

## OBLICZANIE OPORÓW RUCHU POCIĄGU.

$$W_C = W_Z + W_D \quad (\text{wzór numer 1})$$

$W_C$  – OPORY CAŁKOWITE       $W_Z$  – OPORY ZASADNICZE       $W_D$  – OPORY DODATKOWE

$$W_Z = (a + 0,53 * v) * m + 174 * n + f(2,5 + z) * v^2 \quad [N] \quad (\text{wzór numer 2})$$

$a = 6,4$  dla wagonów na łożyskach tocznych       $a = 8,8$  dla lokomotyw

$m$  – masa pociągu lub lokomotywy [t]

$n$  – liczba osi pociągu lub lokomotywy

$f = 1,27$  dla wagonów osobowych i lokomotywy       $f = 1,0$  dla wagonów towarowych

$z$  – liczba wagonów w pociągu, dla lokomotywy  $z = 1$

$v$  – prędkość [m/s]

$$W_{ZT} = (a + 0,53 * v) * m + 174 * n + 1,27(2,7 + z) * v^2 \quad [N] \quad (\text{wzór numer 3})$$

$W_{ZT}$  – zasadnicze opory ruchu dla zespołów trakcyjnych

$$W_D = W_i + W_R + W_r \quad (\text{wzór numer 4})$$

$W_i$  – opory spowodowane pokonywaniem pochyleń toru

$W_R$  – opory spowodowane pokonywaniem łuków

$W_r$  – opory spowodowane pokonywaniem rozjazdów

$$W_i = G_p * i \quad [N] \quad (\text{wzór numer 5})$$

$G_p$  – ciężar pociągu (pojazdu) [kN]

$i$  – pochylenie toru [%]

$$W_R = G_p * (735/R) \quad [N] \quad (\text{wzór numer 6})$$

$G_p$  – ciężar pociągu (pojazdu) [kN]

$R$  – promień łuku [m]

$$W_r = G_p * a_r \quad [N] \quad (\text{wzór numer 7})$$

$a_r$  – współczynnik uwzględniający jazdę po rozjazdach,  $a_r = (0,5 - 1,0)$

$$W = W' + W'' \quad (\text{wzór numer 8})$$

$W'$  – opory ruchu lokomotywy

$W''$  – opory ruchu składu wagonów

$$w = \frac{W}{G_p} \quad \left[ \frac{N}{kN} \right] \quad (\text{wzór numer 9})$$

$w$  – opory jednostkowe (przypadające na jednostkę ciężaru pociągu lub pojazdu)

$W$  – opory – całkowite lub zasadnicze lub dodatkowe lub innego określonego rodzaju – które rozpatrujemy

$G_p$  – ciężar pociągu (pojazdu) [kN]

## Metodologia obliczania oporów ruchu pociągu:

- 1) Oporu ruchu pociągu – całkowite – obliczamy jako sumę oporów zasadniczych i dodatkowych -wszystkich występujących w danych warunkach. (wzór numer 1)
- 2) Oporu zasadnicze obliczamy ze wzoru (wzór numer 2 - dla pociągu składającego się z lokomotywy i wagonów), (wzór numer 3 – dla pociągu składającego się z zespołów trakcyjnych) – przy wzorze numer 2 oddzielnie liczymy opory zasadnicze dla każdej grupy pojazdów różniące się parametrami podanymi we wzorze – wzór numer 8 – jeżeli parametry wagonów się różnią to oddzielnie trzeba policzyć dla każdej grupy wagonów – inaczej mówiac –należy policzyć i zsumować opory zasadnicze dla każdego pojazdu w pociągu i zsumować, ale jak są pojazdy o takich samych parametrach, to można dla nich policzyć bezpośrednio ze wzoru dla odpowiedniej liczby pojazdów (z).
- 3) Oporu dodatkowe pociągu obliczamy sumując wszystkie występujące opory dodatkowe w danej sytuacji ruchowej:
  - jak pociąg lub pojazd jedzie po pochyleniu 0 [‰] (tor poziomy) to opory te są równe zero, a jak po określonym pochyleniu – spadku lub wzniesieniu to korzystamy ze wzoru numer 5 – przy czym przy jeździe na spadku opory te mają wartość ujemną -wstawiamy –i (minus i) – więc w takim przypadku tak naprawdę stanowią dodatkową siłę pomagającą w ruchu pociągu
  - jak pociąg jedzie po torze prostym to opory spowodowane pokonywaniem łuków są równe zero ( $R = \infty$ ), a jak po łuku o określonym promieniu to korzystamy ze wzoru numer 6 – jak się zmienia promień łuku to trzeba liczyć dla każdego promienia łuku
  - jak pociąg nie jedzie po rozjazdach to opory pochodzące od rozjazdów są równe zero, a jak jedzie po rozjazdach to można liczyć ze wzoru numer 7 – jednak ze względu na to, że rozjazdy występują głównie w obrębie stacji i jednocześnie na rozjeździe znajduje się co najwyżej kilka wagonów i wartość tych oporów i czas ich trwania są porównywalnie niewielkie - my w naszych obliczeniach nie będziemy tymi oporami się zajmować, chociaż przy dokładniejszych obliczeniach należałoby je uwzględnić
  - ze względu na rzadkość i długość tuneli w Polsce nie będziemy zajmować się obliczeniami oporów uwzględniających jazdę w tunelu – w razie potrzeby mamy odpowiedni podany wcześniej wzór
- 4) W celu ułatwienia obliczeń należy przy obliczaniu oporów zasadniczych najpierw wstawić do wzoru odpowiednie dane, ale prędkość traktować jako ogólne oznaczenie – następnie wzór przekształcić matematycznie do jak najprostszej postaci, gdzie otrzymujemy równanie drugiego stopnia (kwadratowe) i wtedy możemy liczyć opory ruchu pociągu dla podanej jednej prędkości lub dla wielu prędkości jazdy – w ten sposób unikamy obliczeń oddzielnych dla każdej prędkości z osobna na podstawie wzoru wyjściowego – a najlepiej polecam wykorzystanie do tego celu arkusza kalkulacyjnego lub innych programów - także napisanych w jakimś języku programowania.
- 5) Obliczone opory ruchu pociągu mogą być zobrazowane za pomocą wykresu z którego można wyciągnąć różne wnioski.

### Przykład obliczeniowy.

#### Oblicz całkowite opory ruchu pociągu:

- składającego się z lokomotywy EU 07 i 10 wagonów osobowych, 4 – osiowych, na łożyskach tocznych o masie 50 ton każdy
- jadącego po torze na wzniesieniu o pochyleniu 2 [‰]
- jadącego po łuku toru o promieniu 2940 [m]
- dla prędkości jazdy co 5 [m/s] do 30 [m/s]

Obliczenia.

1)  $W_C = W_Z + W_D$

2)  $W_Z = (a + 0,53 * v) * m + 174 * n + f(2,5 + z) * v^2$  [N]

- $W = W' + W''$

- $W' = (8,8 + 0,53 * v) * 80 + 174 * 4 + 1,27(2,5 + 1) * v^2$

- $W' = 704 + 42,4 * v + 696 + 4,445 * v^2$

- $W' = 1400 + 42,4 * v + 4,445 * v^2$

- $W'' = (6,4 + 0,53 * v) * 10 * 50 + 174 * 10 * 4 + 1,27(2,5 + 10) * v^2$

- $W'' = 3200 + 265 * v + 6960 + 15,975 * v^2$

- $W'' = 10160 + 265 * v + 15,975 * v^2$

- $W_Z = W' + W'' = 20,42 * v^2 + 307,4 * v + 11560$

3)  $W_D = W_i + W_R$  – ponieważ mamy podane, że takie opory występują

4)  $W_i = G_p * i$

- $M_p = 80$  ton (lokomotywa) +  $10 * 50$  ton (wagony) =  $80 + 500 = 580$  ton

- $G_p = M_p * g = 580\ 000$  [kg] \*  $10 = 5800$  [kN]

$g$  – przyspieszenie ziemskie w zaokrągleniu do  $10$  [ $m/s^2$ ]

- $W_i = G_p * i = 5800 * 2 = 11600$  [N]

5)  $W_R = G_p * (735/R)$

- $W_R = G_p * (735/R) = 5800 * (735/2940) = 1450$  [N]

6)  $W_D = W_i + W_R = 11600 + 1450 = 13050$  [N]

7)  $W_C = W_Z + W_D = 20,42 * v^2 + 307,4 * v + 11560 + 13050$

- $W_C = 20,42 * v^2 + 307,4 * v + 24610$

8) Obliczamy opory ruchu pociągu dla poszczególnych prędkości wstawiając  $v=5$ [m/s],  $v=10$ [m/s],  $v=15$ [m/s],  $v=20$ [m/s],  $v=25$ [m/s],  $v=30$ [m/s].

V [m/s]	W [N]
5	26657,5
10	29726
15	33815,5
20	38926
25	45057,5
30	52210