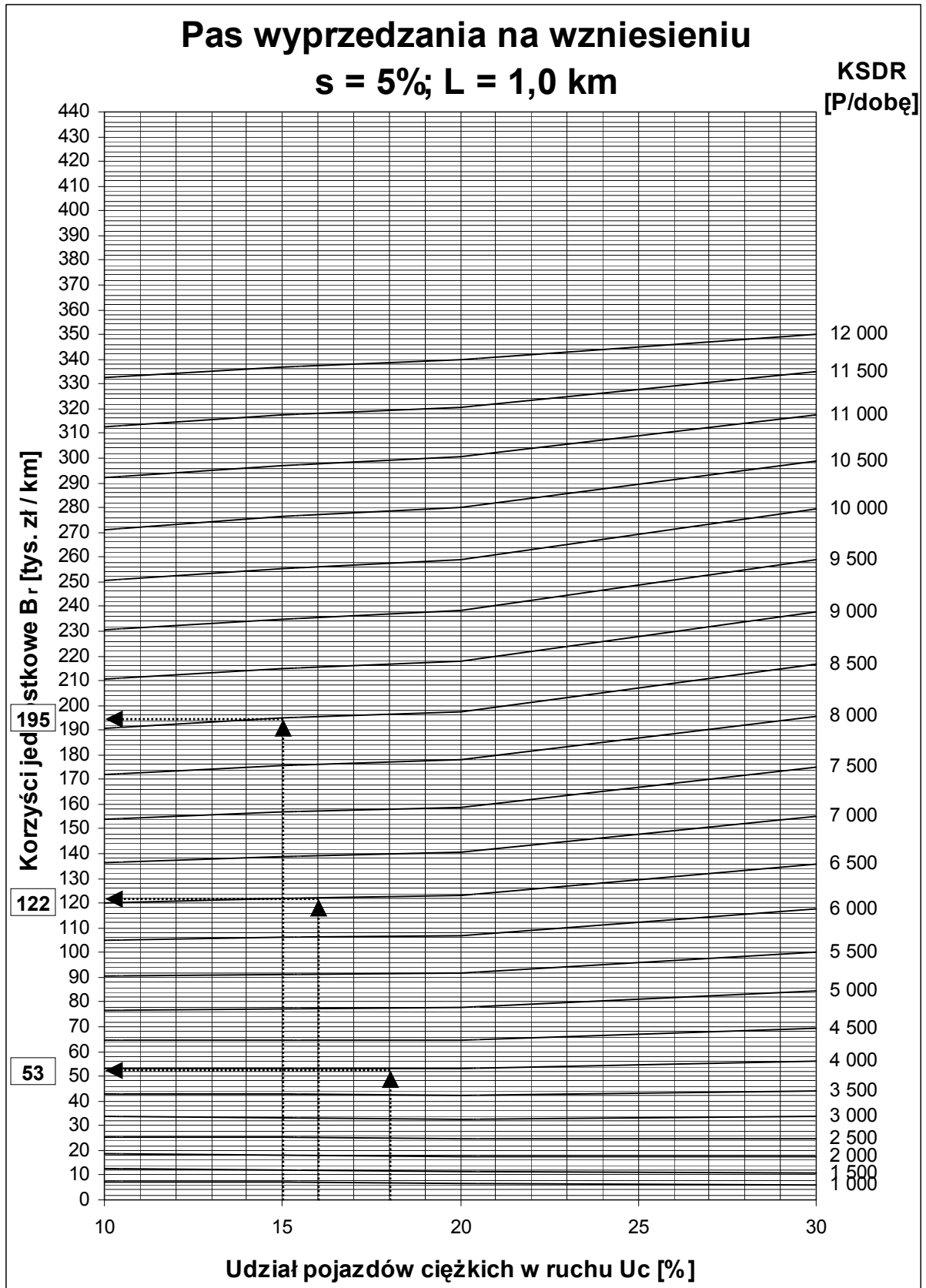
1. Natężenie ruchu  $KSDR$  zaokrąglono do 500 P/dobę:
  - w roku 2007: 4 000 P/dobę;
  - w roku 2016: 6 500 P/dobę;
  - w roku 2026: 8 500 P/dobę.
2. Z dwóch nomogramów: dla pochylenia  $s=5\%$  i długości pasa  $L=1,0$  km oraz  $s=5\%$  i  $L=1,5$  km odczytano wartości rocznych jednostkowych korzyści użytkowników  $B_r$  dla trzech wartości  $KSDR$  i  $U_c$  (rys. 7.6 i 7.7). Uzyskano następujące wartości:
  - dla  $s=5\%$  i  $L=1,0$  km:
    - $B_r(2007) = 53$  tys. zł/km
    - $B_r(2016) = 122$  tys. zł/km
    - $B_r(2026) = 195$  tys. zł/km

- dla  $s=5\%$  i  $L=1,5$  km:
  - $B_r(2007) = 60$  tys. zł/km
  - $B_r(2016) = 134$  tys. zł/km
  - $B_r(2026) = 210$  tys. zł/km

3. Wartości  $B_r$  umożliwiły interpolację liniową dla długości  $L=1,4$  km, a jej wyniki przemnożono przez długość pasa  $L$ , w celu uzyskania całkowitych rocznych korzyści  $B$  [tys. zł]:

rok	$B_r$ [tys. zł/km] dla $L$ :			$B=B_r \cdot L$
	1,0 km	1,5 km	1,4 km	[tys. zł]
2007	53	60	59	82
2016	122	134	132	184
2026	195	210	207	290

4. Obliczone wartości wpisano w odpowiednich komórkach arkusza analizy ekonomicznej (tabl. 7.3 – komórki wyróżnione pogrubioną ramką). Wartości korzyści dla lat pośrednich uzyskano w wyniku interpolacji liniowej. W arkuszu wpisano także wartości kosztów inwestycyjnych oraz kosztów utrzymania w poszczególnych latach.
5. Obliczono korzyści netto, będące różnicą między korzyściami użytkowników a kosztami inwestycyjnymi i kosztami utrzymania.
6. Korzyści netto zdyskontowano, mnożąc je przez czynnik dyskontowy  $1/(1+r)^n$  dla stopy dyskontowej  $r = 6\%$ .
7. Obliczono wartość  $NPV$ , będącej sumą zdyskontowanych korzyści netto.
8. Następnie ustalono wartość wskaźnika  $B/C$ , będącego ilorazem zdyskontowanych korzyści użytkowników do zdyskontowanych kosztów (inwestycyjnych i utrzymania).
9. Obliczono wartość  $IRR$ , tzn. stopy dyskontowej, przy której  $NPV=0$ . Ponieważ jest to działanie iteracyjne, posłużono się arkuszem kalkulacyjnym, w którym funkcja ta jest jedną ze standardowych, wbudowanych funkcji finansowych (np. w arkuszu Excel jest to funkcja IRR z kategorii funkcji finansowych).



**Rys. 7.6.** Wyznaczenia jednostkowych korzyści użytkowników wynikających z wprowadzenia pasa wyprzedzania na wzniesieniu dla  $s = 5\%$  i  $L = 1,0$  km





Tabl. 7.3. Analiza ekonomiczna kosztów i korzyści do Przykładu nr 3 [tys. zł]

Rok	$n$	Koszty inwestycyjne	Koszty utrzymania	Korzyści użytkowników	Korzyści netto {5}-{4}-{3}	Zdyskontowane korzyści netto {6}/(6%+1) <sup>n</sup>
1	2	3	4	5	6	7
2005	1	160			-160	-151
2006	2	540			-540	-481
2007	3		9	82	73	61
2008	4		9	93	84	67
2009	5		9	105	96	71
2010	6		9	116	107	75
2011	7		9	127	118	79
2012	8		9	139	130	81
2013	9		9	150	141	83
2014	10		9	161	152	85
2015	11		9	173	164	86
2016	12		9	184	175	87
2017	13		9	195	186	87
2018	14		9	205	196	87
2019	15		9	216	207	86
2020	16		9	226	217	86
2021	17		9	237	228	85
2022	18		9	248	239	84
2023	19		9	258	249	82
2024	20		9	269	260	81
2025	21		9	279	270	80
2026	22		9	290	281	78
					<b>NPV =</b>	<b>980</b>
					<b>B/C =</b>	<b>2,35</b>
					<b>IRR =</b>	<b>17,0%</b>

**Wniosek:**

*inwestycję uznaje się za uzasadnioną ekonomicznie, gdyż wartość wewnętrznej stopy zwrotu IRR wynosi 17% i jest większa niż 6%.*

Wynik analizy wrażliwości:

- koszty inwestycyjne zwiększone o 10%:  $IRR = 15,5\%$ ;
- natężenie ruchu zmniejszone o 10%:  $IRR = 14,4\%$ ;
- koszty inwestycyjne zwiększone o 10% i natężenie ruchu zmniejszone o 10%:  
 $IRR = 13,1\%$ .

Analiza wrażliwości pozwala stwierdzić, że w każdym z rozpatrywanych przypadków inwestycja pozostaje efektywna ekonomicznie.

#### 7.4. Przykład nr 4: Analiza celowości wprowadzenia pasa wyprzedzania na wzniesieniu drogi krajowej klasy G, od km 0+00 do km 2+475

Analizę należy przeprowadzić:

- a) na etapie planowania, gdy koszty rozbudowy drogi o pas wyprzedzania na wzniesieniu nie są znane, a z oceny stanu utwardzonych poboczy wynika potrzeba wymiany ich konstrukcji,
- b) na etapie opracowywania koncepcji programowej, w której oszacowano koszty budowy jednego kilometra pasa wyprzedzania na 1,35 mln PLN (bez VAT).

#### Dane:

- dwupasowa droga dwukierunkowa o prędkości projektowej  $V_p=70$  km/h ma jezdnię o szerokości 7,00 m oraz utwardzone pobocza o szerokości 2,00 m,
- z analizy krętości drogi w planie wynika, że prędkość miarodajna na rozpatrywanym odcinku drogi wynosi  $V_m=80$  km/h,
- ukształtowanie drogi w przekroju podłużnym przedstawiono na rys. 7.9,
- rozbudowę drogi planuje się w latach 2005-2006,
- z prognoz ruchu wynika, że  $KSDR$  ( $SDR$  w analizowanym kierunku) oraz udział pojazdów ciężkich w ruchu  $U_c$  będzie:
  - ➔ w roku 2007  $KSDR = 5\ 800$  P/dobę,  $U_c = 20\%$ ,
  - ➔ w roku 2016  $KSDR = 7\ 900$  P/dobę,  $U_c = 18\%$ ,
  - ➔ w roku 2026  $KSDR = 9\ 400$  P/dobę,  $U_c = 15\%$ .

#### Rozwiązanie:

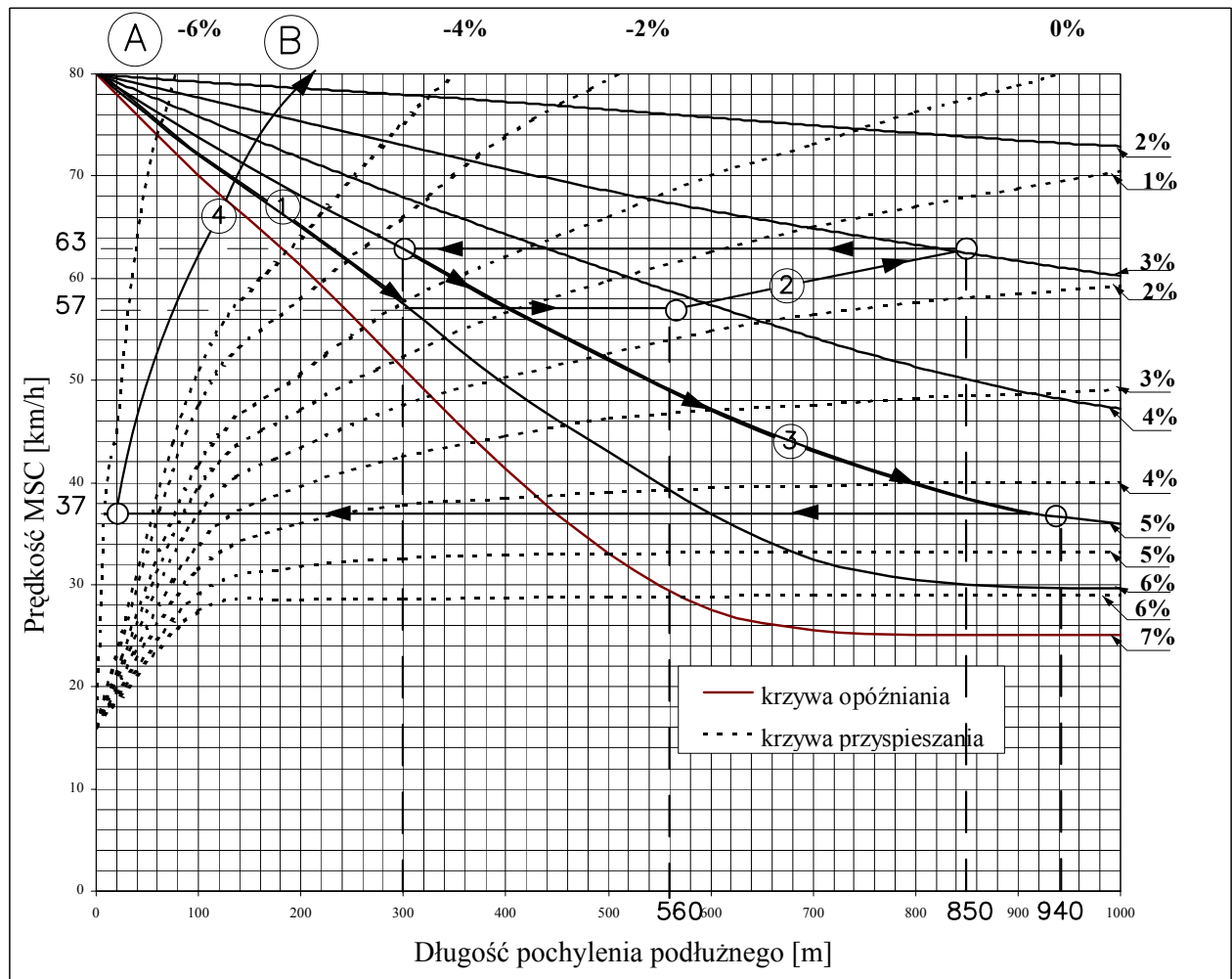
##### I. Analiza celowości wprowadzenia pasa wyprzedzania na wzniesieniu, ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa ruchu

Rozbudowa drogi o pas wyprzedzania na wzniesieniu jest uzasadniona, jeżeli prędkość miarodajnego samochodu ciężarowego  $MSC$  wyznaczona na podstawie profilu prędkości tego pojazdu spada poniżej 60 km/h na długości nie mniejszej niż 500 m.

Niweletę zastępczą (rys. 7.9) stanowi poligon stycznych o stałych pochyleniach, bez dodatkowych stycznych na łukach wypukłych ( $R=2\ 000$  m) i wklęsłym ( $R=2\ 500$  m), gdyż ich długości są mniejsze niż 300 m.

## 1. Wyznaczenie profilu prędkości MSC

Profil prędkości *MSC* opracowano na podstawie przebiegu niwelety zastępczej (rys. 7.9) oraz wykresu właściwości dynamicznych *MSC* (rys. 7.8).



**Rys. 7.8. Budowa profilu prędkości MSC na analizowanym odcinku drogi**

punkt A – początek profilu prędkości przed rozważanym wzniesieniem, gdzie prędkość *MSC* wzrasta na spadku 4% i długości 390 m i osiąga wartość największą – 80km/h,

odcinek 1 – krzywa opóźniania na wzniesieniu 6% i długości 300 m od  $V=80$  km/h do  $V=57$  km/h,

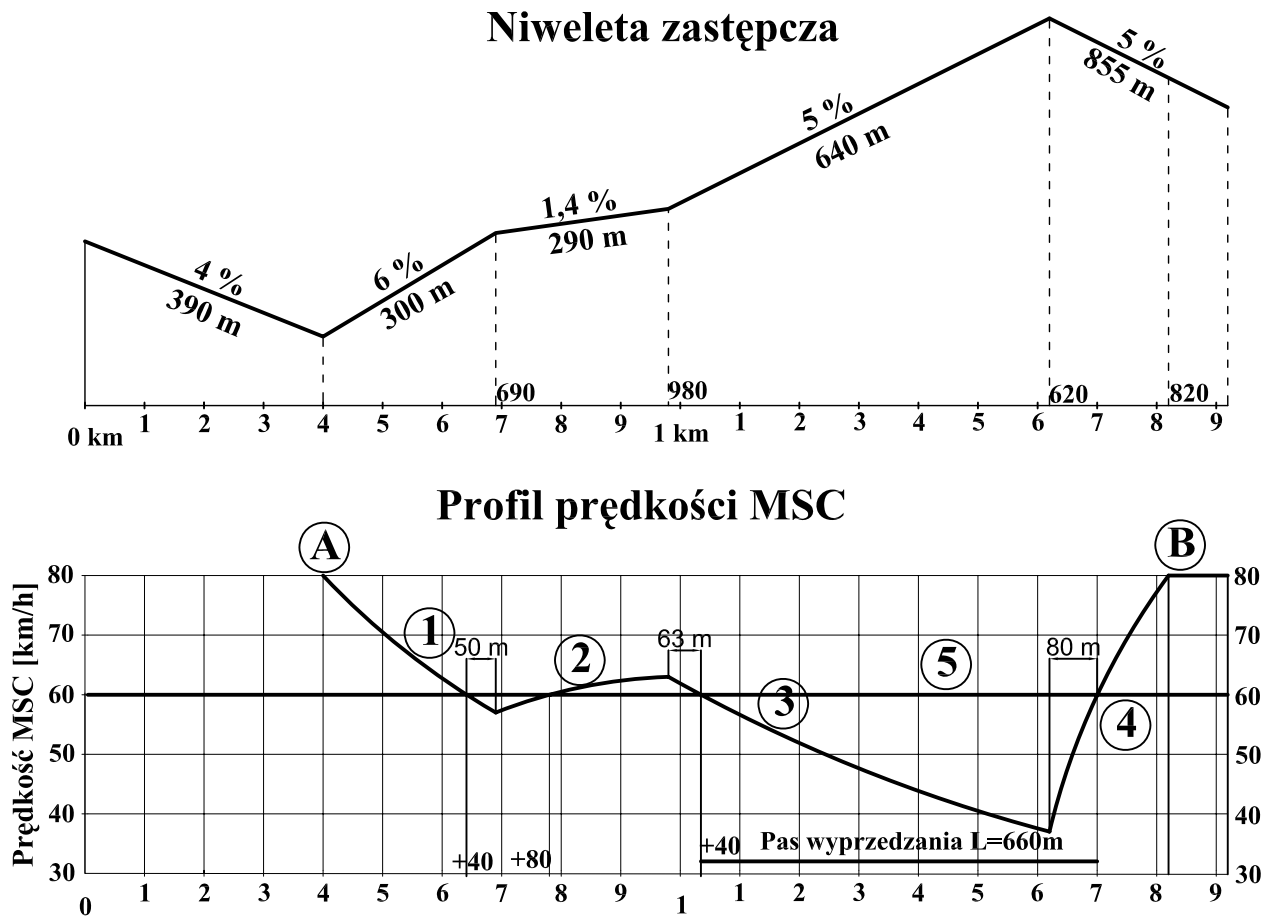
odcinek 2 – krzywa przyspieszania na wzniesieniu 1,4% i długości 290 m od  $V=57$  km/h do  $V=63$  km/h,

odcinek 3 – krzywa opóźniania na wzniesieniu 5% i długości 640 m od  $V=63$  km/h do  $V=37$  km/h,

odcinek 4 – krzywa przyspieszania na spadku 5% i długości 855 m od  $V=37$  km/h do

$V=80$  km/h, którą osiąga po 200 m w punkcie B.

odcinek 5 – wykreślony na poziomie prędkości 60 km/h.



Rys. 7.9. Niweleta zastępcza i profil prędkości *MSC* na analizowanym odcinku drogi

## 2. Ustalenie lokalizacji i długości pasa wyprzedzania na wzniesieniu

Odcinek 5 wskazuje dwa miejsca, gdzie prędkość *MSC* spada poniżej 60 km/h. Pierwszy o długości 140 m (km 0+640 do km 0+780) oraz drugi o długości 660 m (km 1+040 do km 1+700) oddalone od siebie o 260 m (rys. 7.9). Dane te wskazują, że kryterium zagrożenia bezpieczeństwa ruchu uzasadnia wprowadzenie dodatkowego pasa na wzniesieniu o długości 660 m. Analizując przebieg niwelety, a także potrzebę polepszenia bezpieczeństwa i warunków ruchu, zaleca się rozważenie dwóch wariantów lokalizacji i długości pasa wyprzedzania na wzniesieniu:

- wariant 1 o długości 660 m (do obliczeń przyjmuje się w zaokrągleniu 700 m) i o miarodajnym pochyleniu podłużnym:

$$s = \frac{580 \cdot 5 - 80 \cdot 5}{660} = 3,79\%$$

a w zaokrągleniu  $s = 4\%$ ,

- wariant 2 o długości 1060 m (do obliczeń przyjmuje się w zaokrągleniu 1100 m) i o miarodajnym pochyleniu podłużnym:

$$s = \frac{50 \cdot 6 + 1,4 \cdot 290 + 5 \cdot 640 - 5 \cdot 80}{1060} = 3,31\%$$

a w zaokrągleniu  $s = 3\%$ .

## **II. Analiza celowości wprowadzenia pasa wyprzedzania na wzniesieniu ze względów ekonomicznych**

Z treści zadania wynika, że kryterium ekonomiczne należy rozważyć na dwóch etapach przygotowania przedsięwzięcia:

- a) na etapie planowania, gdy koszty rozbudowy drogi o pas wyprzedzania na wzniesieniu nie są znane, a z oceny stanu utwardzonych poboczy wynika potrzeba wymiany ich konstrukcji,
- b) na etapie opracowywania koncepcji programowej, w której oszacowano koszty budowy pasa wyprzedzania o długości jednego kilometra na 1,35 mln PLN (bez VAT).

W wypadku a) zastosowano uproszczoną metodę analizy efektywności, natomiast w wypadku b) metodę szczegółową.

### 1. Metoda uproszczona

Rozważaną rozbudowę drogi należy zakwalifikować do przedsięwzięcia opisanego w tabl. 5.3, gdyż konstrukcja nawierzchni utwardzonych poboczy wymaga wymiany. Aby skorzystać z tabl. 5.3 potrzebne są następujące dane:

- $KSDR$  ( $SDR$  w jednym kierunku ruchu- na wzniesieniu) w dziesiątym roku po oddaniu pasa wyprzedzania do użytkowania,  $KSDR = 7\,900$  P/dobę,
- w wariancie 1  $L = 700$  m i  $s = 4\%$ ,
- w wariancie 2  $L = 1\,100$  m i  $s = 3\%$ .

Na podstawie powyższych danych z tabl. 5.4 otrzymano w wyniku interpolacji natężenie krytyczne  $Q_k = 6\,420$  P/dobę dla wariantu 1, oraz  $Q_k = 6\,260$  P/dobę dla wariantu 2. Ponieważ  $SDR = 7\,900$  P/dobę jest większe niż natężenia krytyczne  $Q_k$ , więc warunek ekonomiczny jest spełniony dla obu wariantów, ze zbliżoną ich efektywnością. Uzasadniony jest więc na etapie planowania wybór wariantu 1, gdyż wówczas pas wyprzedzania będzie krótszy.

## 2. Metoda szczegółowa

### Wariant 1

Analizę efektywności ekonomicznej metodą szczegółową przeprowadzono przy następujących danych:

- miarodajne pochylenie podłużne na długości pasa  $s=4\%$ ;
- długość pasa wyprzedzania na wzniesieniu  $L=0,7$  km;
- $KSDR$  ( $SDR$  w analizowanym kierunku) oraz udział pojazdów ciężkich w ruchu  $U_c$ :
  - ➔ w roku 2007: 5 800 P/dobę;  $U_c=20\%$ ;
  - ➔ w roku 2016: 7 900 P/dobę;  $U_c=18\%$ ;
  - ➔ w roku 2026: 9 400 P/dobę;  $U_c=15\%$ .
- całkowite koszty inwestycyjne: 910 tys. zł; koszty w poszczególnych latach inwestycji:
  - rok 2005 – 273 tys. zł;
  - rok 2006 – 637 tys. zł.

Tok postępowania:

1. Zaokrąglono natężenia ruchu do 500 P/dobę:

- ➔ w roku 2007: 6 000 P/dobę;
- ➔ w roku 2016: 8 000 P/dobę;
- ➔ w roku 2026: 9 500 P/dobę.

2. Z dwóch nomogramów (Załącznik nr 1): dla pochylenia  $s=4\%$  i długości pasa  $L=0,5$  km oraz  $s=4\%$  i  $L=1,0$  km odczytano wartości rocznych jednostkowych korzyści użytkowników  $B_r$  dla trzech wartości  $SDR$  i  $U_c$ . Są to następujące wartości:

- dla  $s=4\%$  i  $L=0,5$  km:
  - $B_r(2007) = 106$  tys. zł/km
  - $B_r(2016) = 181$  tys. zł/km
  - $B_r(2026) = 219$  tys. zł/km
- dla  $s=4\%$  i  $L=1,0$  km:
  - $B_r(2007) = 108$  tys. zł/km

- $B_r(2016) = 183$  tys. zł/km
- $B_r(2026) = 222$  tys. zł/km

3. Wartości  $B_r$  umożliwiły interpolację liniową dla długości  $L=0,7$  km, a jej wyniki przemnożone przez długość pasa  $L$  pozwoliły na wyznaczenie całkowitych rocznych korzyści  $B$  [tys. zł]:

rok	$B_r$ [tys. zł/km] dla $L$ :			$B=B_r \cdot L$
	0,5 km	1,0 km	0,7 km	[tys. zł]
2007	106	108	107	75
2016	181	183	182	127
2026	219	227	222	156

4. Obliczone wartości wpisano w odpowiednich komórkach arkusza analizy ekonomicznej (tabl. 7.4 – komórki wyróżnione pogrubioną ramką). Wartości korzyści dla lat pośrednich uzyskano w wyniku interpolacji liniowej. W arkuszu wpisano także wartości kosztów inwestycyjnych oraz kosztów utrzymania w poszczególnych latach.
5. Obliczono korzyści netto będące różnicą między korzyściami użytkowników a kosztami inwestycyjnymi i kosztami utrzymania.
6. Korzyści netto zdyskontowano, mnożąc je przez czynnik dyskontowy  $1/(1+r)^n$  dla stopy dyskontowej  $r=6\%$ .
7. Obliczono wartość  $NPV$ , będącej sumą zdyskontowanych korzyści netto.
8. Następnie ustalono wartość wskaźnika  $B/C$ , będącego ilorazem zdyskontowanych korzyści użytkowników do zdyskontowanych kosztów (inwestycyjnych i utrzymania).
9. Wreszcie obliczono wartość  $IRR$ , tzn. stopy dyskontowej, przy której  $NPV=0$ . Ponieważ jest to działanie iteracyjne, posłużono się w tym celu arkuszem kalkulacyjnym, w którym funkcja ta jest jedną ze standardowych, wbudowanych funkcji finansowych.



Tabl. 7.4. Analiza ekonomiczna nakładów i korzyści do Przykładu nr 4, wariant 1[tys. zł]

Rok	N	Koszty inwestycyjne	Koszty utrzymania	Korzyści użytkowników	Korzyści netto {5}-{4}-{3}	Zdyskontowane korzyści netto {6}/(6%+1) <sup>n</sup>
1	2	3	4	5	6	7
2005	1	273			-273	-258
2006	2	637			-637	-567
2007	3		11	75	64	54
2008	4		11	81	70	55
2009	5		11	86	75	56
2010	6		11	92	81	57
2011	7		11	98	87	58
2012	8		11	104	93	58
2013	9		11	110	99	58
2014	10		11	116	105	58
2015	11		11	121	110	58
2016	12		11	127	116	58
2017	13		11	130	119	56
2018	14		11	133	122	54
2019	15		11	136	125	52
2020	16		11	139	128	50
2021	17		11	141	130	48
2022	18		11	144	133	47
2023	19		11	147	136	45
2024	20		11	150	139	43
2025	21		11	153	142	42
2026	22		11	156	145	40
					<b>NPV =</b>	<b>224</b>
					<b>B/C =</b>	<b>1,24</b>
					<b>IRR=</b>	<b>8,6%</b>

Analizowany wariant 1 uzyskał wartość  $IRR=8,6\%$ , a zatem jest uzasadniony ekonomicznie.

Wynik analizy wrażliwości:

- koszty inwestycyjne zwiększone o 10%:  $IRR=7,3\%$ ;
- natężenie ruchu zmniejszone o 10%:  $IRR=6,5\%$ ;
- koszty inwestycyjne zwiększone o 10% i natężenie ruchu zmniejszone o 10%:  
 $IRR=5,3\%$ .

Wartość  $IRR$  w analizie wrażliwości są mniejsze niż 8%, a w najbardziej niekorzystnym wypadku nawet mniejsze niż 6%. Jest to sygnał, że przy wyższych kosztach niż założone lub przy niższym poziomie prognozowanego ruchu inwestycja może okazać się nieefektywna.

## Wariant 2

W analizie efektywności ekonomicznej metodą szczegółową danymi są:

- miarodajne pochylenie podłużne na długości pasa  $s=3\%$ ;
- długość pasa wyprzedzania na wzniesieniu  $L=1,1$  km;
- *KSDR* (*SDR* w analizowanym kierunku) oraz udział pojazdów ciężkich w ruchu  $U_c$ :
  - ➔ w roku 2007: 5 800 P/dobę;  $U_c=20\%$ ;
  - ➔ w roku 2016: 7 900 P/dobę;  $U_c=18\%$ ;
  - ➔ w roku 2026: 9 400 P/dobę;  $U_c=15\%$ ;
- całkowite koszty inwestycyjne: 1 430 tys. zł; koszty inwestycji w poszczególnych latach:
  - ➔ rok 2005 – 429 tys. zł;
  - ➔ rok 2006 – 1001 tys. zł.

Tok postępowania:

1. Zaokrąglono natężenia ruchu do 500 P/dobę :
  - w roku 2007: 6 000 P/dobę;
  - w roku 2016: 8 000 P/dobę;
  - w roku 2026: 9 500 P/dobę.
2. Z dwóch nomogramów (Załącznik nr 1): dla pochylenia  $s=3\%$  i długości pasa  $L=1,0$  km oraz  $s=3\%$  i  $L=1,5$  km odczytano wartości rocznych jednostkowych korzyści użytkowników  $B_r$  dla trzech wartości *SDR* i  $U_c$ . Są to następujące wartości:
  - dla  $s=3\%$  i  $L=1,0$  km:
    - $B_r(2007) = 108$  tys. zł/km
    - $B_r(2016) = 176$  tys. zł/km
    - $B_r(2026) = 227$  tys. zł/km
  - dla  $s=3\%$  i  $L=1,5$  km:
    - $B_r(2007) = 111$  tys. zł/km
    - $B_r(2016) = 180$  tys. zł/km
    - $B_r(2026) = 234$  tys. zł/km
3. Wartości  $B_r$  umożliwiły interpolację liniową dla długości  $L=1,1$  km, a jej wyniki przemnożone przez długość pasa  $L$  pozwoliły na wyznaczenie całkowitych rocznych korzyści  $B$  [tys. zł]:

rok	$B_r$ [tys. zł/km] dla $L$ :			$B=B_r \cdot L$
	1,0 km	1,5 km	1,1 km	[tys. zł]
2007	108	111	109	119
2016	176	180	177	194
2026	227	234	228	251

4. Obliczone wartości wpisano w odpowiednich komórkach arkusza analizy ekonomicznej (tabl. 7.5 – komórki wyróżnione pogrubioną ramką). Wartości korzyści dla lat pośrednich uzyskano w wyniku interpolacji liniowej. W arkuszu wpisano także wartości kosztów inwestycyjnych oraz kosztów utrzymania w poszczególnych latach.
5. Obliczono korzyści netto będące różnicą między korzyściami użytkowników a kosztami inwestycyjnymi i kosztami utrzymania.
6. Korzyści netto zdyskontowano, mnożąc je przez czynnik dyskontowy  $1/(1+r)^n$  dla stopy dyskontowej  $r=6\%$ .
7. Obliczono wartość  $NPV$ , będącą sumą zdyskontowanych korzyści netto.
8. Następnie ustalono wartość wskaźnika  $B/C$ , będącego ilorazem zdyskontowanych korzyści użytkowników do zdyskontowanych kosztów (inwestycyjnych i utrzymania).
9. Wreszcie obliczono wartość  $IRR$ , tzn. stopy dyskontowej, przy której  $NPV=0$ .

Tabl. 7.5. Analiza ekonomiczna nakładów i korzyści do Przykładu nr 4, wariant 2 [tys. zł]

Rok	$n$	Koszty inwestycyjne	Koszty utrzymania	Korzyści użytkowników	Korzyści netto {5}-{4}-{3}	Zdyskontowane korzyści netto {6}/(6%+1) <sup>n</sup>
1	2	3	4	5	6	7
2005	1	429			-429	-405
2006	2	1 001			-1 001	-891
2007	3		18	119	101	85
2008	4		18	128	110	87
2009	5		18	136	118	88
2010	6		18	144	126	89
2011	7		18	153	135	90
2012	8		18	161	143	90
2013	9		18	169	151	90
2014	10		18	178	160	89
2015	11		18	186	168	89
2016	12		18	194	176	88
2017	13		18	200	182	85
2018	14		18	206	188	83
2019	15		18	212	194	81
2020	16		18	217	199	78
2021	17		18	223	205	76
2022	18		18	229	211	74
2023	19		18	234	216	71
2024	20		18	240	222	69
2025	21		18	246	228	67
2026	22		18	251	233	65
<b>NPV =</b>						<b>338</b>
<b>B/C =</b>						<b>1,23</b>
<b>IRR=</b>						<b>8,5%</b>

Analizowany wariant 2 uzyskał wartość  $IRR = 8,5\%$ , a zatem jest uzasadniony ekonomicznie.

Wynik analizy wrażliwości:

- koszty inwestycyjne zwiększone o 10%:  $IRR = 7,3\%$ ;
- natężenie ruchu zmniejszone o 10%:  $IRR = 6,1\%$ ;
- koszty inwestycyjne zwiększone o 10% i natężenie ruchu zmniejszone o 10%:  
 $IRR = 5,0\%$ .

**Wniosek:**

*Wprowadzenie dodatkowego pasa wyprzedzania na wzniesieniu drogi krajowej klasy G, według Wariantu 1 (o długości  $L=660$  m, od km 1+040 do km 1+700) jest uzasadnione zarówno ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa ruchu, jak i ze względów ekonomicznych, choć efektywność ekonomiczna jest dość niska.*

## **8. LITERATURA**

### **8.1. USTAWY, ROZPORZĄDZENIA**

- [1] Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych. Tekst jednolity z dnia 24 sierpnia 2004 roku. Dz. U. Nr 204/2004, poz. 2086 z późniejszymi zmianami.
- [2] Ustawa z dnia 27 czerwca 2003 r. Prawo o ruchu drogowym. Dz. U. Nr 58/2003, poz. 515 z późniejszymi zmianami.
- [3] Ustawa z dnia 18 maja 2005 r. o zmianie ustawy – Prawo ochrony środowiska oraz niektórych innych ustaw. Dz. U. Nr 113/2005, poz. 954.
- [4] Ustawa z dnia 10 kwietnia 2003 r. o szczególnych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie dróg krajowych. Dz. U. Nr 80/2003, poz.721 i Nr 217, poz.2124.
- [5] Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym. Dz. U. Nr 80/2003, poz. 717 oraz z 2004 r. Nr 6, poz. 41 i Nr 141, poz. 1492.
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury oraz Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 12 października 2002 r. w sprawie znaków i sygnałów drogowych. Dz. U. Nr 170/2002, poz. 1393.
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach. Dz. U. Nr 220/2003, poz. 2181. Załączniki nr 1-4.
- [8] Rozporządzenie MTiGM z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dz. U. Nr 43/1999, poz.430.
- [9] Rozporządzenie MTiGM z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. Dz. U. Nr 63/2000, poz.735.

### **8.2. WYTYCZNE, INSTRUKCJE, KATALOGI, NORMY**

- [10] Wytyczne projektowania dróg I i II klasy technicznej. GDDP, 1995 r.
- [11] Wytyczne projektowania dróg III, IV i V klasy technicznej. GDDP, 1995 r.
- [12] Tymczasowe wytyczne projektowania pasów ruchu powolnego na dwupasowych drogach dwukierunkowych. CZDP, Warszawa 1981.
- [13] Instrukcja oceny efektywności inwestycji drogowych i mostowych. IBDiM. Warszawa marzec 2005.

- [14] Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych. Warszawa, 2001.
- [15] Ruch drogowy 2000. Transprojekt – Warszawa, 2001.
- [16] Prognoza ruchu na zamiejskiej sieci dróg krajowych do 2020 roku. Transprojekt – Warszawa, 2002.
- [17] Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać drogowe bariery ochronne stosowane na drogach krajowych. Projekt zarządzenia GDDKiA, Warszawa, 2005.
- [18] Wytyczne stosowania drogowych barier ochronnych. Załącznik do Zarządzenia nr 16/94 Generalnego Dyrektora Dróg Publicznych z dnia 5 października 1994 r.
- [19] PN-EN 1317 Systemy ograniczające drogę. Część I: Terminologia i ogólne kryteria metod badań. Część II: Klasy działania, kryteria przyjęcia badań zderzeniowych i metody badań barier ochronnych.

### **8.3. WYTYCZNE ZAGRANICZNE**

- [20] A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Fourth Edition, ASHTO 2001.
- [21] Richtlinien fuer die Anlage von Strassen, RAS. Teil: Querschnitte, RAS-Q 96.
- [22] Richtlinien fuer die Anlage von Strassen, RAS. Teil: Linienfuehrung, RAS-L 95.
- [23] Highway Geometric Design Guide. Alberta Infrastructure, Canada, April 1995.
- [24] Road Planning and Design Manual. Queensland Department of Main Roads, Brisbane, April 2002.
- [25] Design Manual. Washington State Department of Transportation, M 22-01, May 2001.
- [26] Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board, Highway Capacity Committee, Washington D.C. 2000.
- [27] Passing Lane Warrants and Design. Ministry of Transportation and Highways. British Columbia. Technical Bulletin DS98003, May, 1998.
- [28] Swedish design guidelines for 2+1 roads with median barriers. VU94 Road Design, S2. Swedish National Road Administration.
- [29] VSS – Norm SN 640 138a „Linienfuehrung, Zusatzstreifen in Steigungen”, 1986.
- [30] Road Layout and Geometry - Highway Link Design. Department of Transport. Part 1, Standard TD 9/93. Her Majesty's Stationery Office, London, 1993.
- [31] Highways Agency: Increased Use of Single Carriageway Roads. Final Report. Appendix J. Draft Advice Note: Wide Carriageways. 15 Nov.2002.

## ZAŁĄCZNIKI

### ZAŁĄCZNIK NR 1:

**Nomogramy do wyznaczania jednostkowych korzyści użytkowników wynikających z wprowadzenia pasa wyprzedzania na wzniesieniu**

#### **Oznaczenia stosowane na nomogramach:**

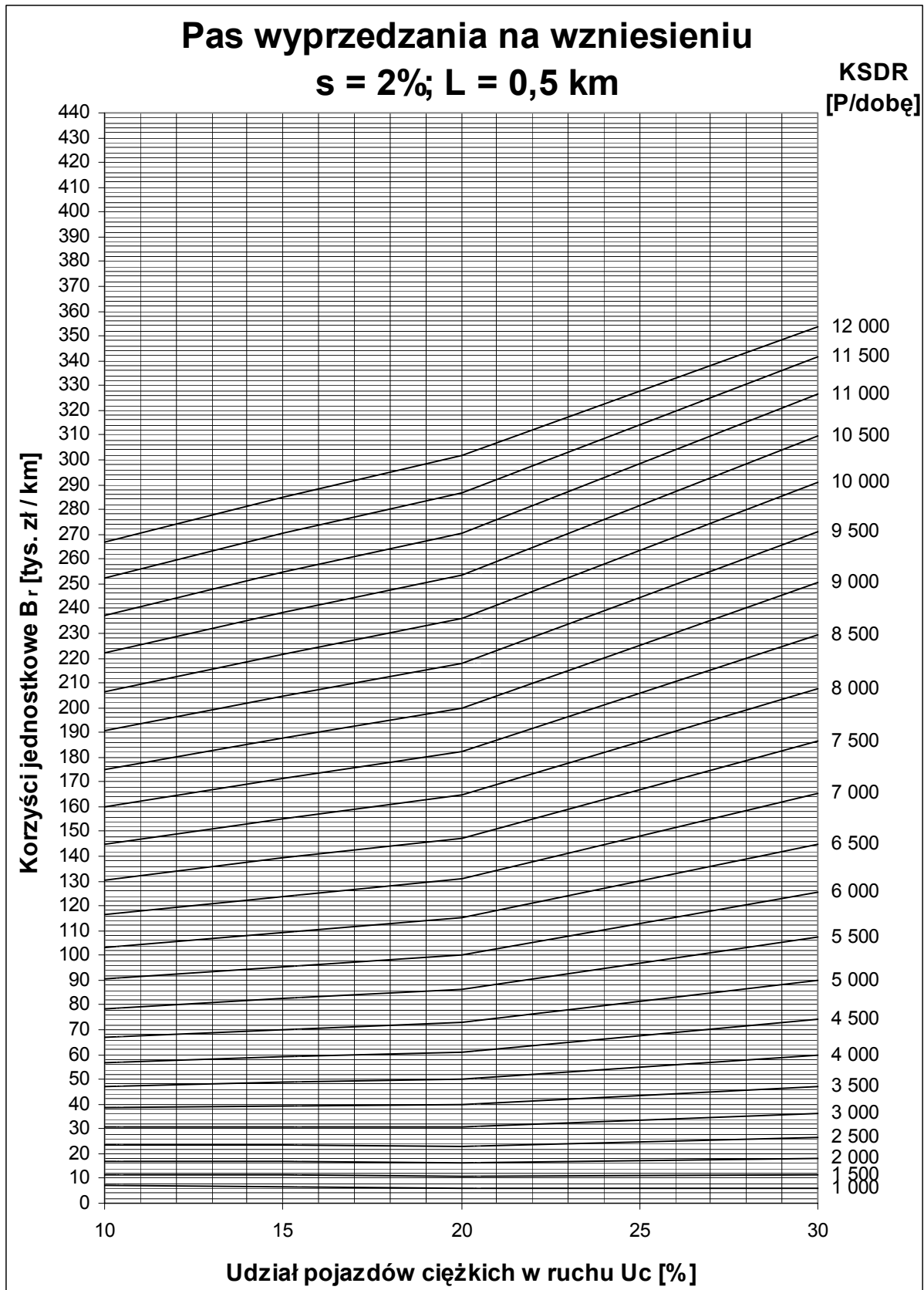
*s* – miarodajne pochylenie podłużne na długości pasa wyprzedzania [%],

*L* – długość pasa wyprzedzania na wzniesieniu [km],

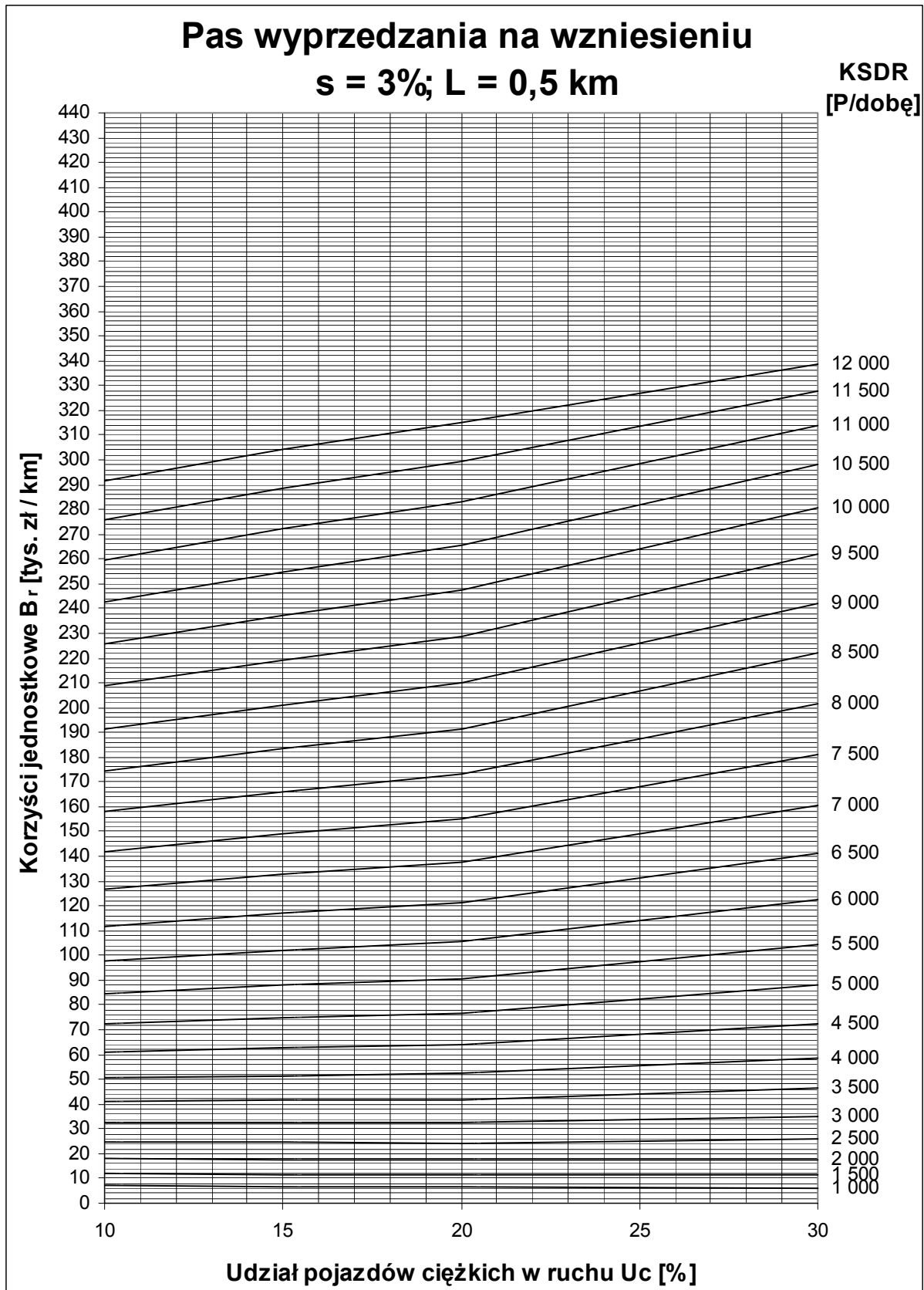
*U<sub>c</sub>* – udział pojazdów ciężkich w ruchu [%],

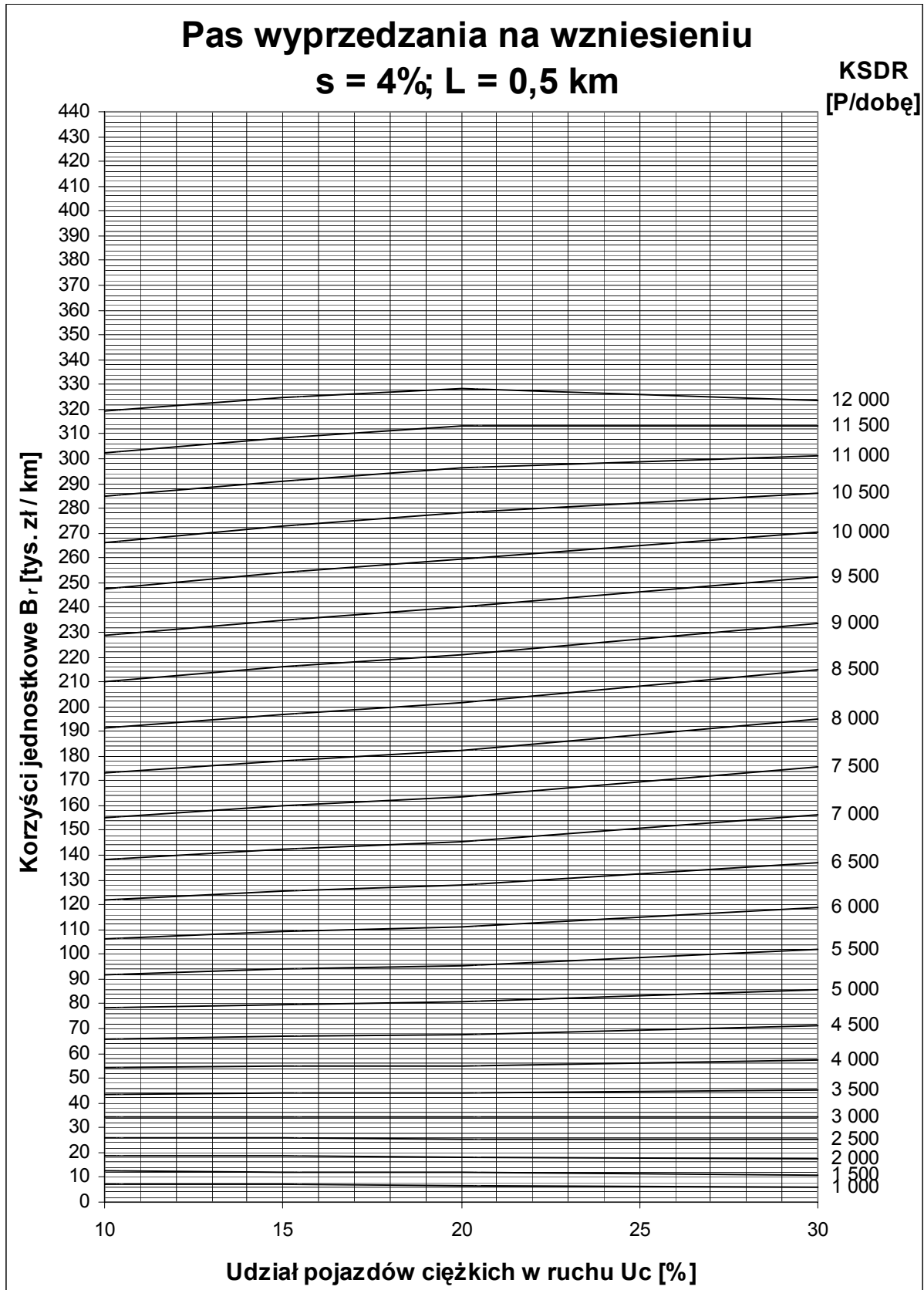
*B<sub>r</sub>* – roczne jednostkowe korzyści użytkowników [tyś. zł/km],

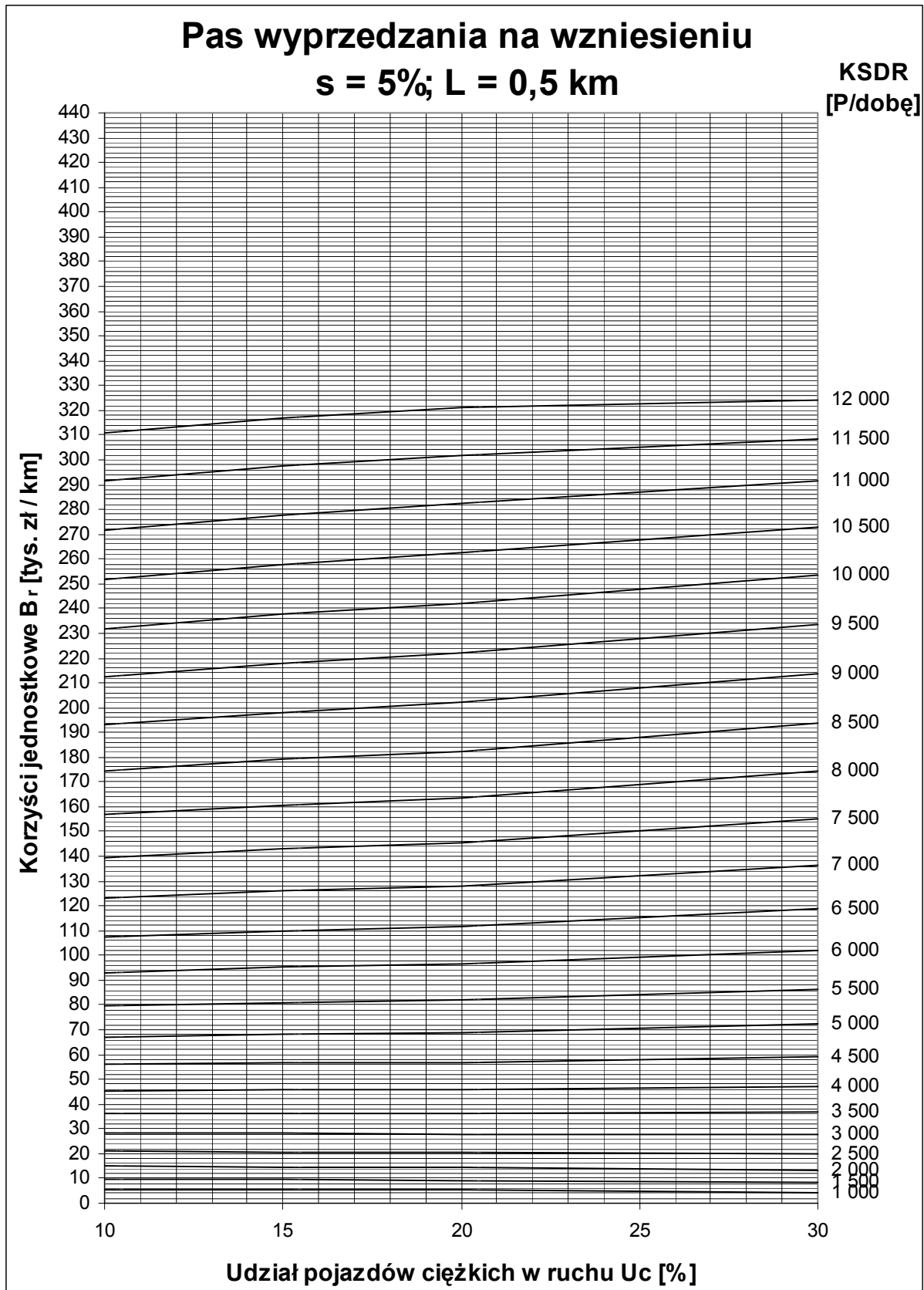
*KSDR* – kierunkowy średni dobowy ruch w roku [P/dobę].

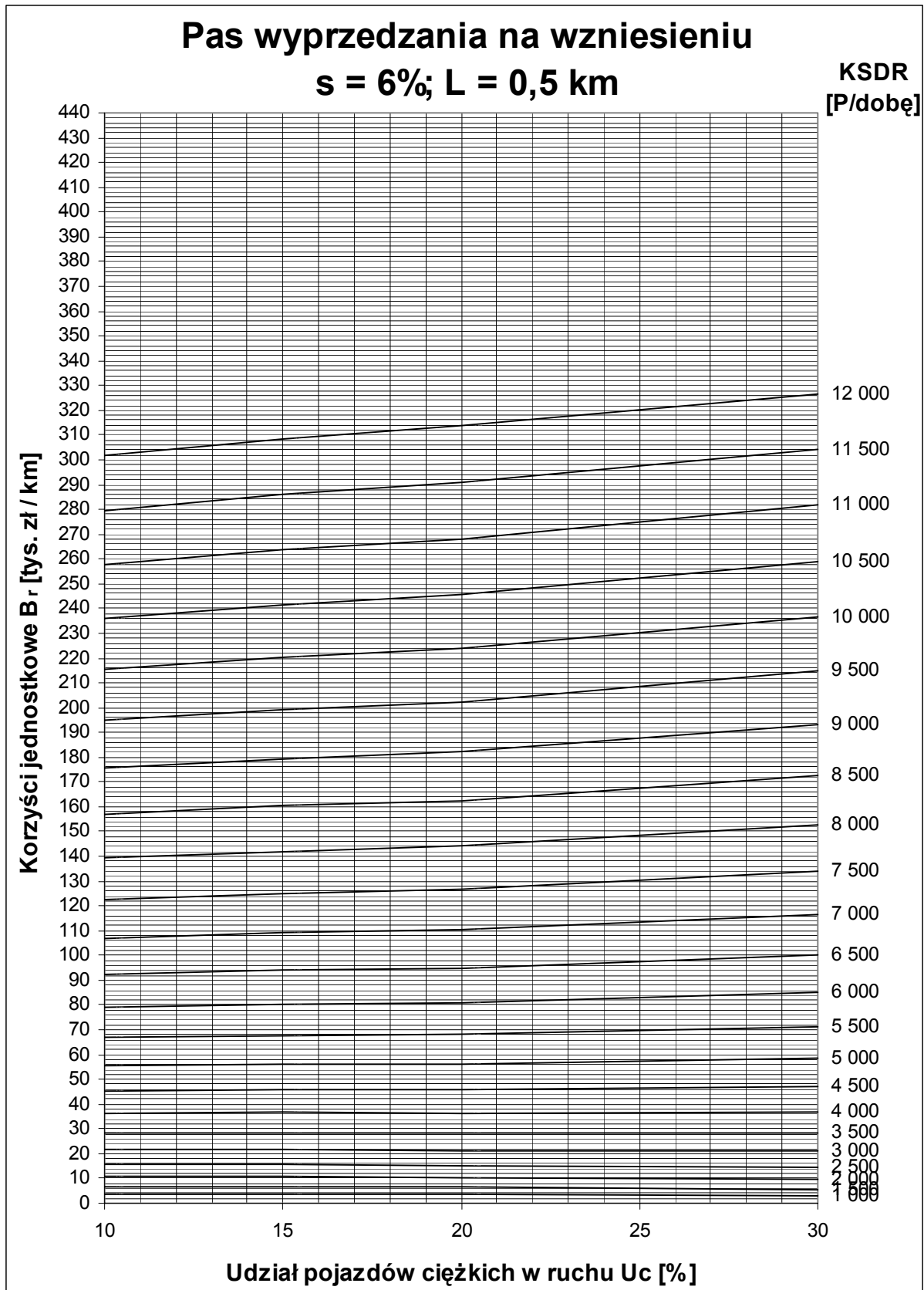


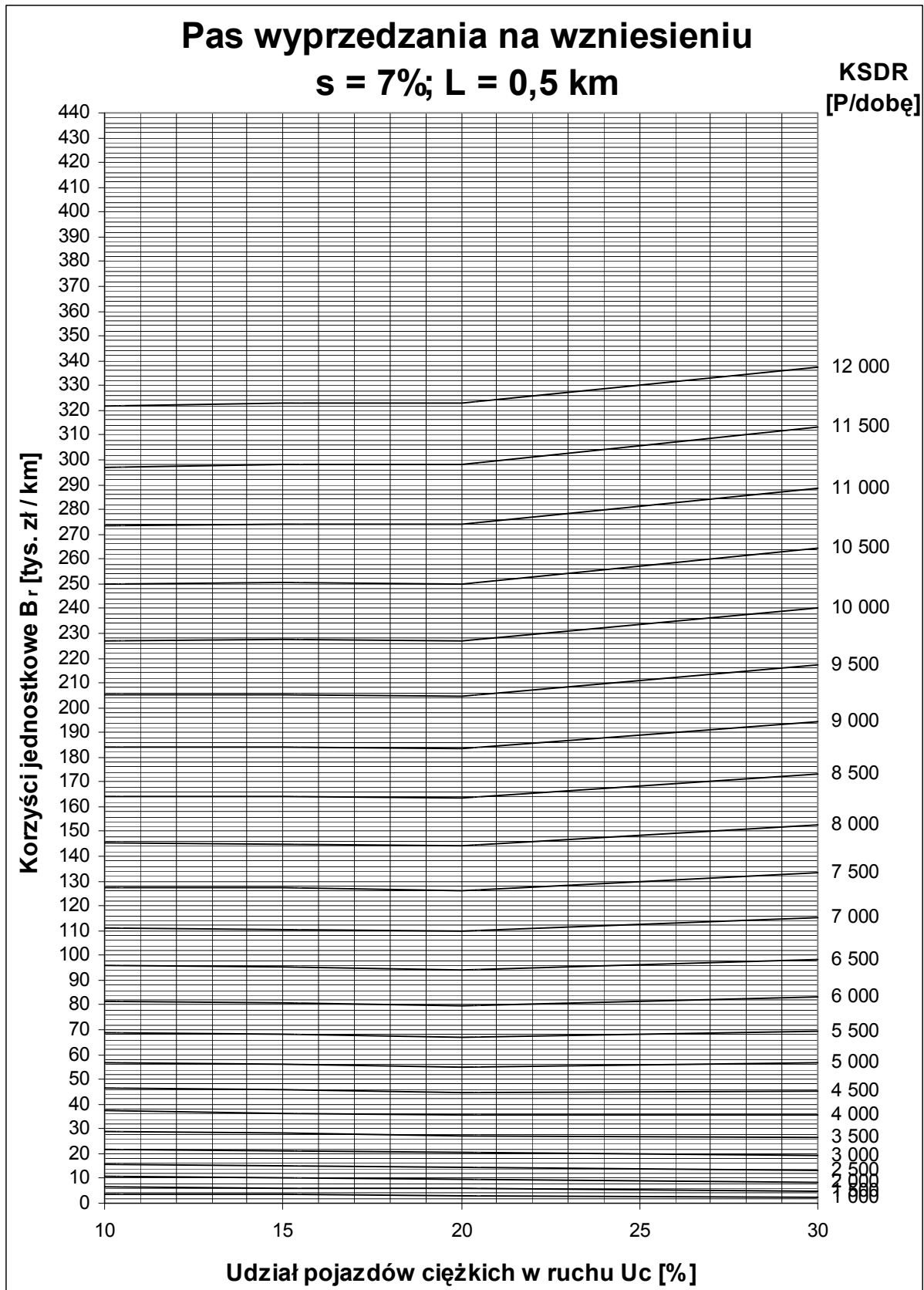


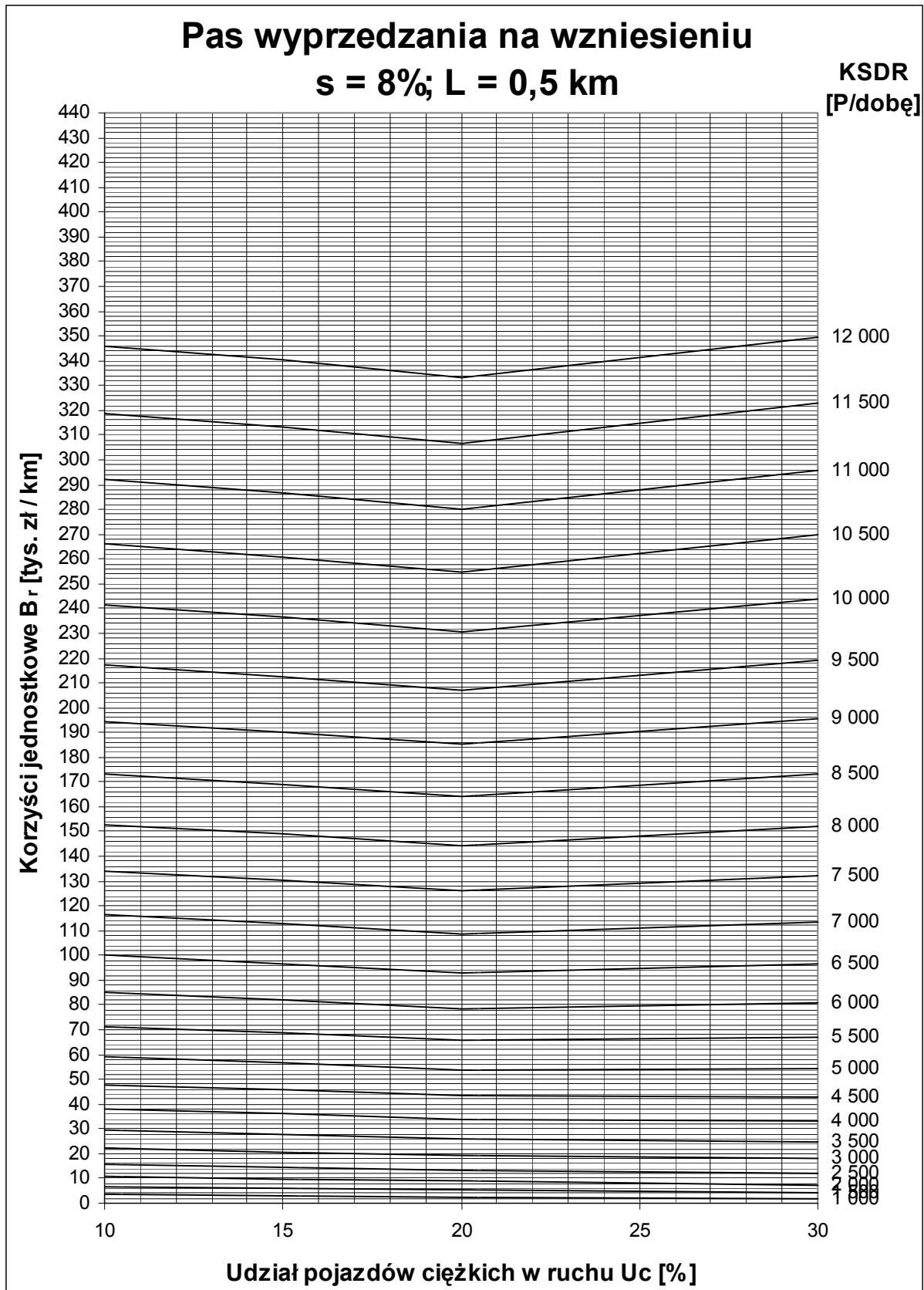


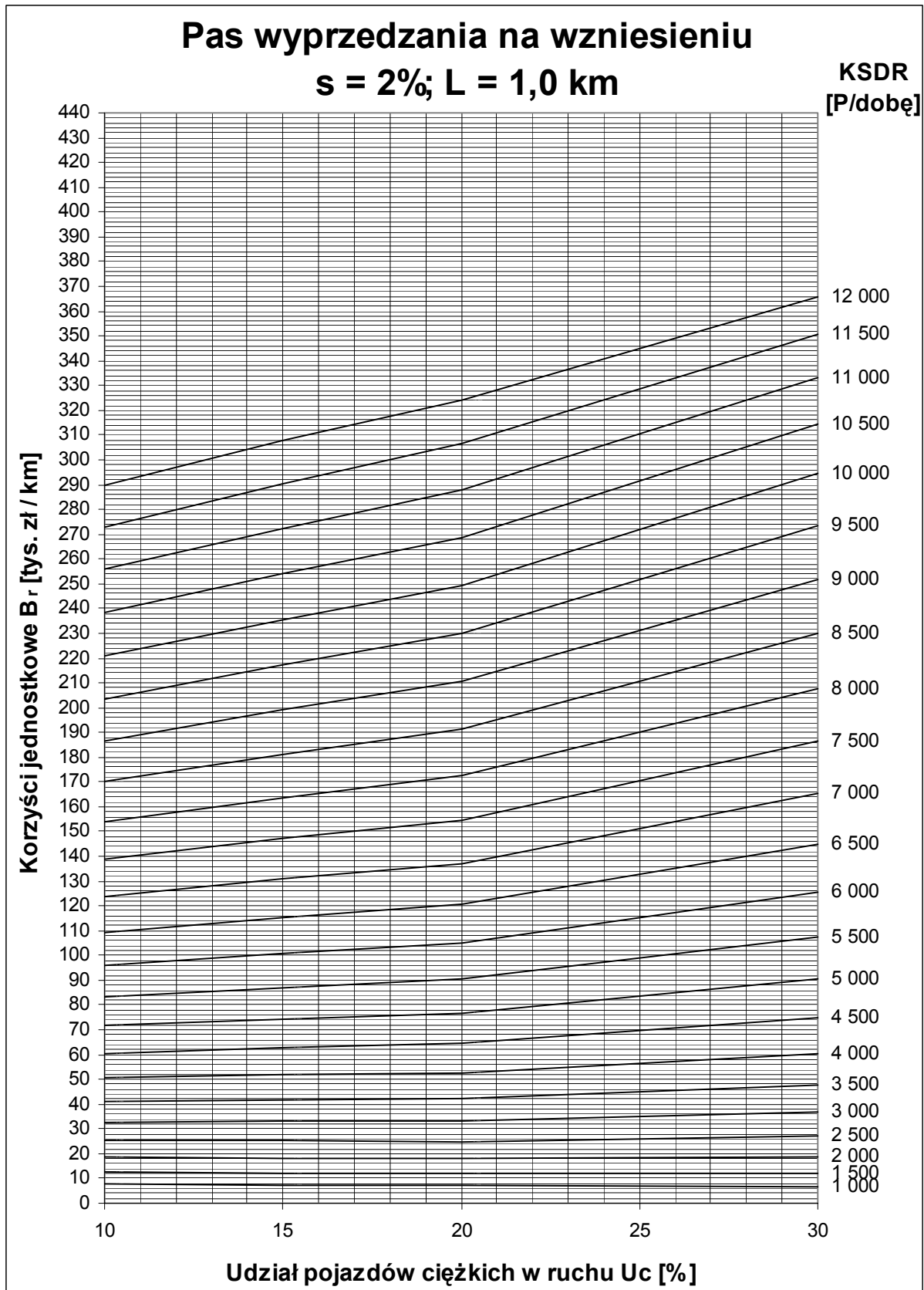


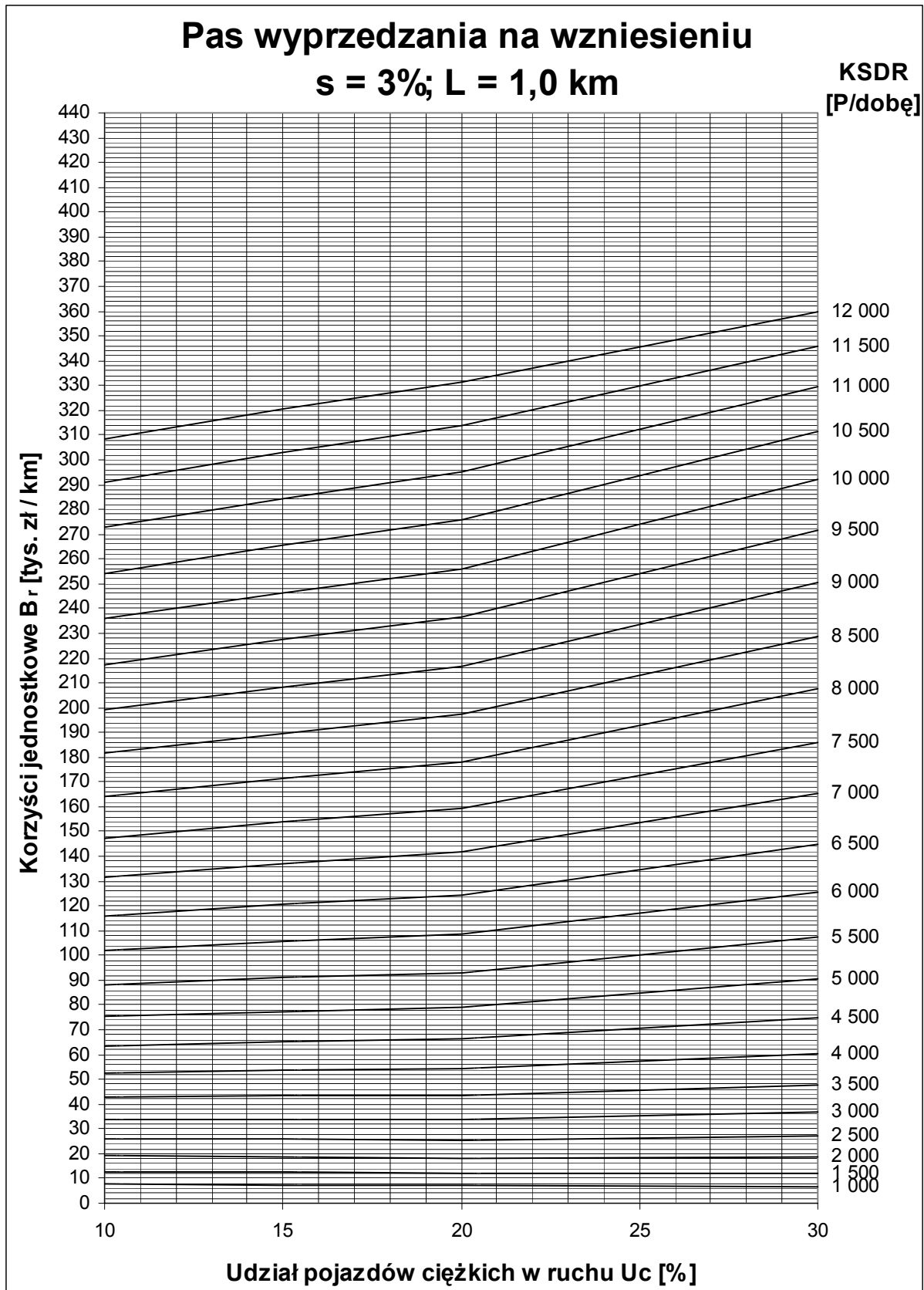




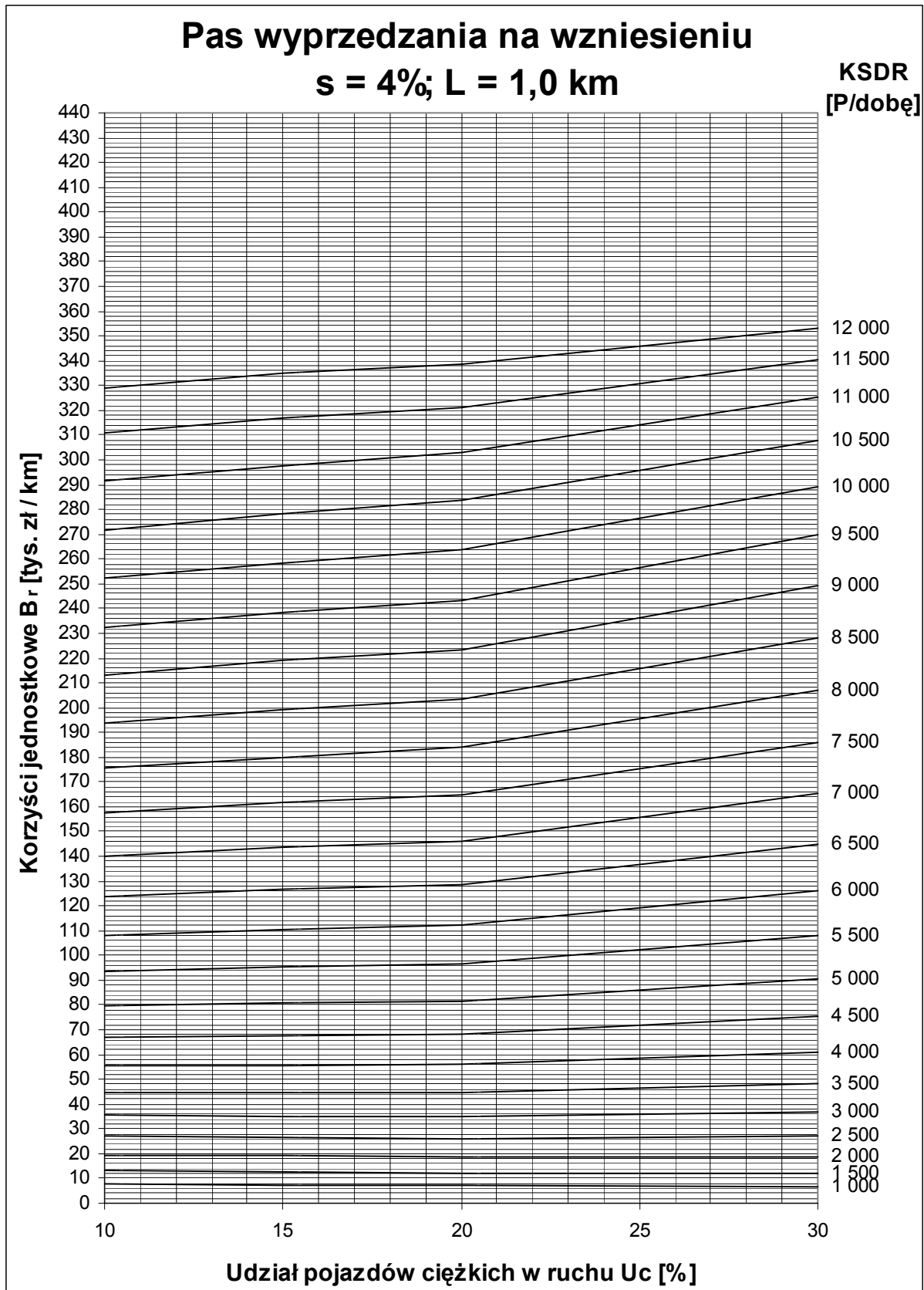


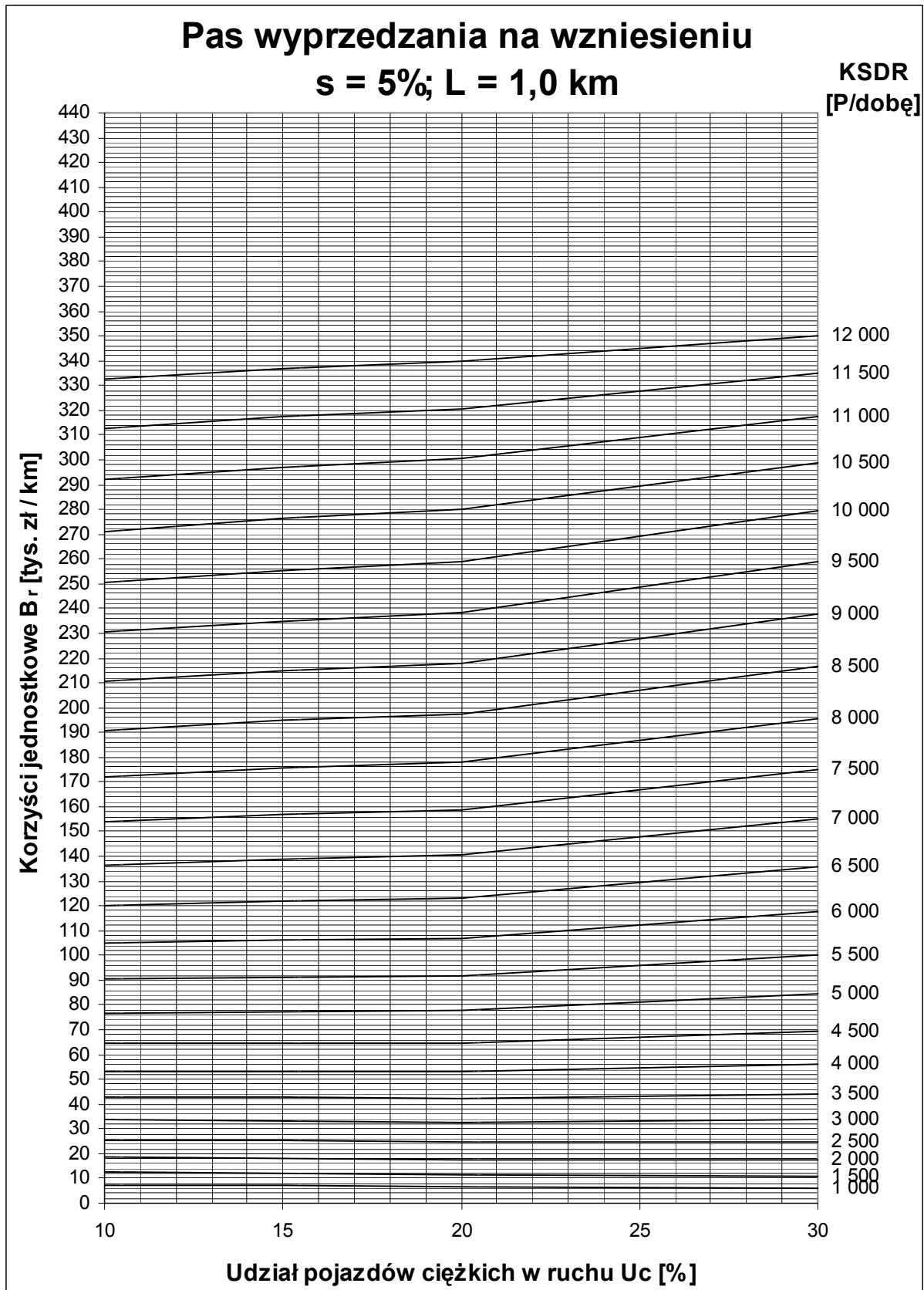


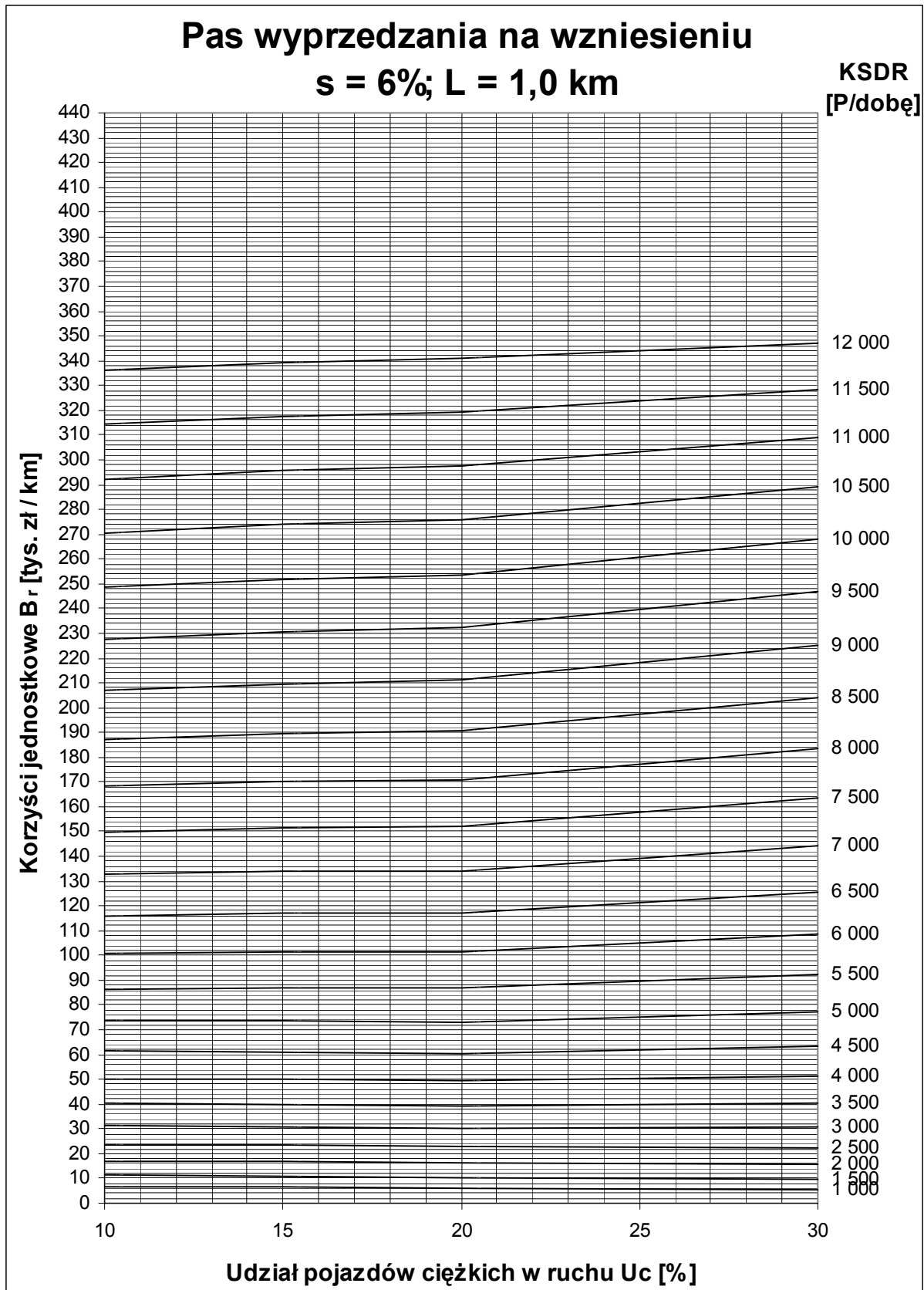


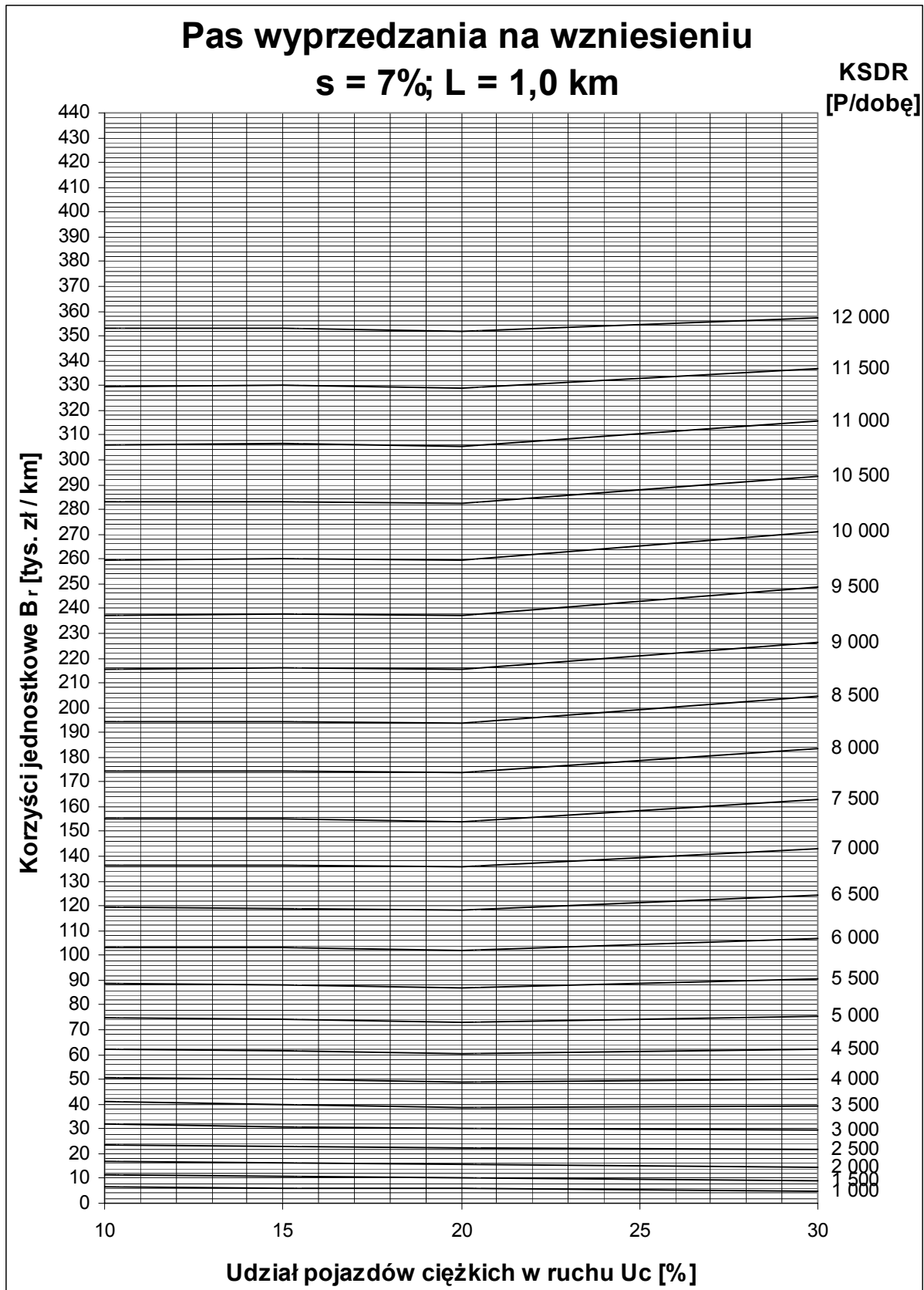


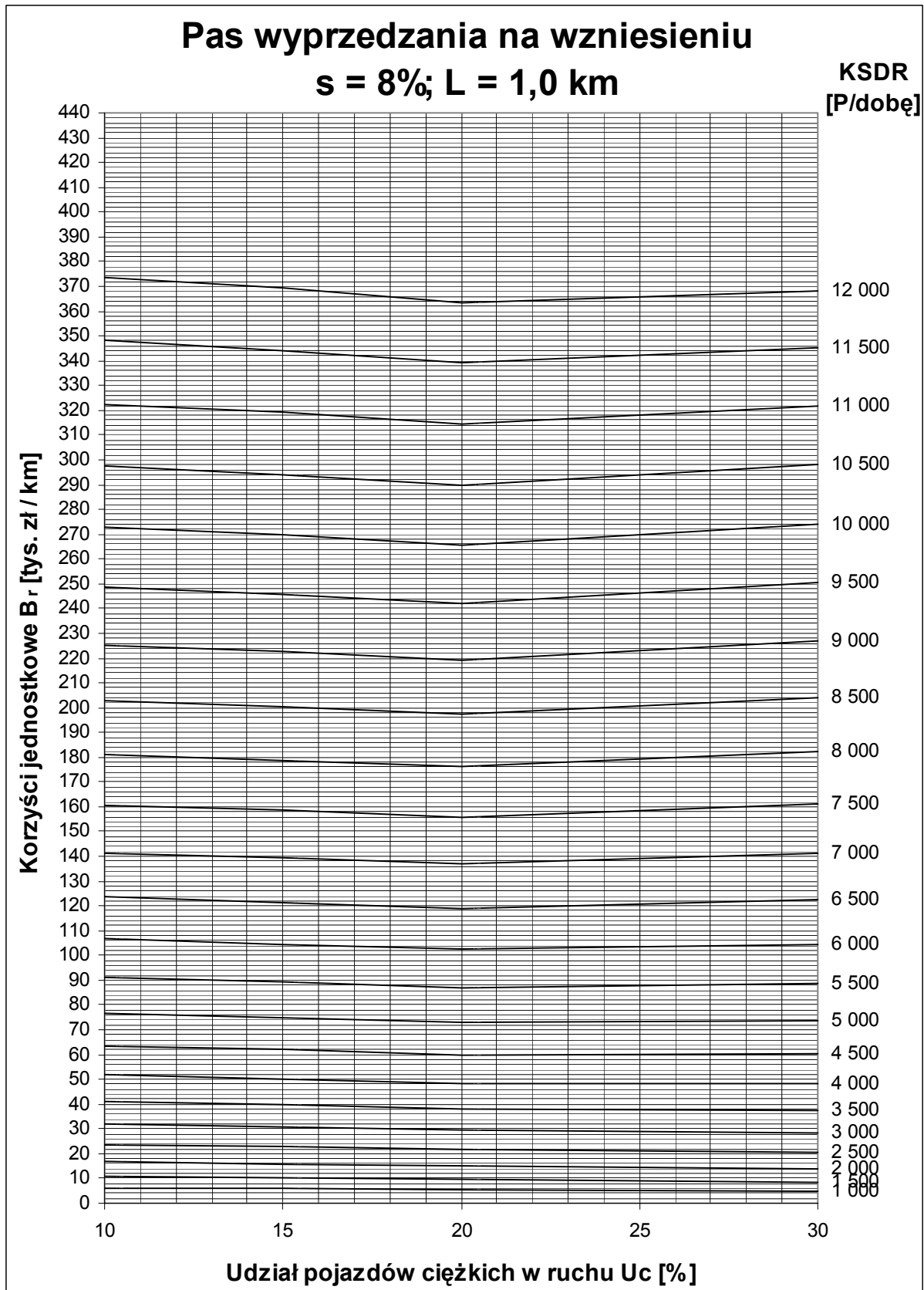


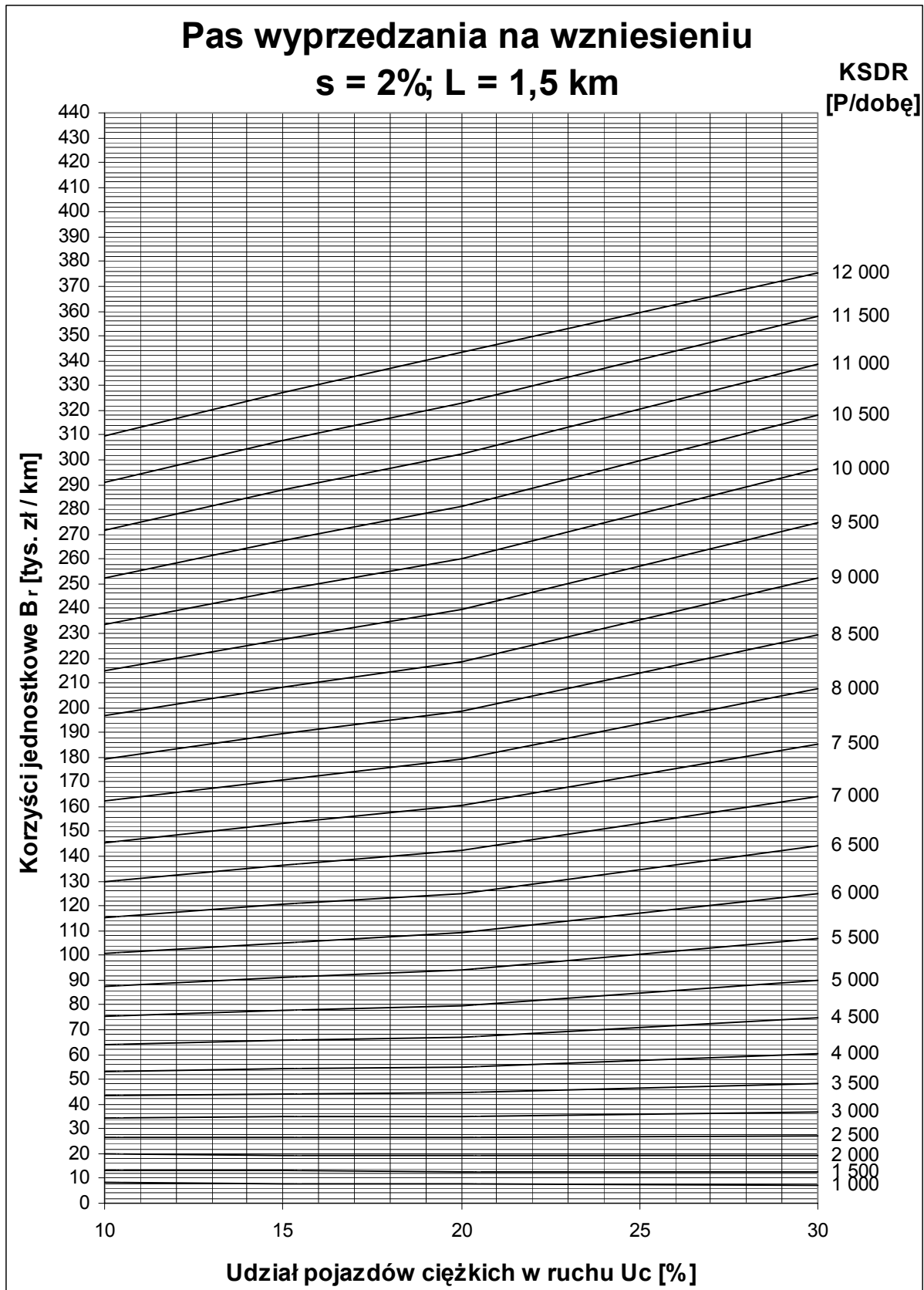


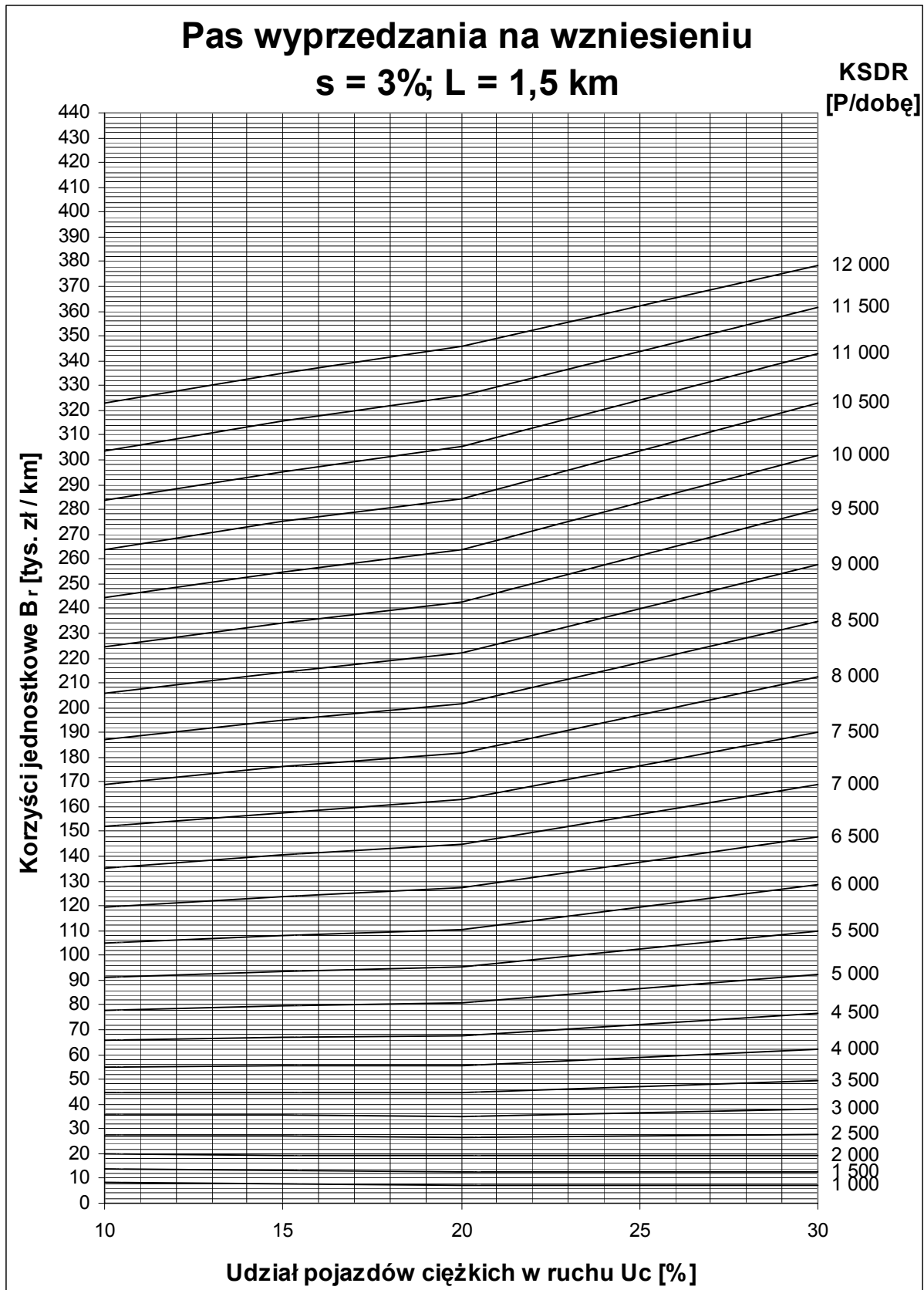


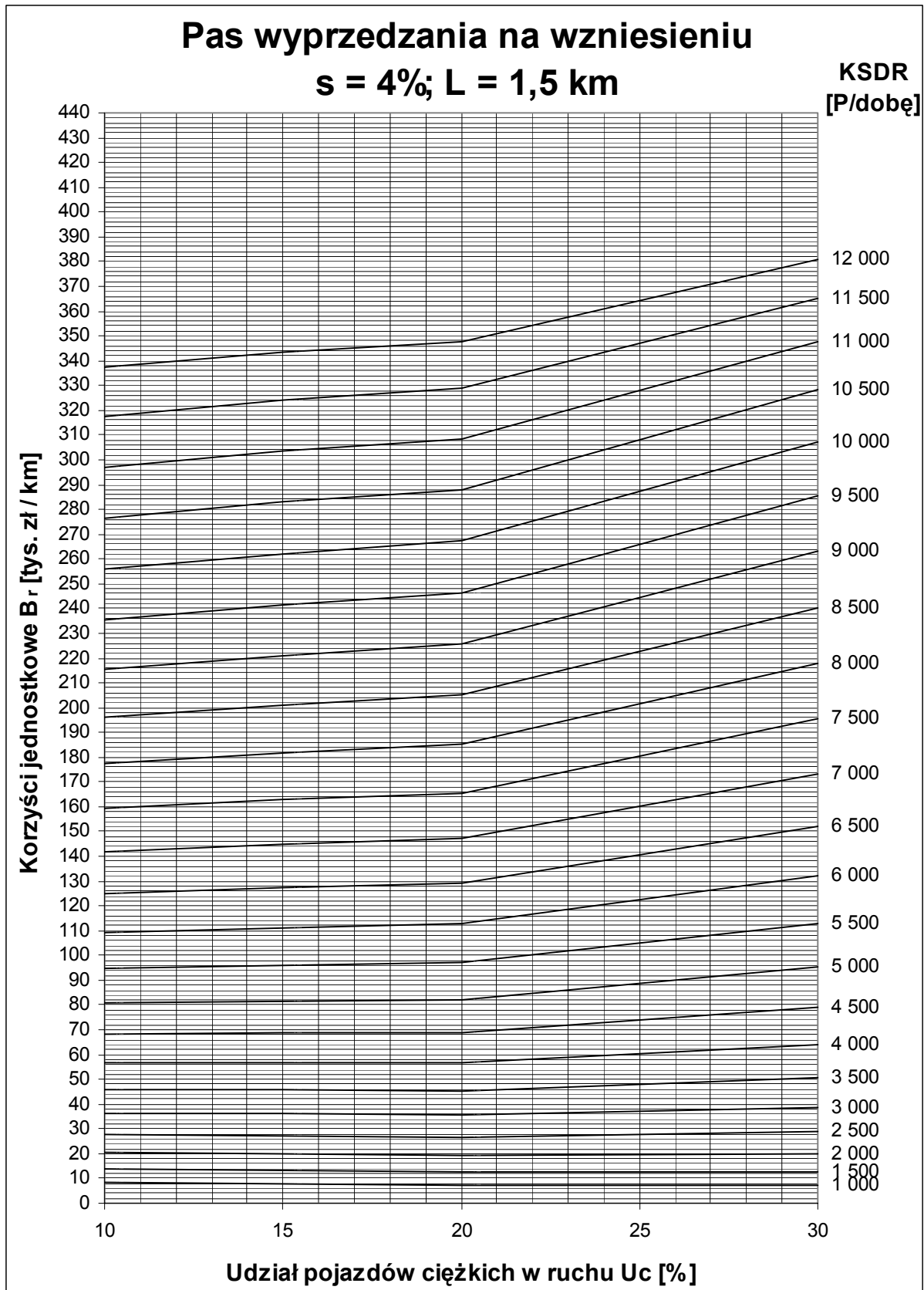




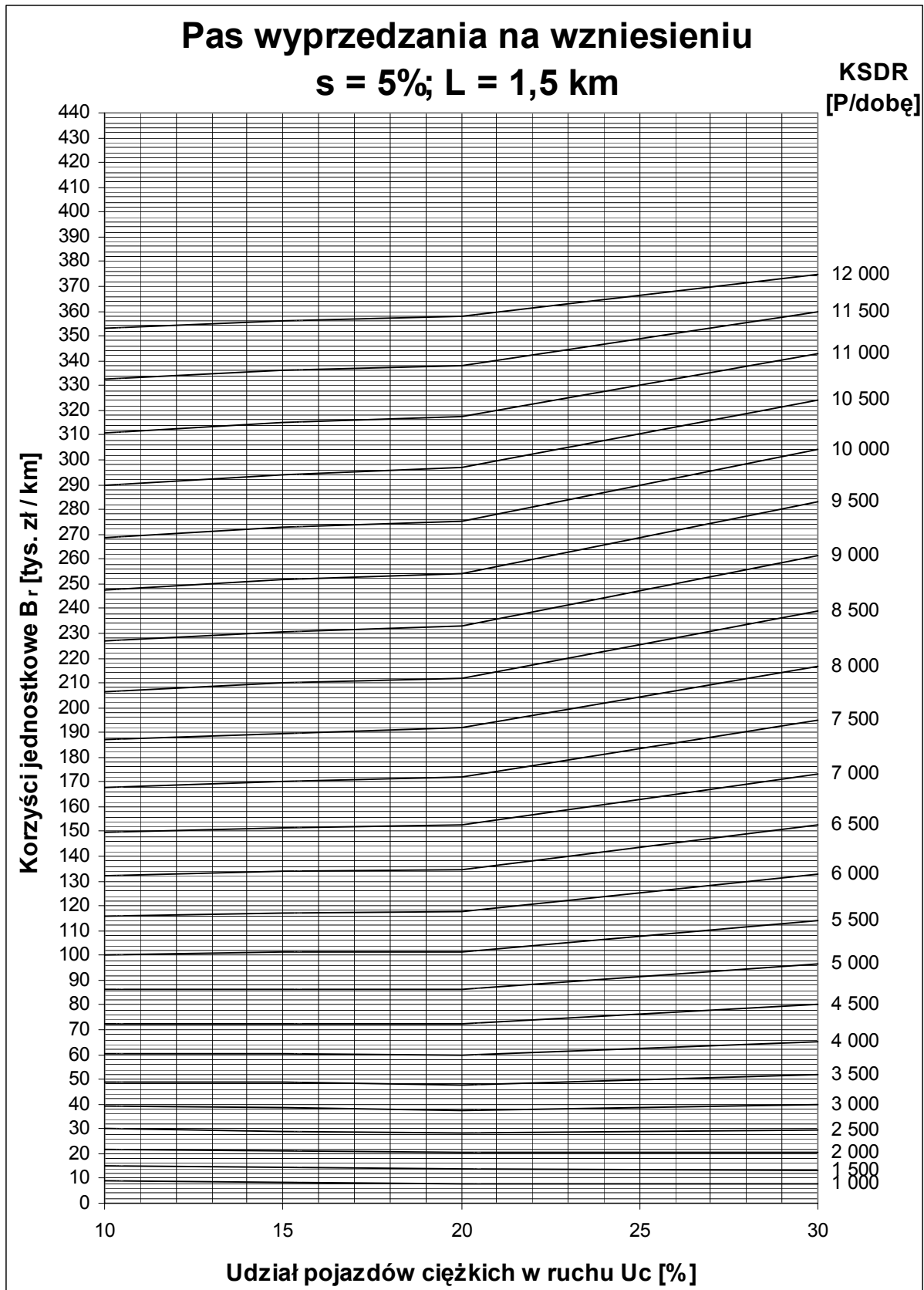


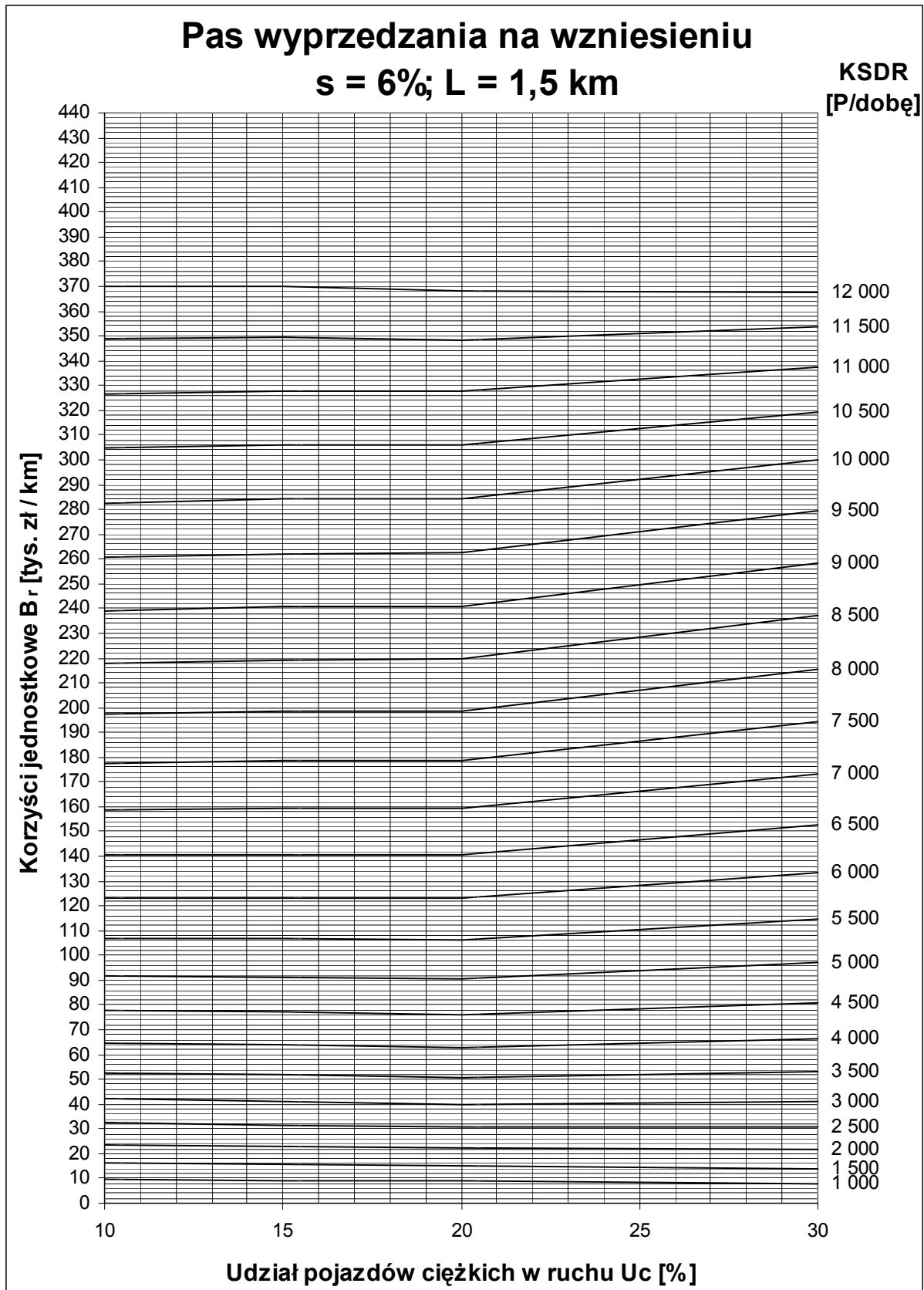


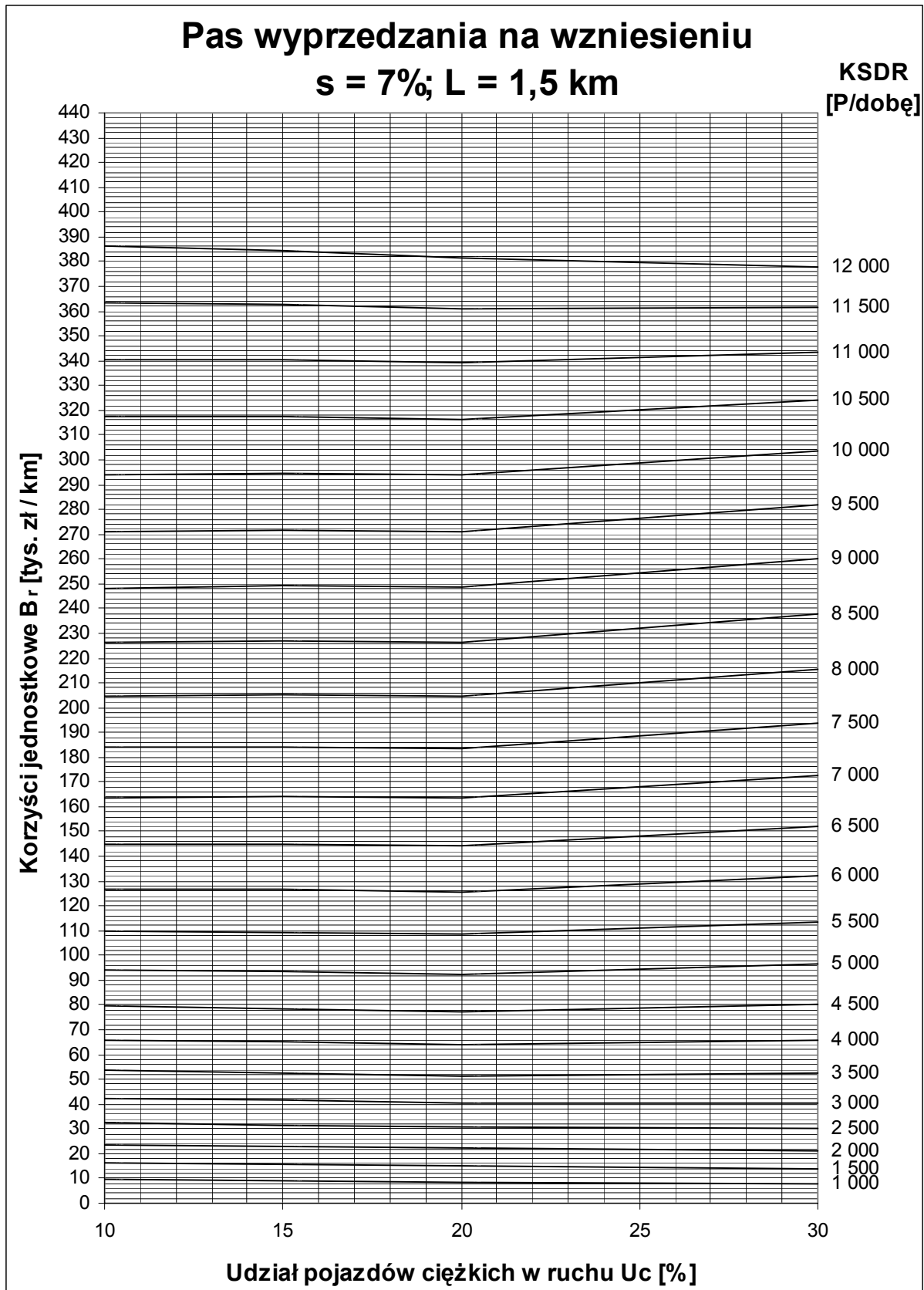


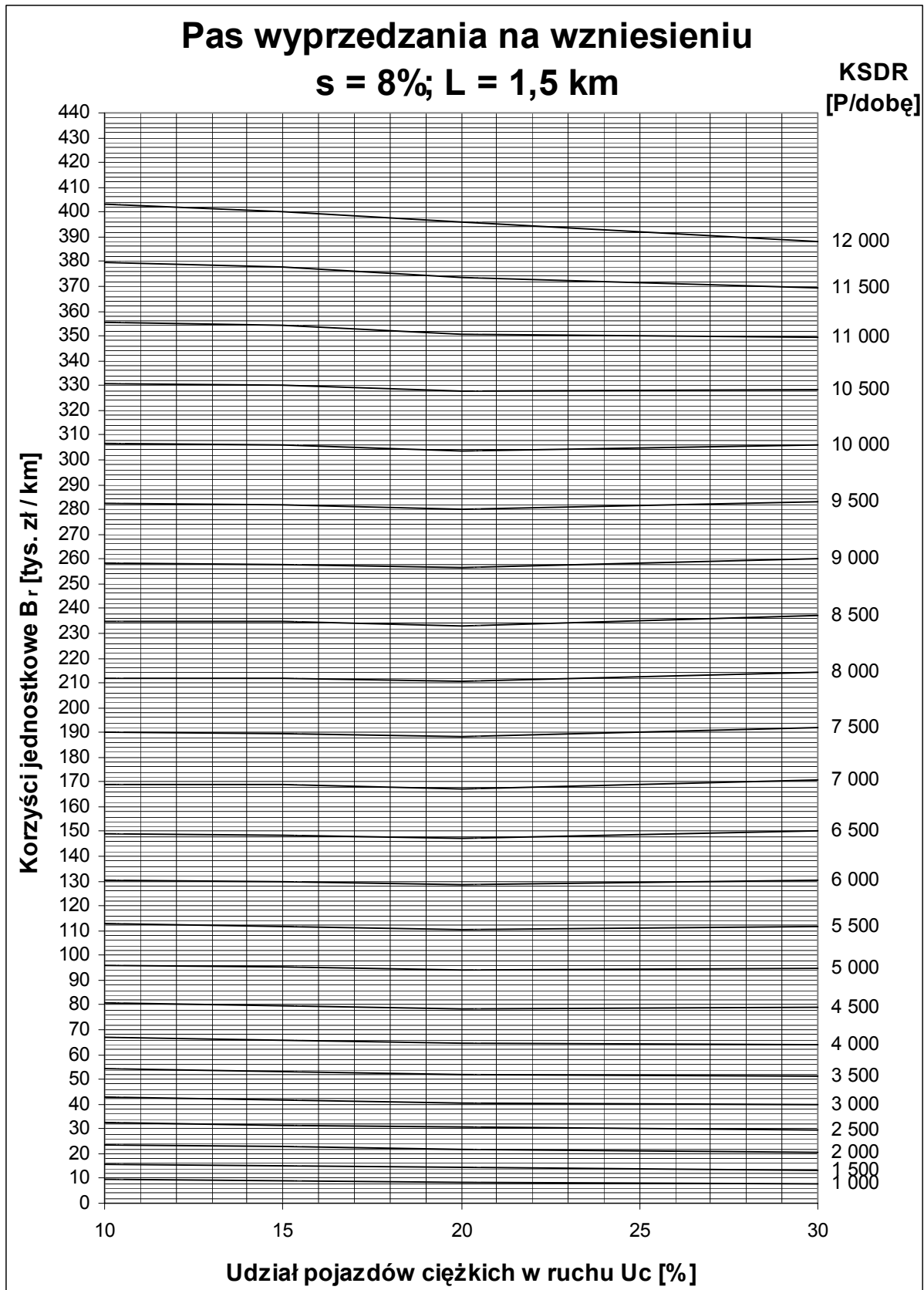


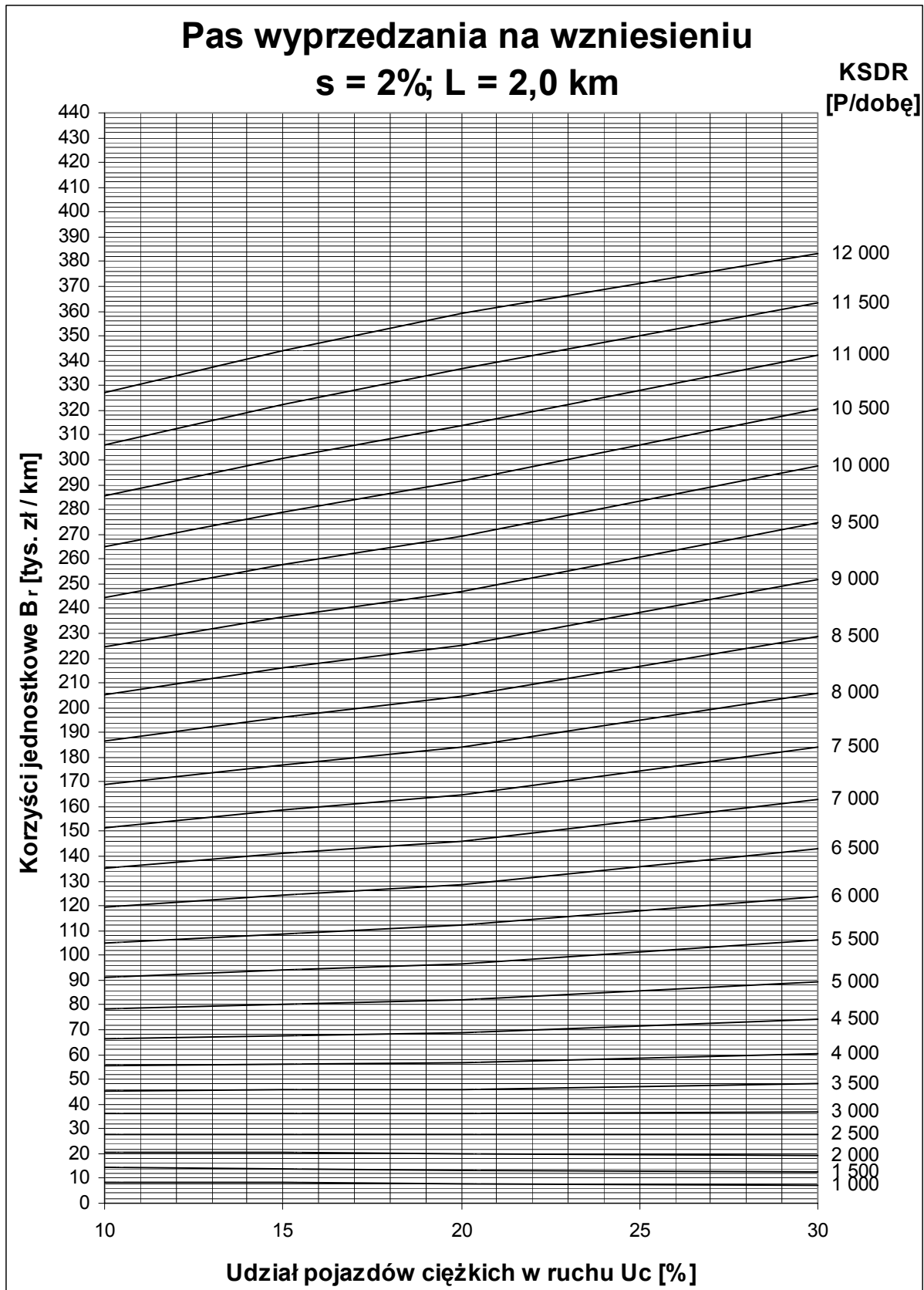


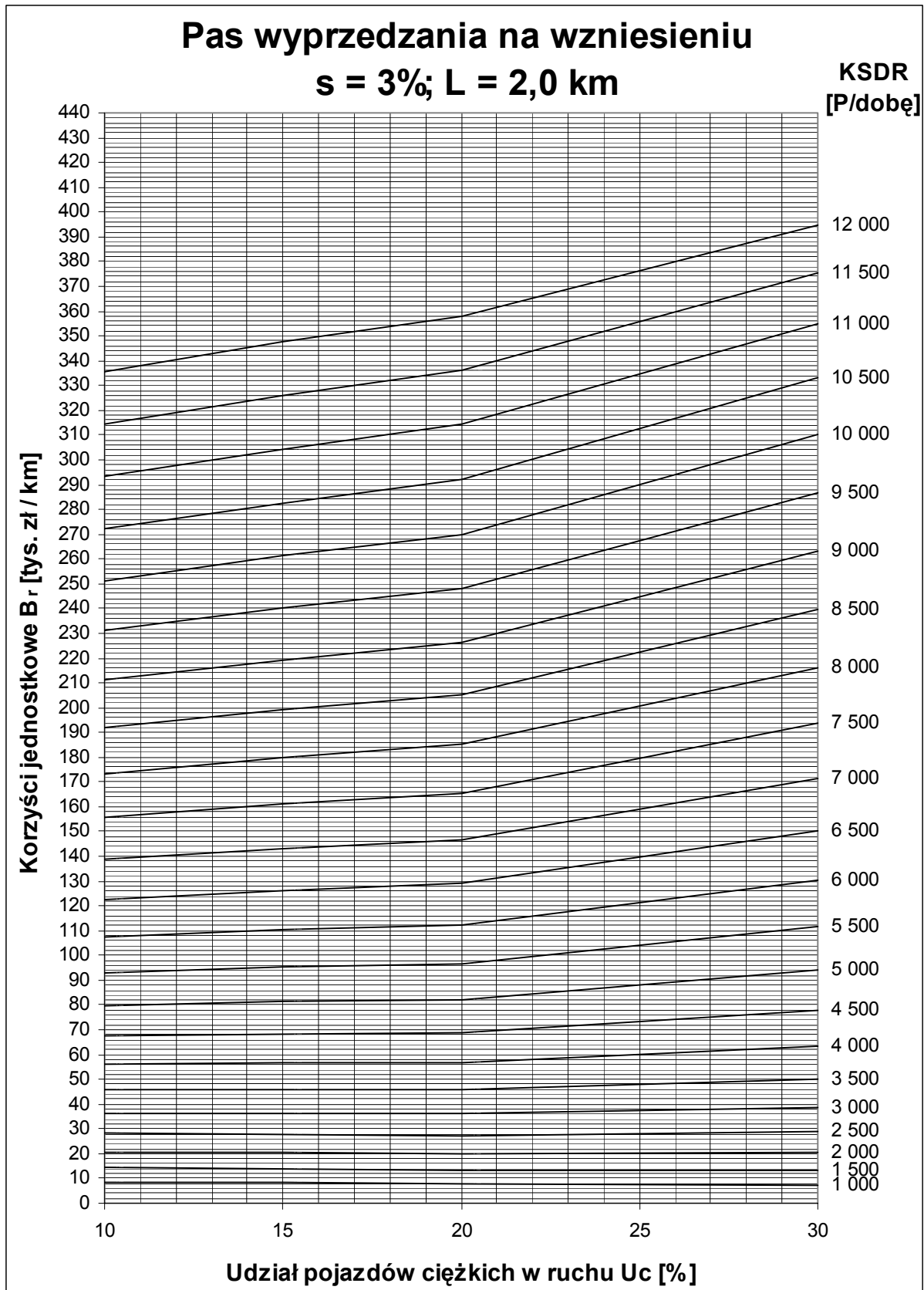


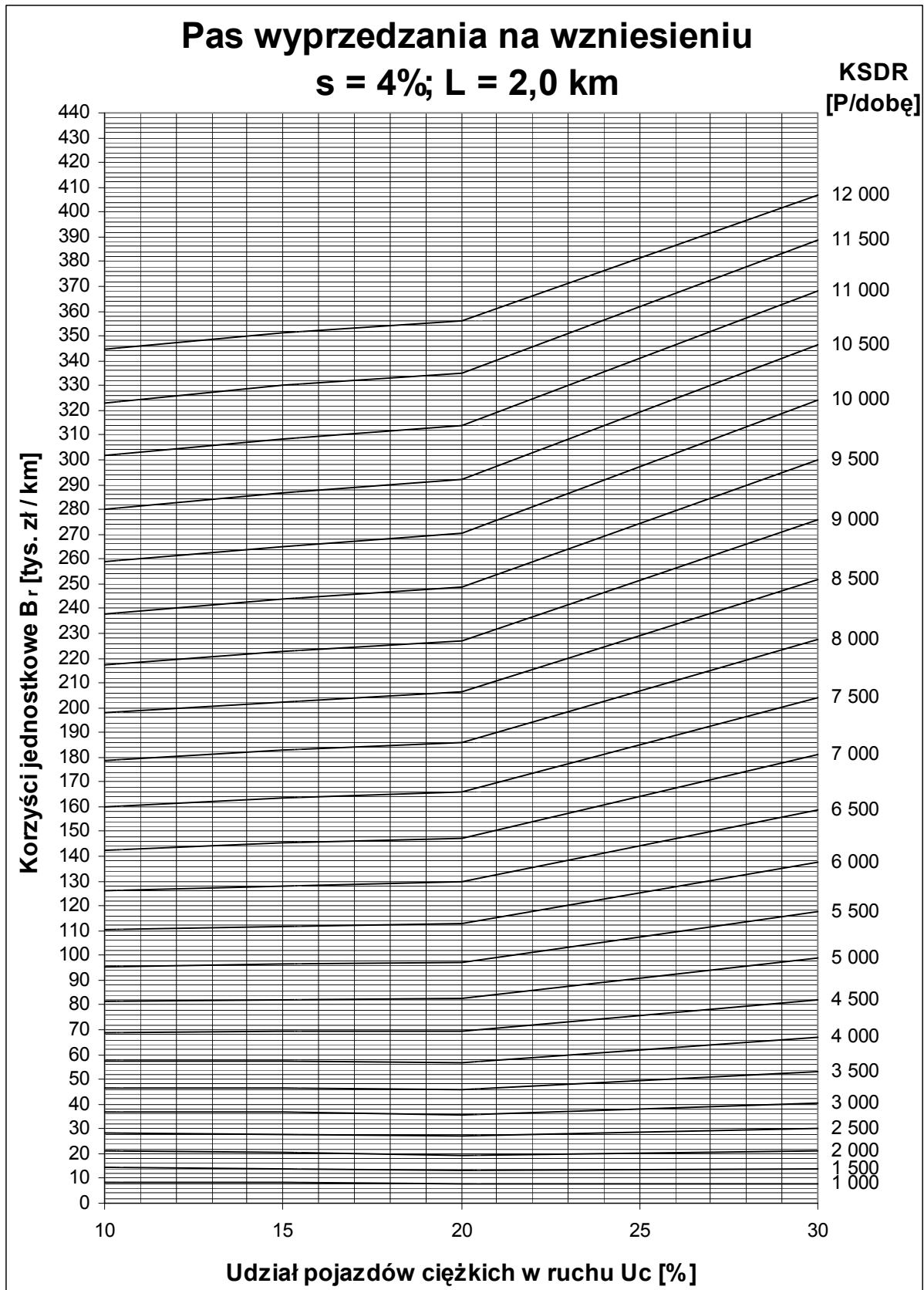


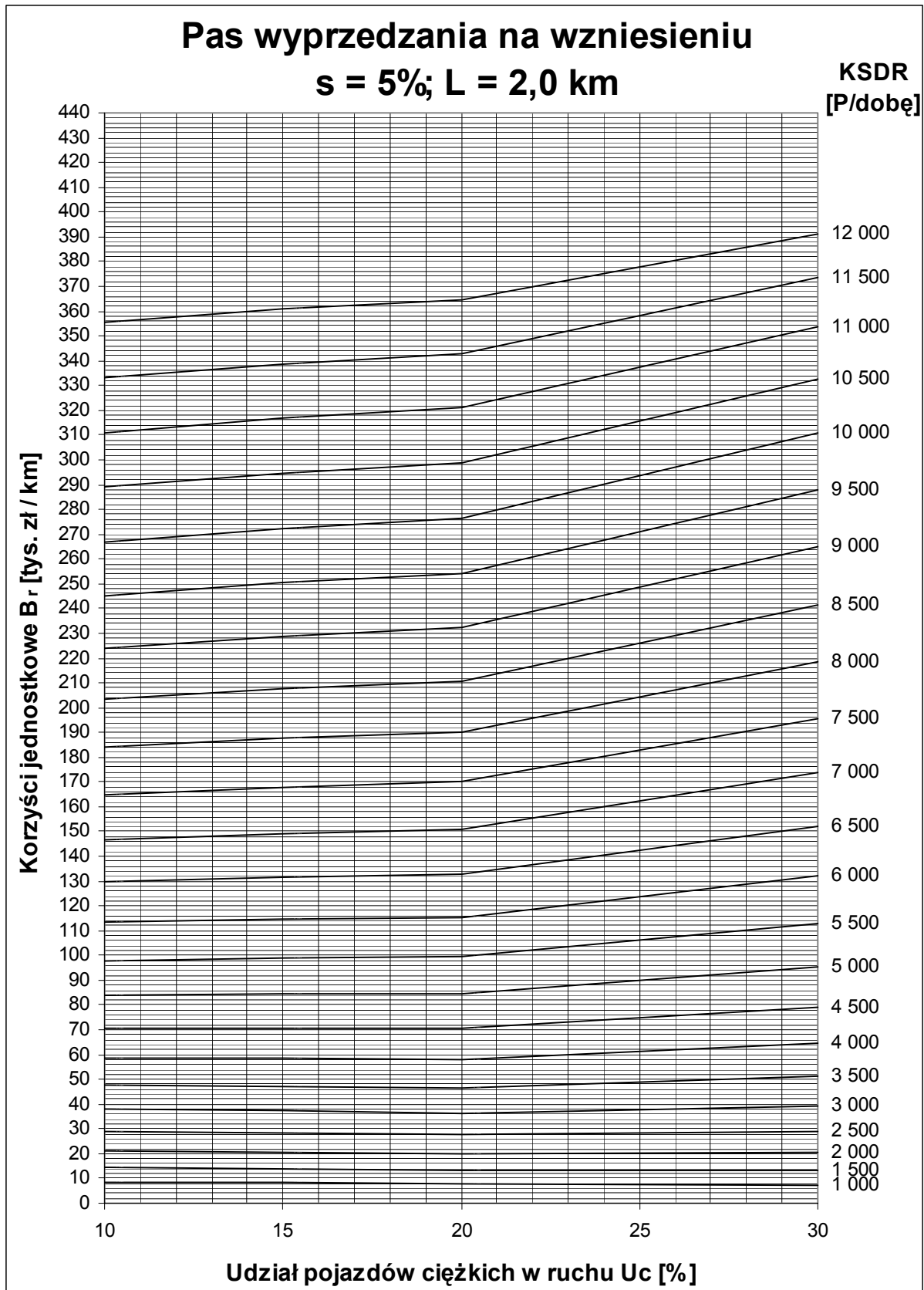




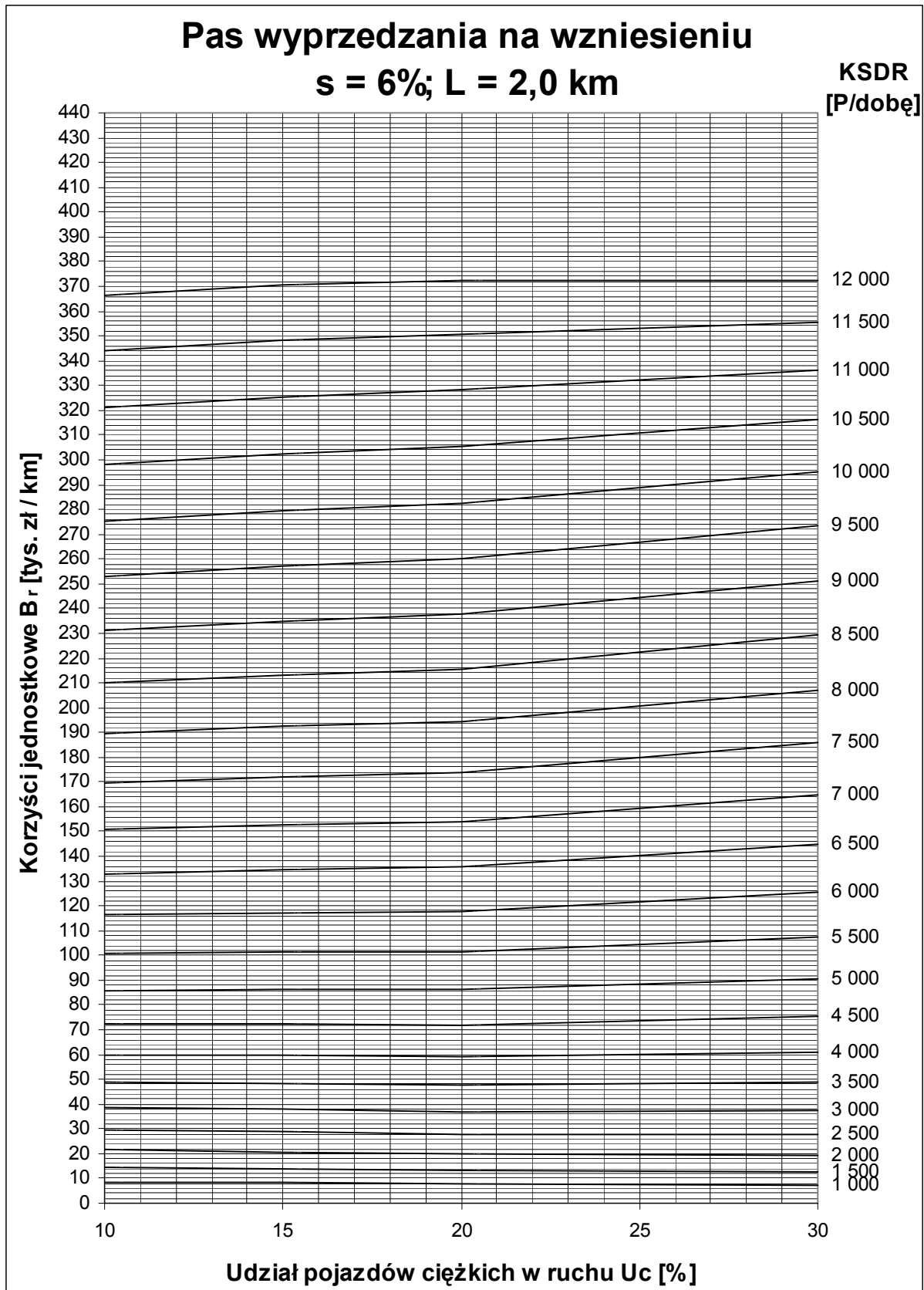


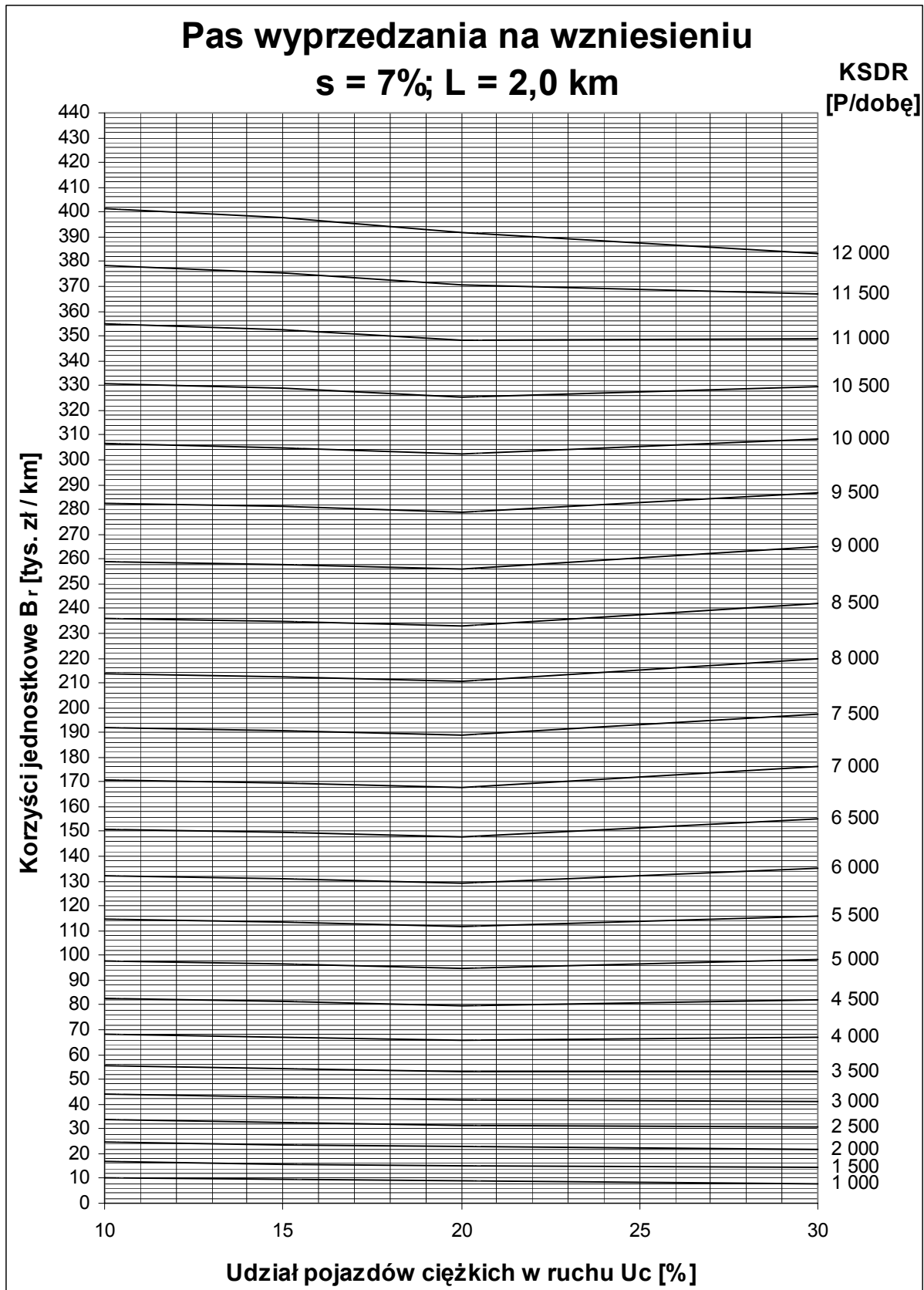


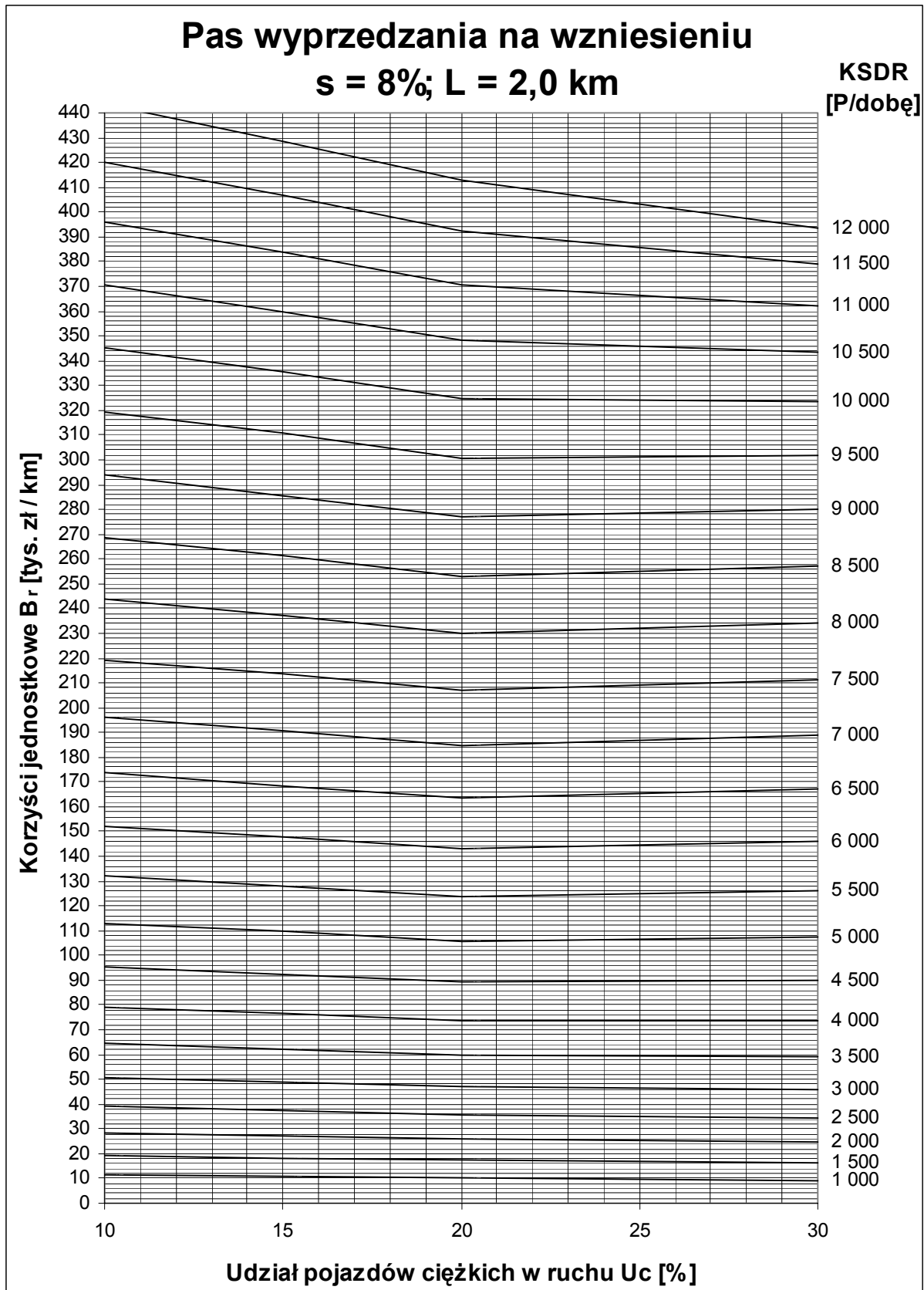












**ZAŁĄCZNIK NR 2:**

**Nomogramy do wyznaczania jednostkowych korzyści użytkowników wynikających z wprowadzenia pasa wyprzedzania poza wzniesieniem**

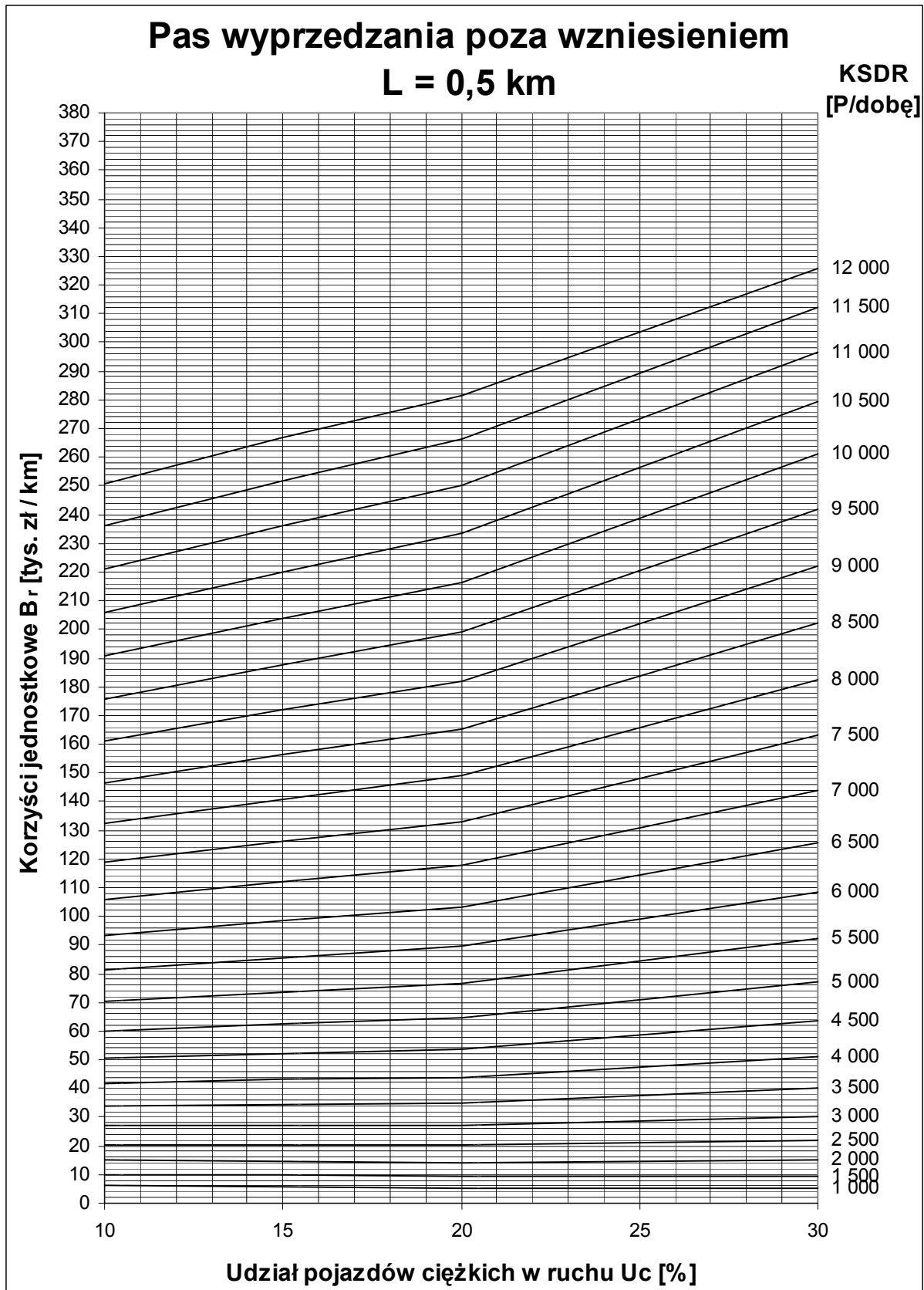
**Oznaczenia stosowane na nomogramach:**

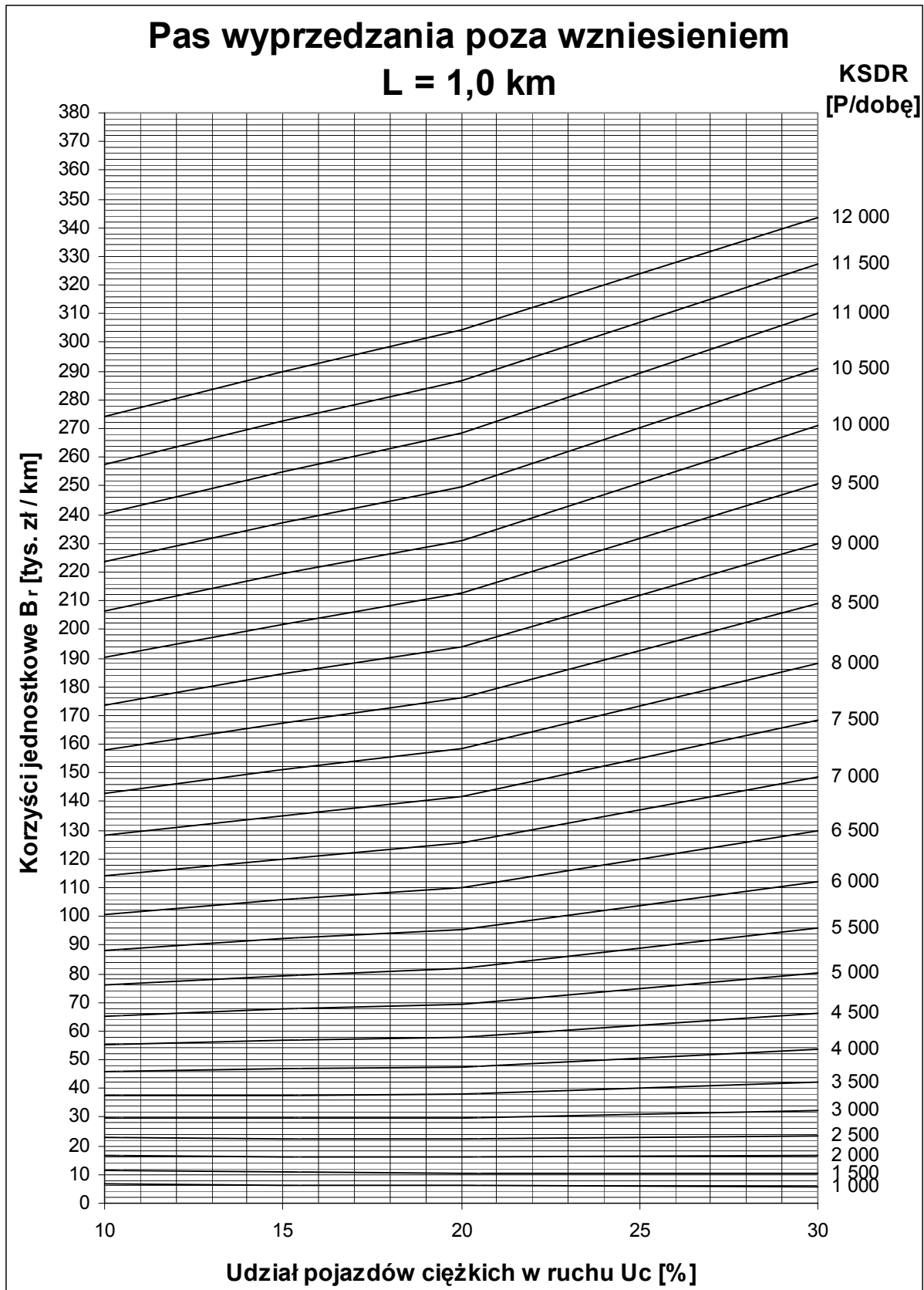
*L* – długość pasa wyprzedzania [km],

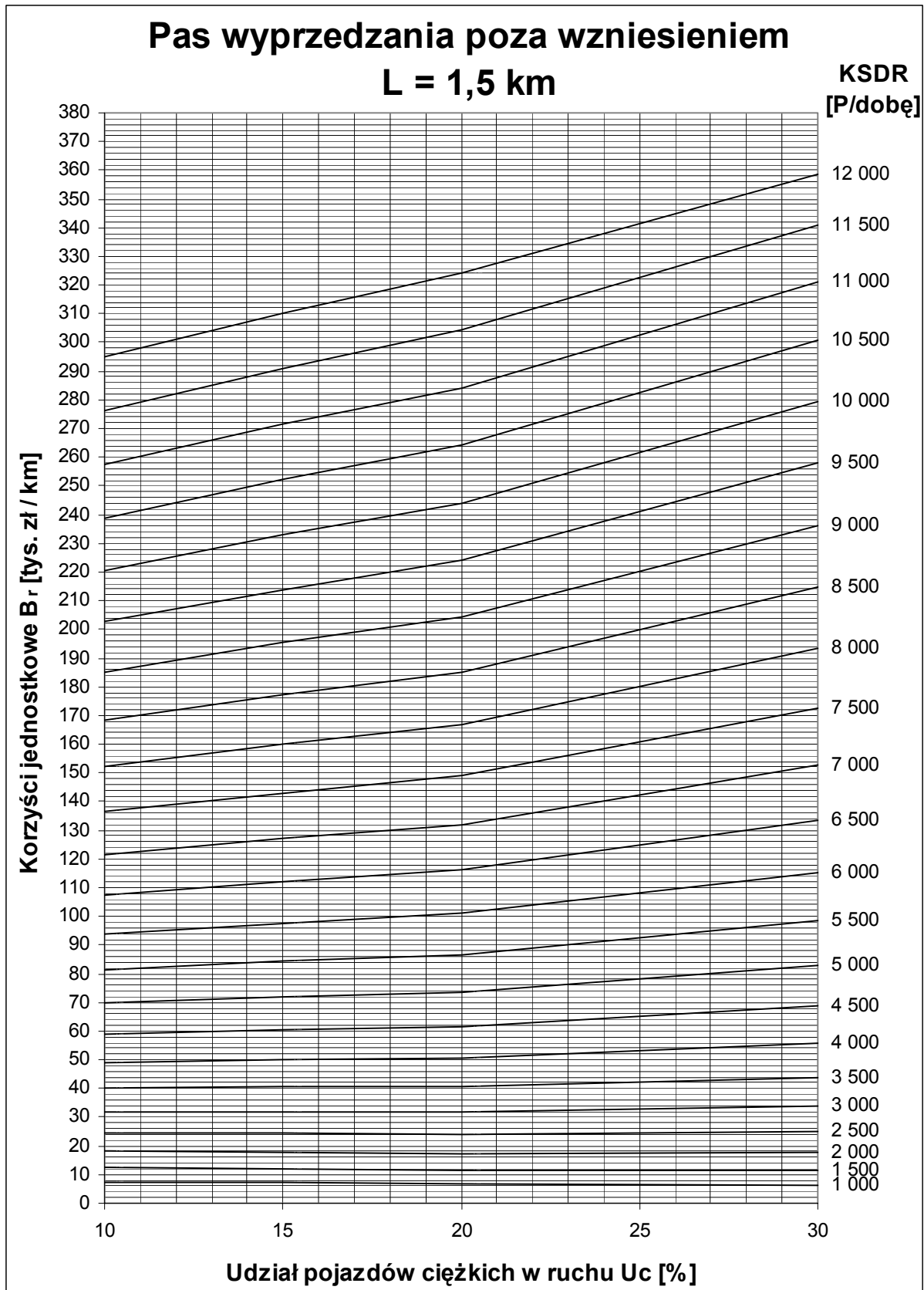
*U<sub>c</sub>* – udział pojazdów ciężkich w ruchu [%],

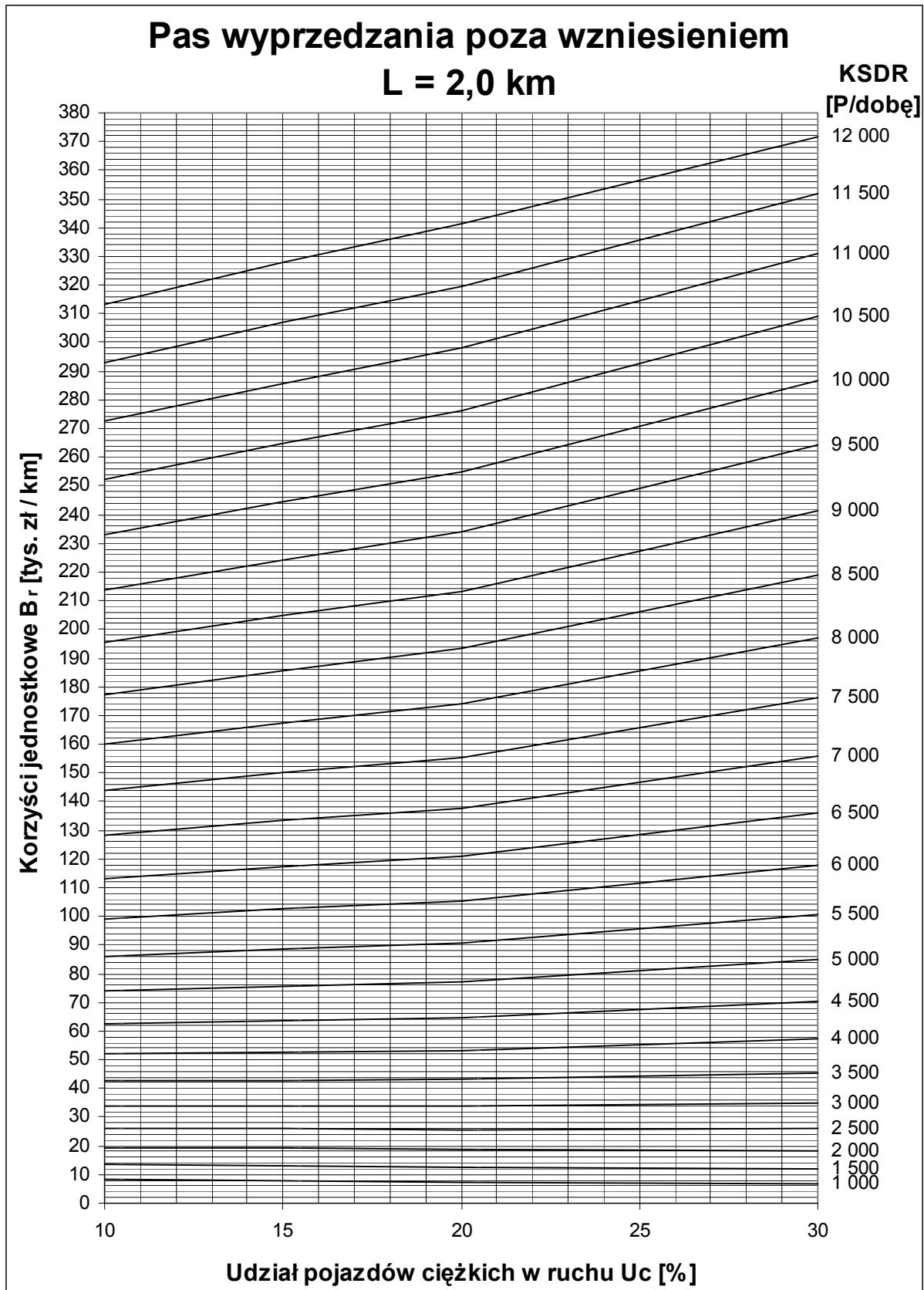
*B<sub>r</sub>* – roczne jednostkowe korzyści użytkowników [tyś. zł/km],

*KSDR* – kierunkowy średni dobowy ruch w roku [P/dobę].





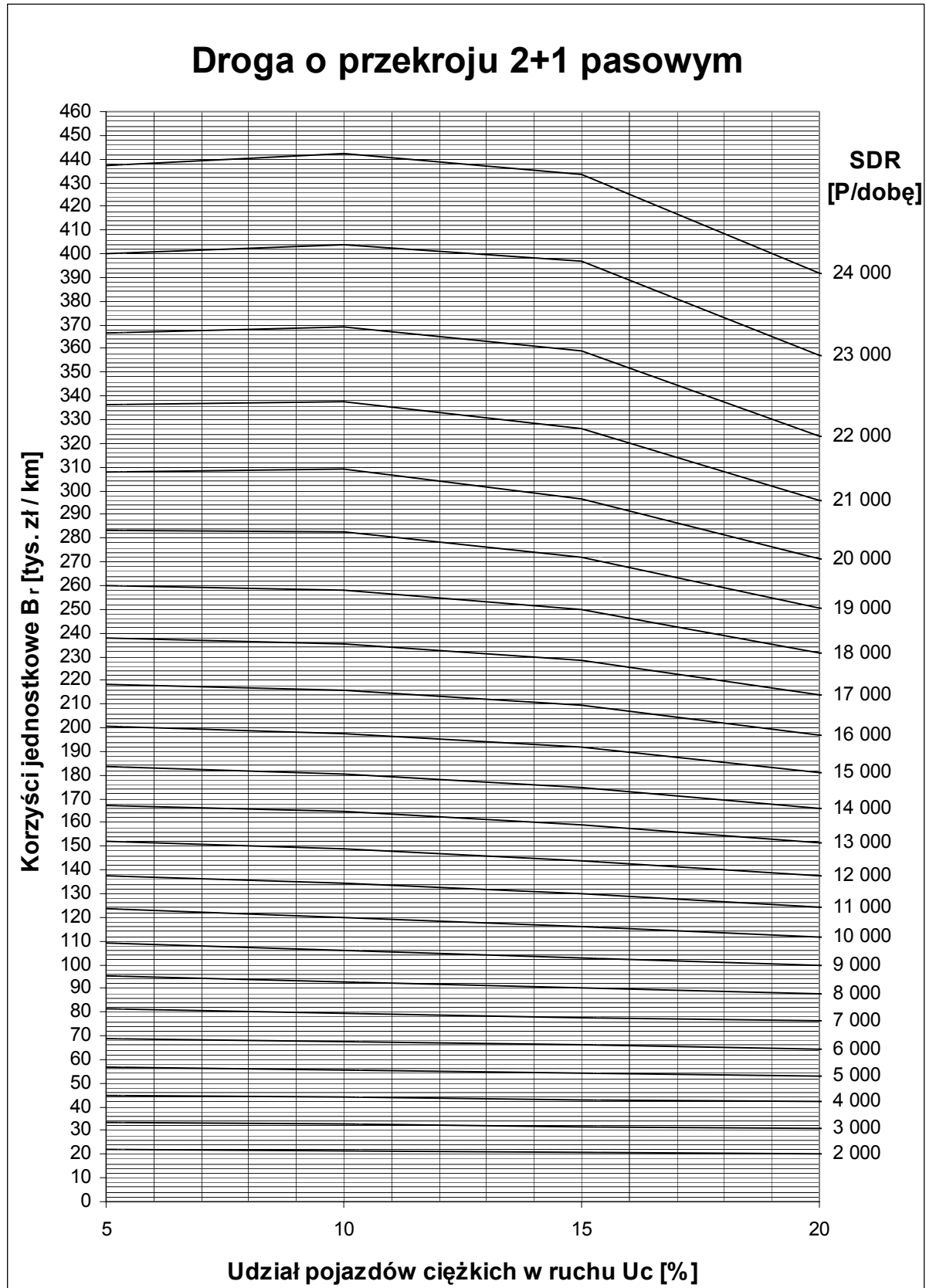






**ZAŁĄCZNIK NR 3:**

**Nomogramy do wyznaczania jednostkowych korzyści użytkowników wynikających z wprowadzenia drogi o przekroju 2+1 pasowym**



**ZAŁĄCZNIK NR 4:**

**Analiza ekonomiczna kosztów i korzyści (wzór tablicy)**

Rok	$n$	Koszty inwestycyjne	Koszty utrzymania	Korzyści użytkowników	Korzyści netto {5}-{4}-{3}	Zdyskontowane korzyści netto {6}/(6%+1) <sup>n</sup>
1	2	3	4	5	6	7
	1					
	...					
	$p$					
	$p+1$					
	$p+2$					
	$p+3$					
	$p+4$					
	$p+5$					
	$p+6$					
	$p+7$					
	$p+8$					
	$p+9$					
	$p+10$					
	$p+11$					
	$p+12$					
	$p+13$					
	$p+14$					
	$p+15$					
	$p+16$					
	$p+17$					
	$p+18$					
	$p+19$					
	$p+20$					
					<b>NPV =</b>	
					<b>B/C =</b>	
					<b>IRR=</b>	