

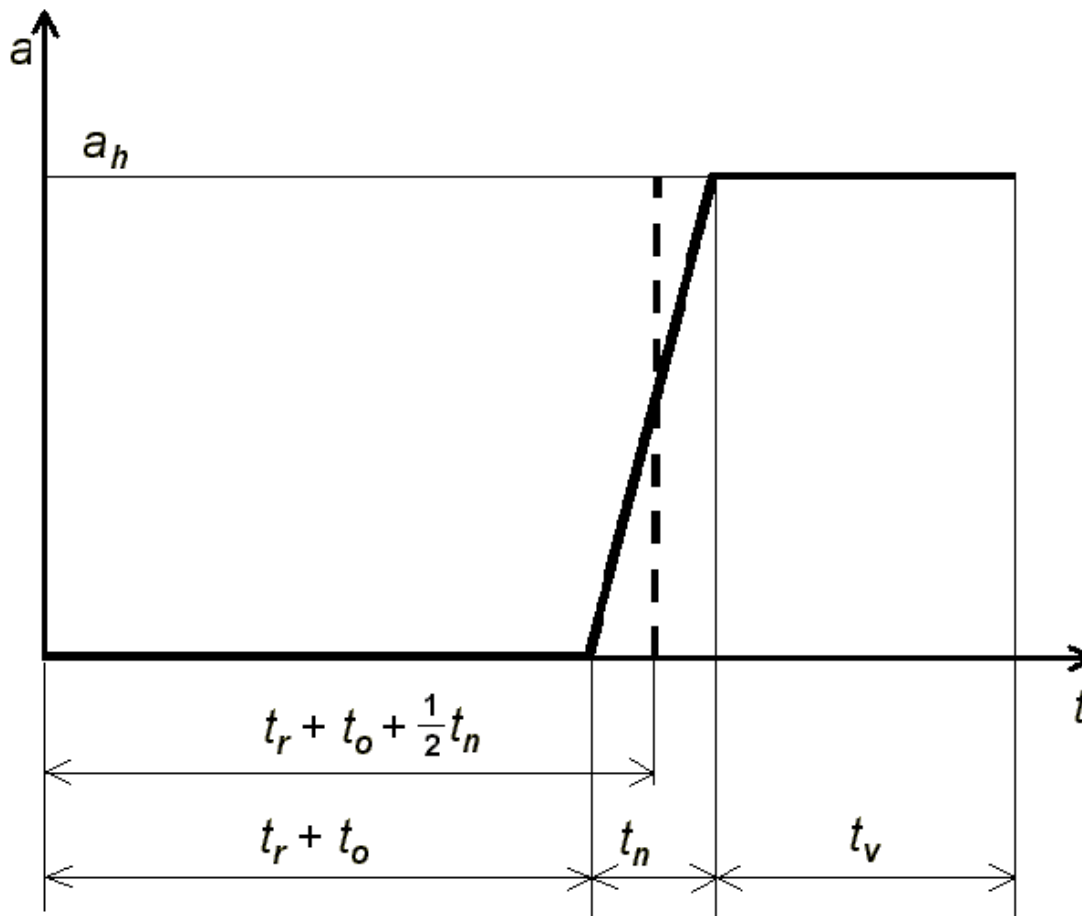
Andrzej Reński

Teoria ruchu samochodu

Hamowanie

Warszawa 2008

Uproszczony przebieg procesu hamowania



Przebieg procesu hamowania (uproszczony) - zmiany opóźnienia w czasie:

t_r - czas reakcji kierowcy, t_o - czas opóźnienia zadziałania (zwłoki) hamulca

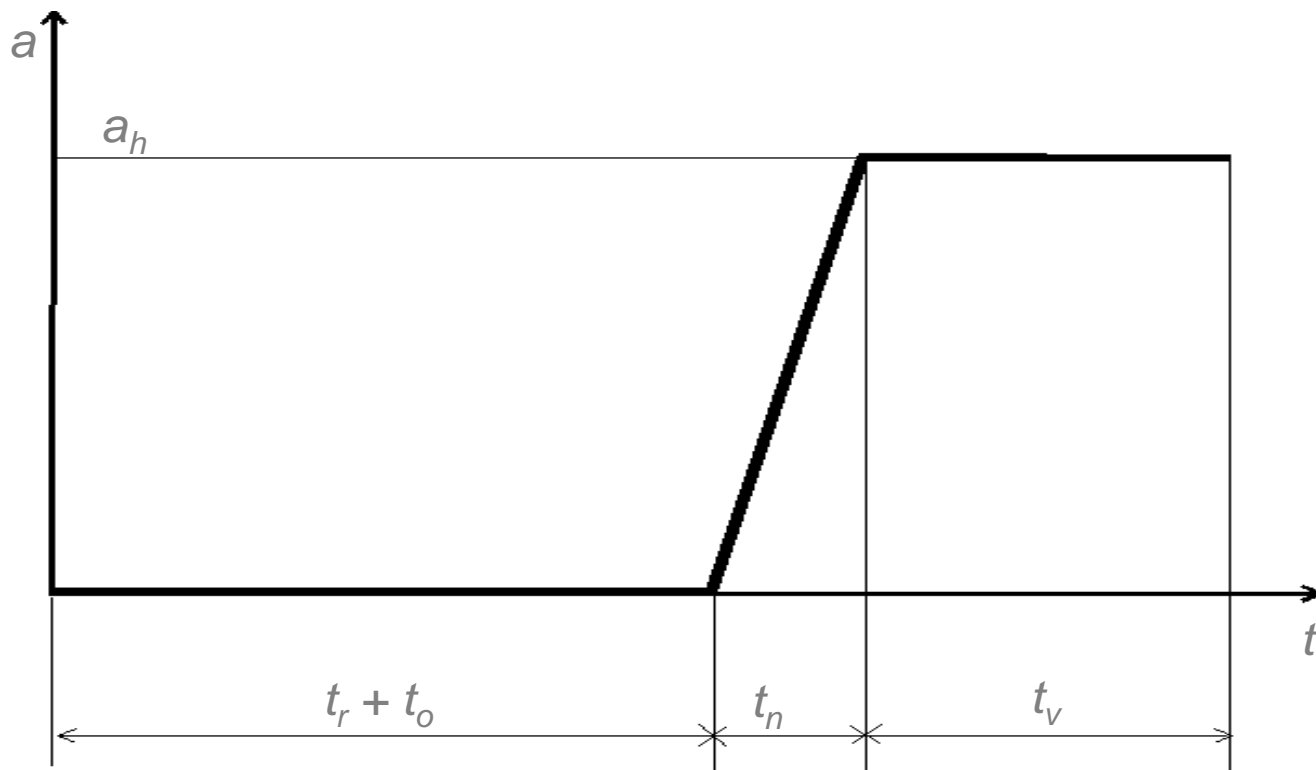
t_n - czas narastania opóźnienia, t_v - czas pełnego hamowania z opóźnieniem,

a_h - opóźnienie hamowania przy pełnym hamowaniu

Wartości czasów istotnych dla przebiegu procesu hamowania

	Reakcja psychomotoryczna kierowcy t_r			Czasy związane z działaniem układu hamulcowego	
	Reakcja psychofizyczna		Reakcja motoryczna		
	Czas postrzegania	Czas reakcji	Czas przeniesienia	Czas zwłoki hamulca	Czas narastania siły hamowania
	t_{r1} [s]	t_{r2} [s]	t_{r3} [s]	t_o [s]	t_n [s]
Wartość średnia	0,48	0,45	0,19	0,05	0,17
Dolna granica przedziału ufności (2%)	0,32	0,22	0,15	0,03	0,14
Górna granica przedziału ufności (98%)	0,55	0,58	0,21	0,06	0,18

Przebieg hamowania



Przebieg procesu hamowania (uproszczony) - zmiany opóźnienia w czasie:

t_r - czas reakcji kierowcy, t_o - czas opóźnienia zadziałania (zwłoki) hamulca

t_n - czas narastania opóźnienia, t_v - czas pełnego hamowania z opóźnieniem,

a_h - opóźnienie hamowania przy pełnym hamowaniu

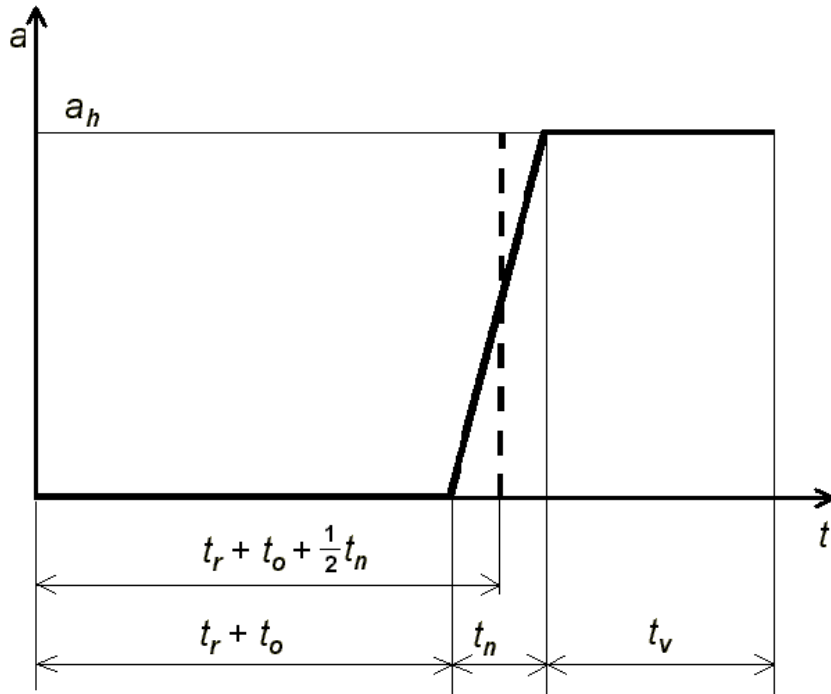
Przebieg hamowania

Fazy procesu zatrzymywania samochodu

	Reakcja psychomotoryczna t_r			Czas zwłoki hamulca t_o [s]	Czas narastania siły hamowania t_n [s]
	Reakcja psychofizyczna		Czas przeniesienia t_{r3} [s]		
	Czas postrzegania t_{r1} [s]	Czas reakcji t_{r2} [s]			
Wartość średnia	0,48	0,45	0,19	0,05	0,17
Dolna granica przedziału ufności (2%)	0,32	0,22	0,15	0,03	0,14
Górna granica przedziału ufności (98%)	0,55	0,58	0,21	0,06	0,18

Przebieg hamowania

Droga do zatrzymania



DROGA DO ZATRZYMANIA

$$S_h = v_0 \left(t_r + t_o + \frac{1}{2} t_n \right) + \frac{v_0^2}{2a_h}$$

$t_r = 0,7 \dots 1,35$ s, średnio 1,10 s

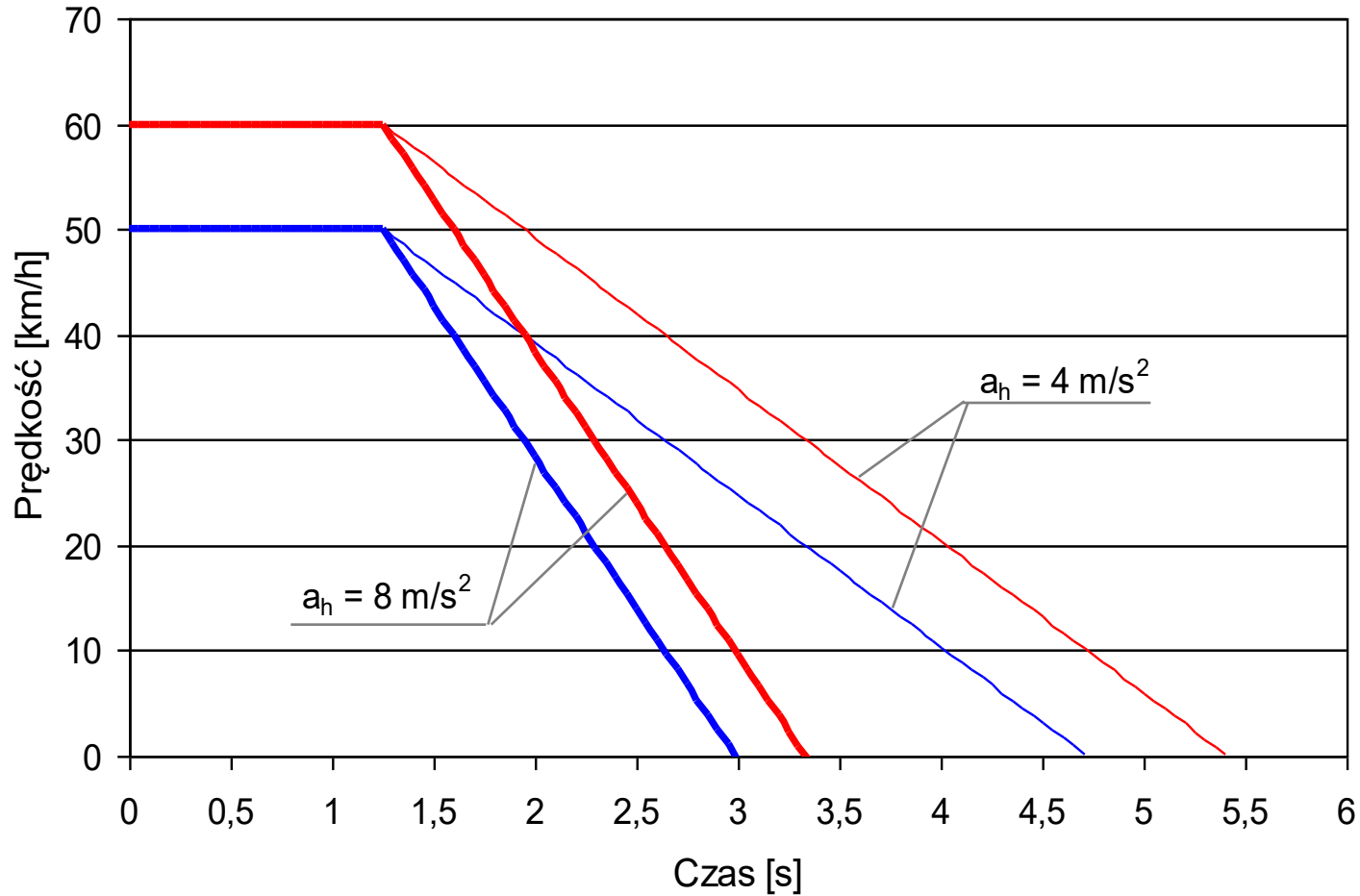
$t_o = 0,03 \dots 0,06$ s, średnio 0,05 s

$t_n = 0,14 \dots 0,18$ s, średnio 0,17 s

$$t_r + t_o + \frac{1}{2} t_n = 0,8 \dots 1,5 \text{ s,}$$

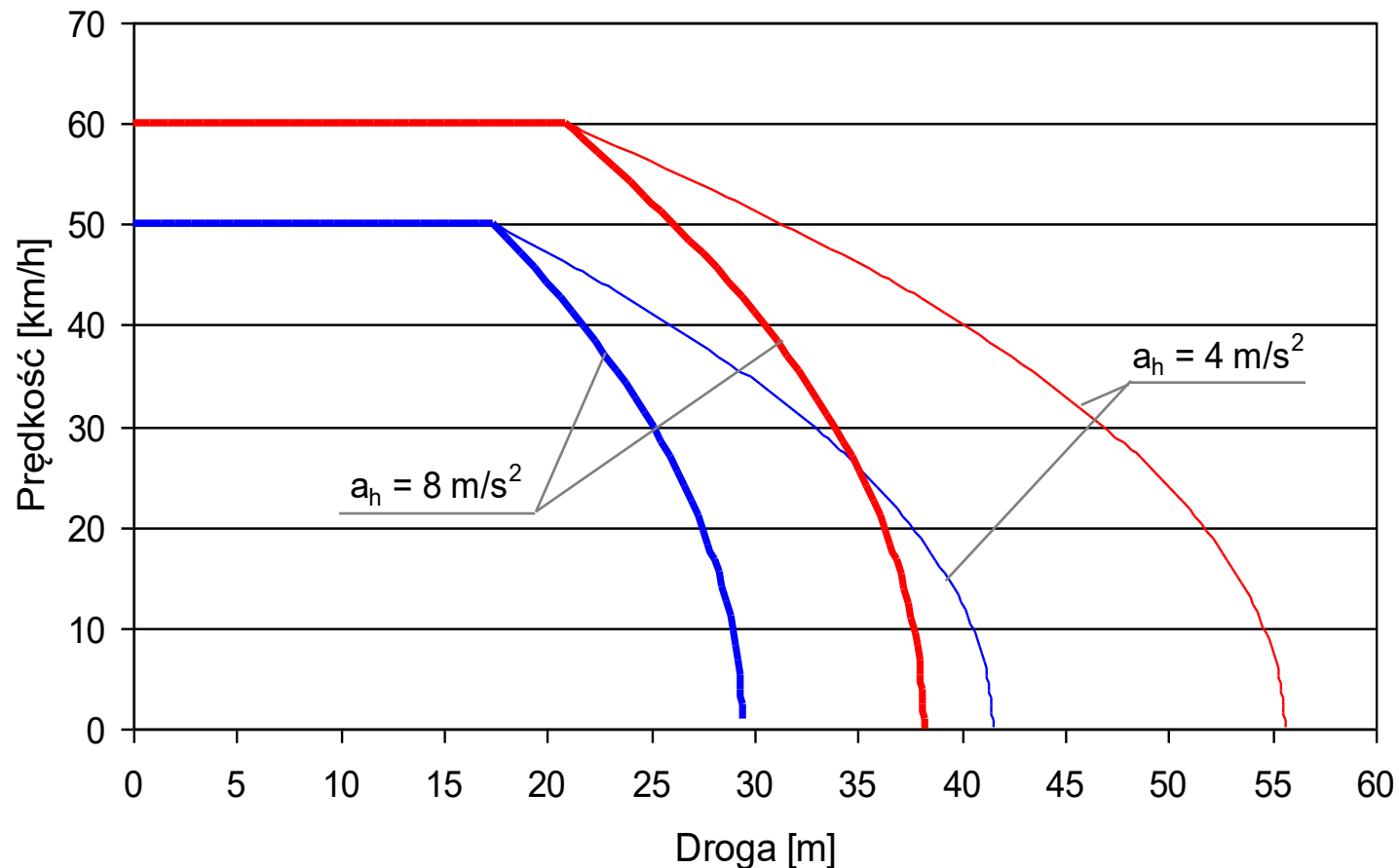
średnio 1,25 s

Przebieg hamowania



Porównanie przebiegu hamowania przy prędkości początkowej 50 i 60 km/h i opóźnieniu hamowania 4 i 8 m/s²

Przebieg hamowania



Porównanie przebiegu hamowania przy prędkości początkowej 50 i 60 km/h i opóźnieniu hamowania 4 i 8 m/s²

Przebieg procesu hamowania

Odstęp przy jeździe w kolumnie

DROGA DO ZATRZYMANIA

$$S_h = v_0 \left(t_r + t_o + \frac{1}{2} t_n \right) + \frac{v_0^2}{2a_h}$$

v_0 - prędkość początkowa

$t_r = 0,7 \dots 1,35$ s, średnio 1,10 s

$t_o = 0,03 \dots 0,06$ s, średnio 0,05 s

$t_n = 0,14 \dots 0,18$ s, średnio 0,17 s

$t_r + t_o + \frac{1}{2} t_n = 0,8 \dots 1,5$ s,
średnio 1,25 s

ODSTĘP ABSOLUTNIE BEZPIECZNY

$$d_{abs} = v_0 \left(t_r + t_o + \frac{1}{2} t_n \right) + \frac{v_0^2}{2a_h}$$

czas:

$$t_{abs} = t_r + t_o + \frac{1}{2} t_n + \frac{v_0}{a_h}$$

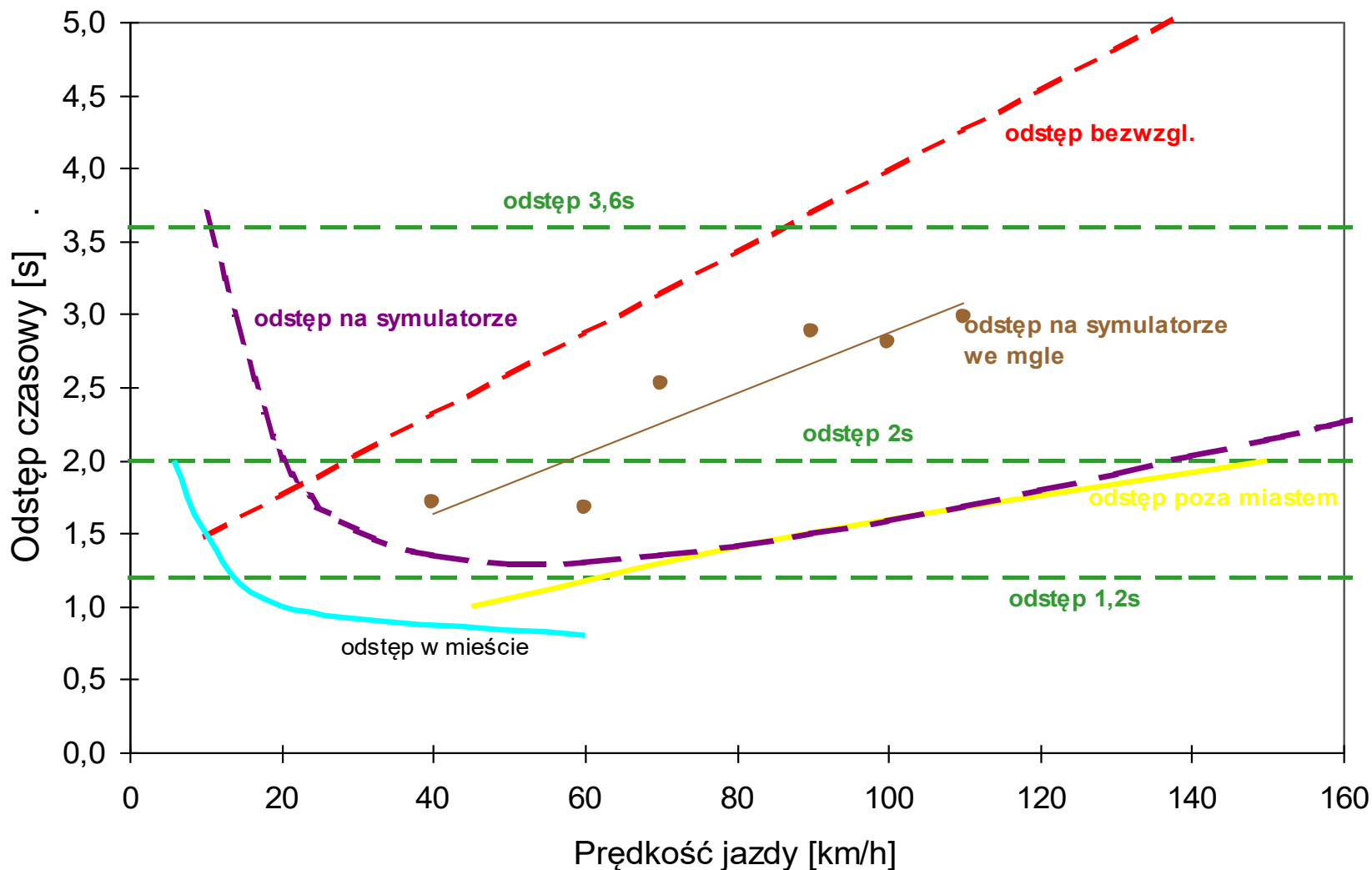
ODSTĘP WZGLĘDNIE BEZPIECZNY

$$d_{wzgl} = v_0 \left(t_r + t_o + \frac{1}{2} t_n \right)$$

czas:

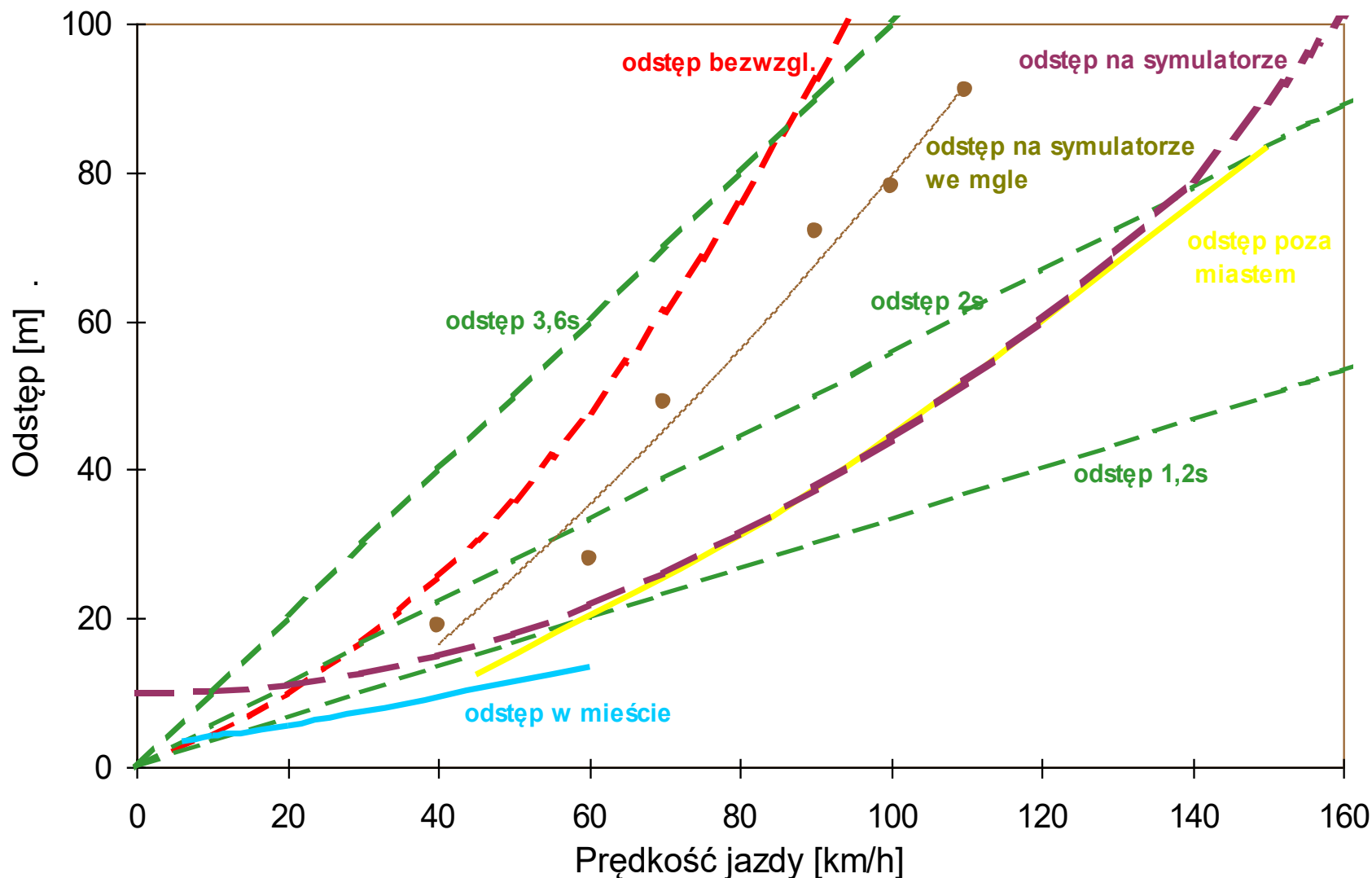
$$t_{wzgl} = t_r + t_o + \frac{1}{2} t_n$$

Odstęp przy jeździe w kolumnie



Porównanie wyników pomiarów odstępów pomiędzy pojazdami w różnych warunkach drogowych z odstępem bezwzględnie i względnie (1,2 s, 2 s i 3,6 s) bezpiecznym

Odstęp przy jeździe w kolumnie

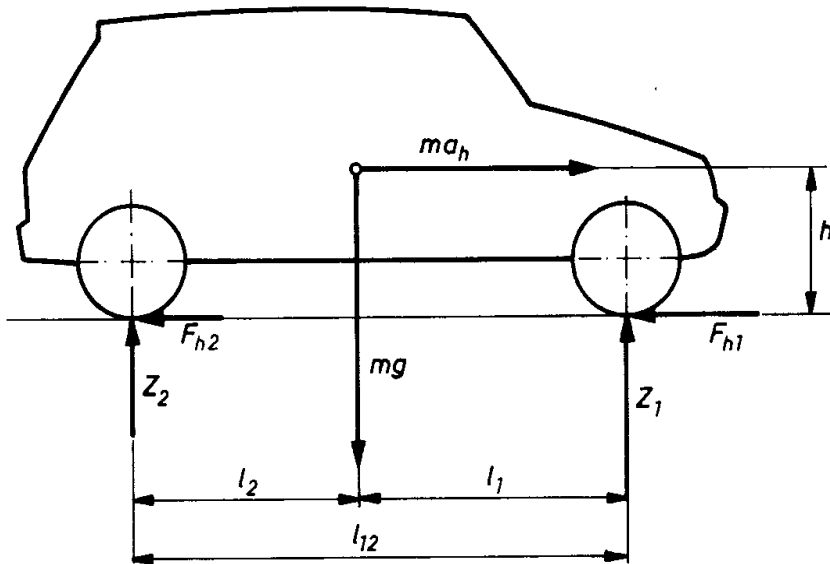


Porównanie wyników pomiarów odstępów pomiędzy pojazdami w różnych warunkach drogowych z odstępem bezwzględnie i względnie (1,2 s, 2 s i 3,6 s) bezpiecznym

Droga hamowania przy badaniu skuteczności działania hamulców zasadniczego układu hamulcowego wg Regulaminu 13]

	Kategoria	M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	
	Siła nacisku na pedał [daN]	50	70					
Hamowanie z odłączonym silnikiem	prędkość v [km/h]	80	60	60	80	60	60	
	droga hamowania [m]	$0,1 v + \frac{v^2}{150}$	$0,15 v + \frac{v^2}{130}$					
	opóźnienie hamowania [m/s ²]	5,8	5,0					
Hamowanie z dołączonym silnikiem	prędkość v = 0,8 v _{max} lecz nie większa niż [km/h]	160	100	90	120	100	90	
	droga hamowania [m]	$0,1 v + \frac{v^2}{130}$	$0,15 v + \frac{v^2}{103}$					
	opóźnienie hamowania [m/s ²]	5,0	4,0					

Stateczność hamowania



Siły działające na samochód w czasie hamowania

Zmiany pionowych obciążeń osi

koła przednie

$$Z_1 = mg \frac{l_2}{l_{12}} + ma_h \frac{h}{l_{12}}$$

koła tylne

$$Z_2 = mg \frac{l_1}{l_{12}} - ma_h \frac{h}{l_{12}}$$

Stateczność hamowania

Zmiany pionowych obciążeń osi

koła przednie

$$Z_1 = mg \frac{l_2}{l_{12}} + ma_h \frac{h}{l_{12}}$$

koła tylne

$$Z_2 = mg \frac{l_1}{l_{12}} - ma_h \frac{h}{l_{12}}$$

$$F_{\mu 1} = \mu_m Z_1 = \mu_m mg \left(\frac{l_2}{l_{12}} + \gamma \frac{h}{l_{12}} \right)$$

$$F_{\mu 2} = \mu_m Z_2 = \mu_m mg \left(\frac{l_1}{l_{12}} - \gamma \frac{h}{l_{12}} \right)$$

Idealne wykorzystanie przyczepności

$$F_{h1} = mg \gamma \left(\frac{l_2}{l_{12}} + \gamma \frac{h}{l_{12}} \right)$$

$$F_{h2} = mg \gamma \left(\frac{l_1}{l_{12}} - \gamma \frac{h}{l_{12}} \right)$$

Stateczność hamowania

Idealne wykorzystanie przyczepności

$$F_{h1} = m g \gamma \left(\frac{l_2}{l_{12}} + \gamma \frac{h}{l_{12}} \right)$$

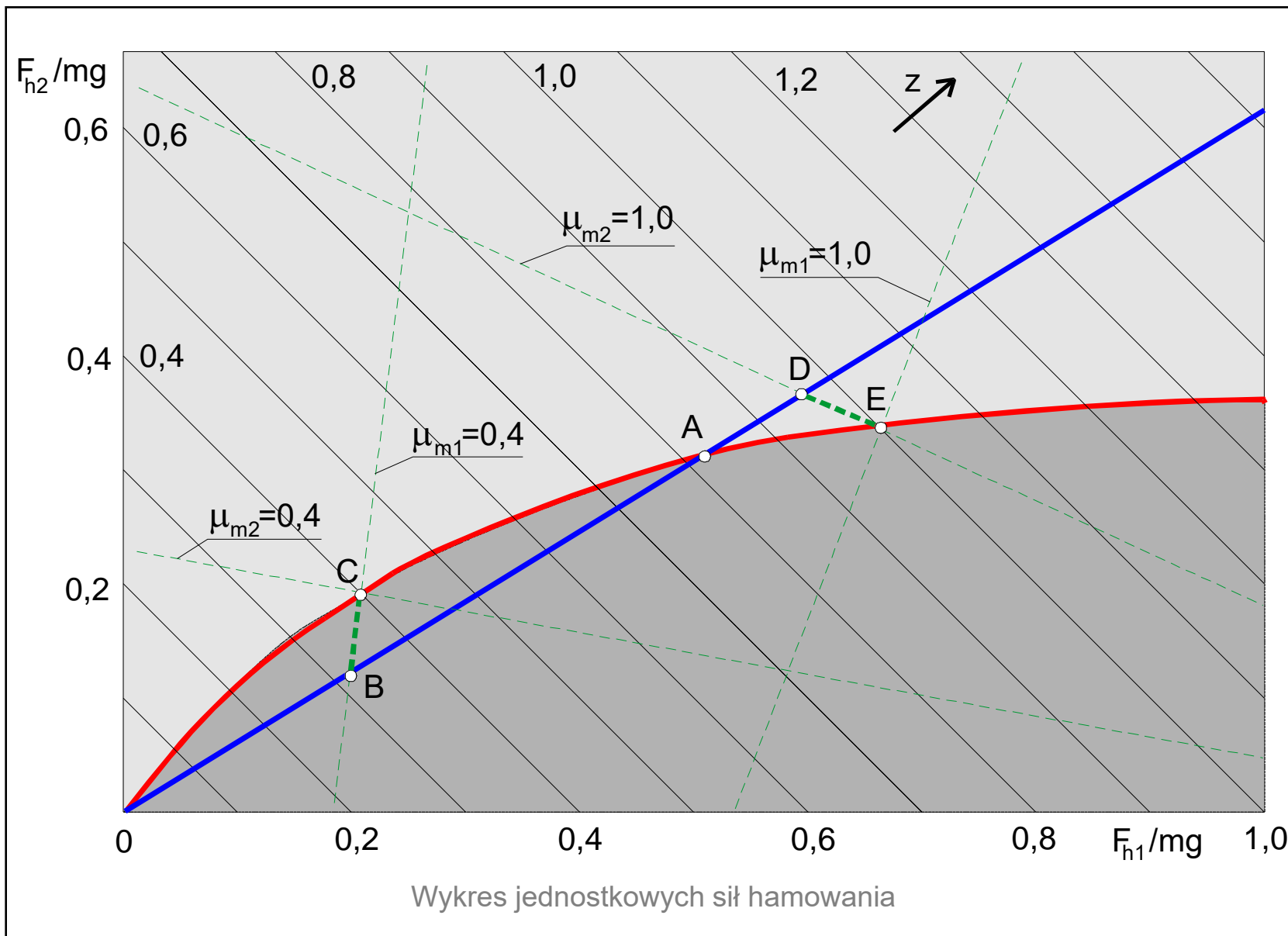
$$F_{h2} = m g \gamma \left(\frac{l_1}{l_{12}} - \gamma \frac{h}{l_{12}} \right)$$

Jednostkowe siły hamowania

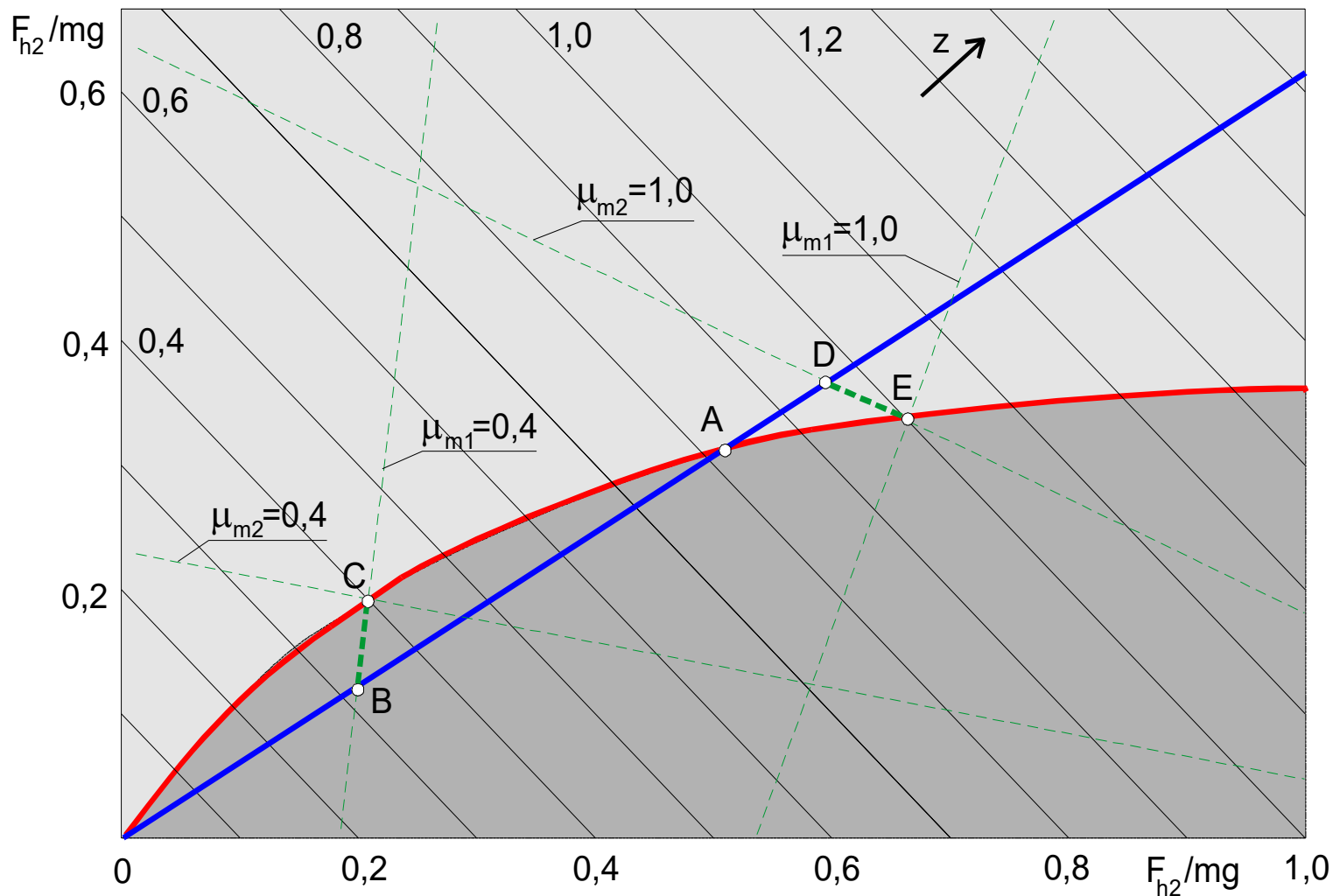
$$\frac{F_{h1}}{m g} = \gamma \frac{l_1 + \gamma h}{l_{12}}$$

$$\frac{F_{h2}}{m g} = \gamma \frac{l_2 - \gamma h}{l_{12}}$$

Hamowanie, rozdział sił hamowania



Hamowanie, rozdział sił hamowania

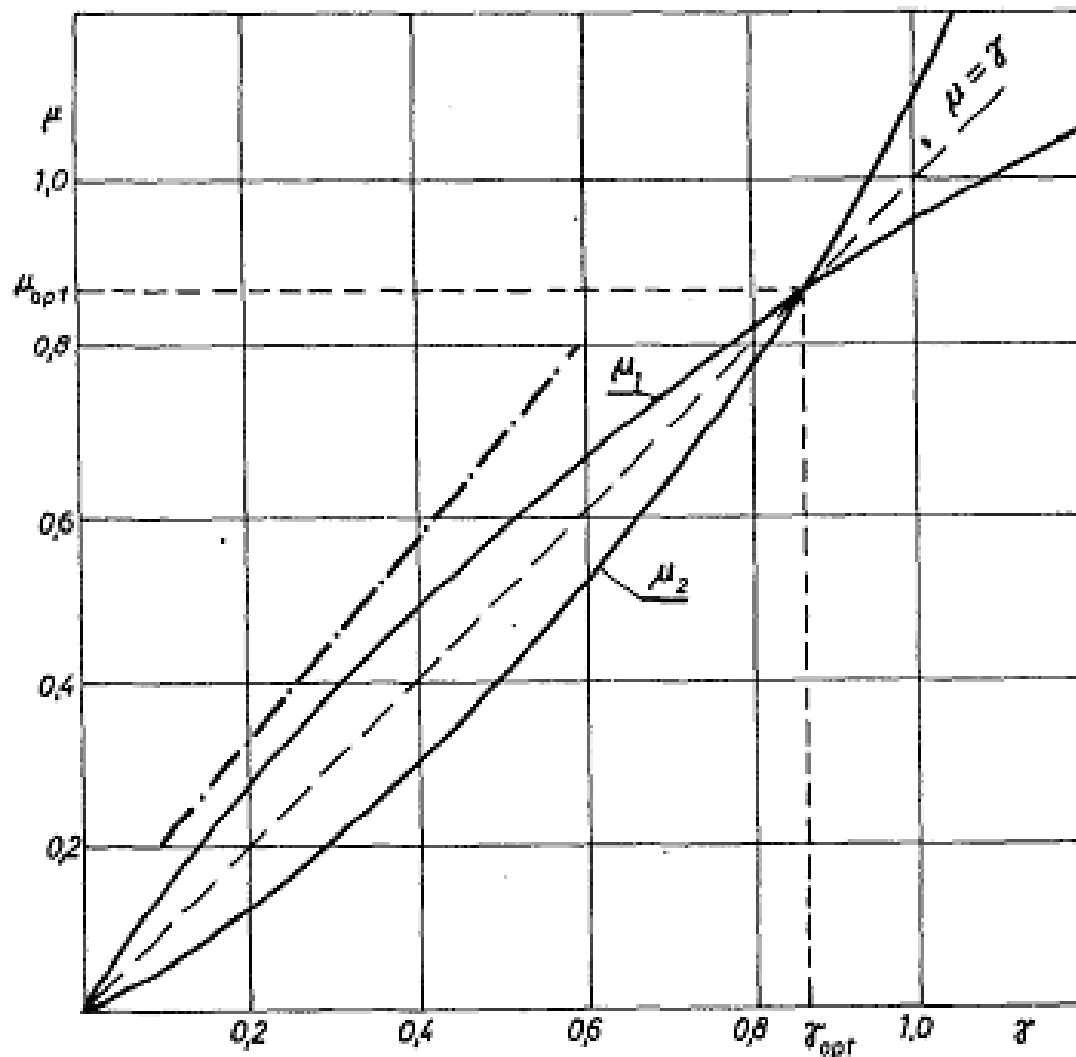


Wykres jednostkowych sił hamowania

Względna siła przyczepności, współczynnik przyczepności

$$\mu_1 = \frac{F_{h1}}{Z_1} = \frac{K}{K+1} \frac{\gamma l_{12}}{l_2 + \gamma h}$$

$$\mu_2 = \frac{F_{h2}}{Z_2} = \frac{1}{K+1} \frac{\gamma l_{12}}{l_1 - \gamma h}$$



Intensywność hamowania
z warunku nie zerwania
pryczepności

kół przednich:

$$\gamma_1 \leq \frac{\mu_m l_2}{\frac{K}{K+1} l_{12} - \mu_m h}$$

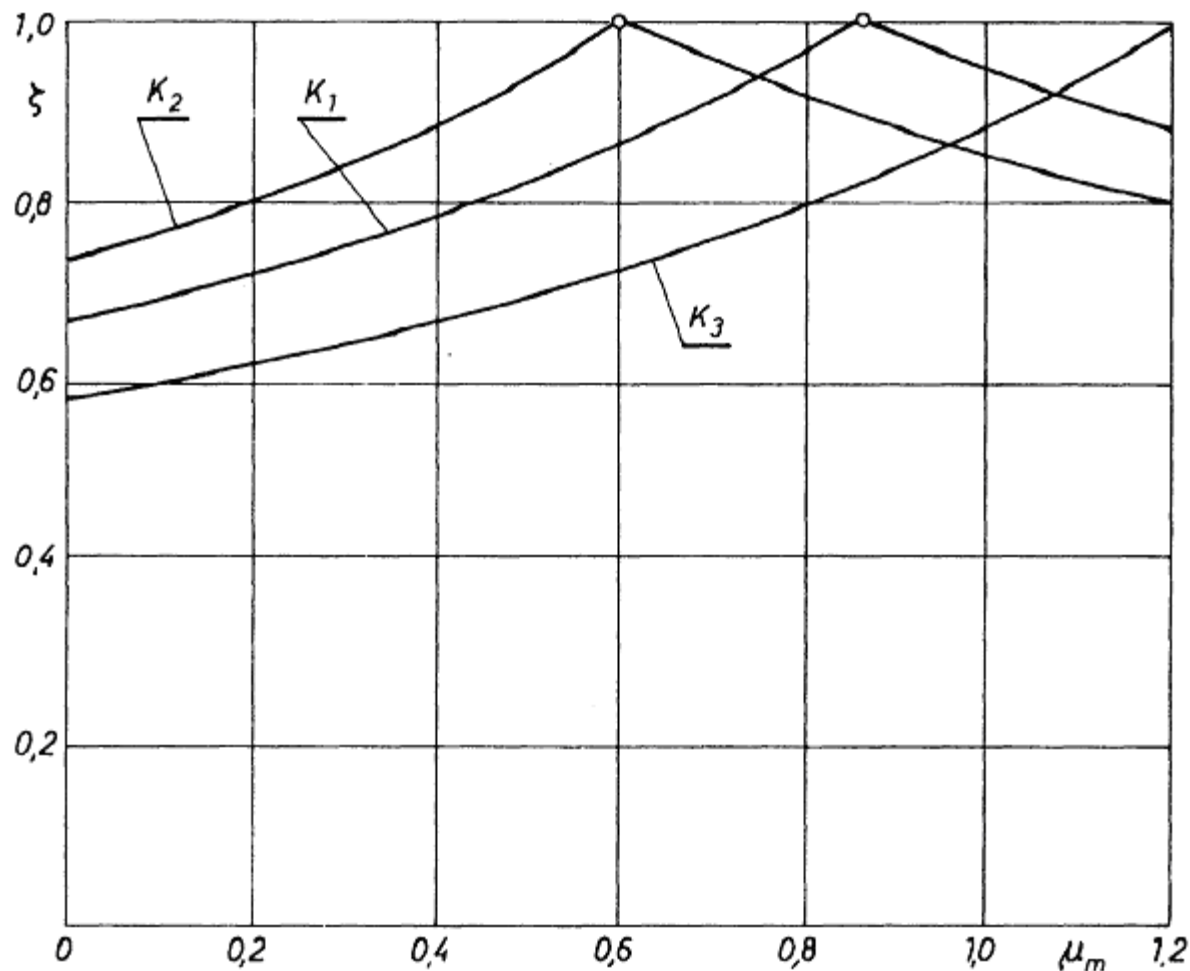
kół tylnych

$$\gamma_2 \leq \frac{\mu_m l_1}{\frac{1}{K+1} l_{12} + \mu_m h}$$

Współczynnik wykorzystania
pryczepności

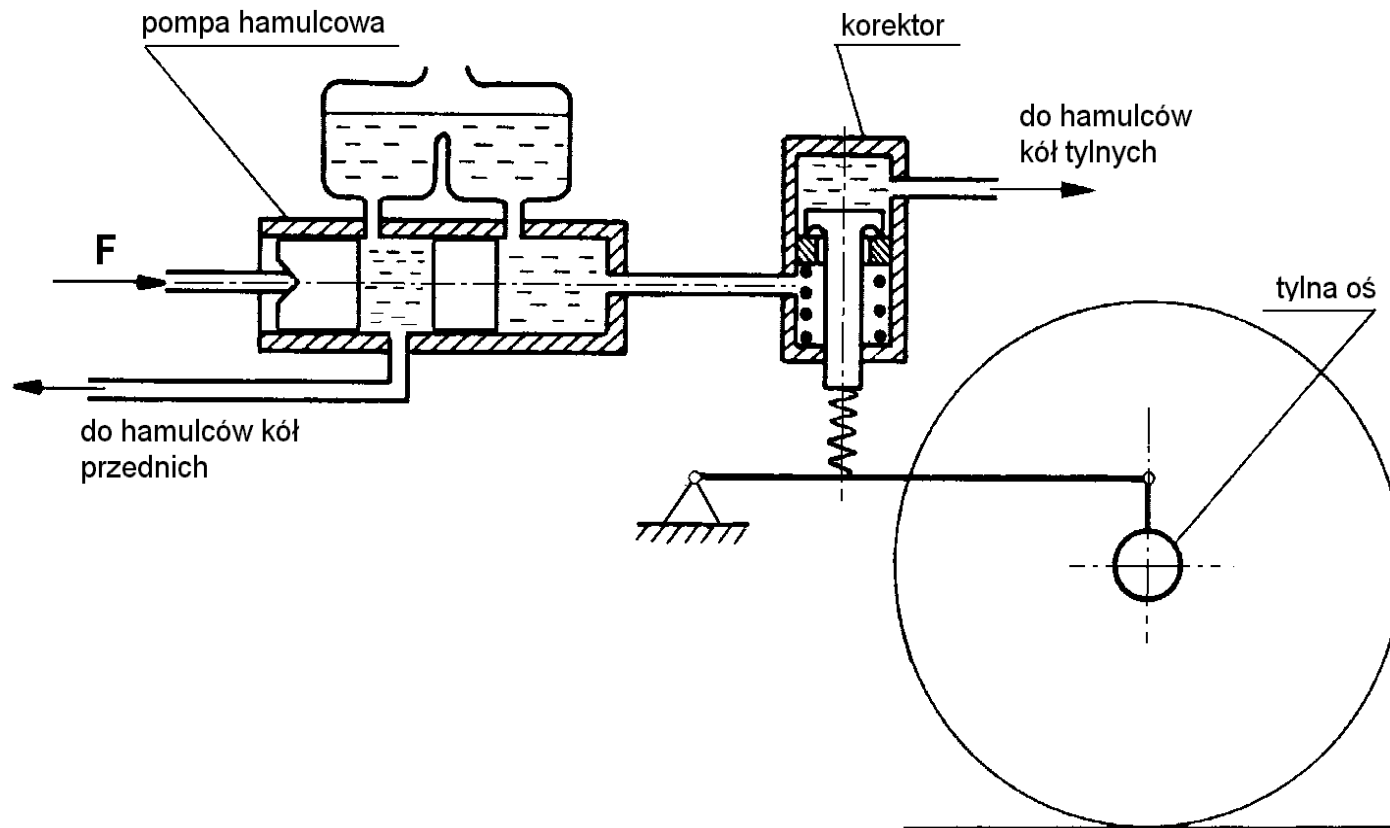
$$\zeta_1 = \frac{\gamma_1}{\mu_m} \leq \frac{l_2}{\frac{K}{K+1} l_{12} - \mu_m h}$$

$$\zeta_2 = \frac{\gamma_2}{\mu_m} \leq \frac{l_1}{\frac{1}{K+1} l_{12} + \mu_m h}$$



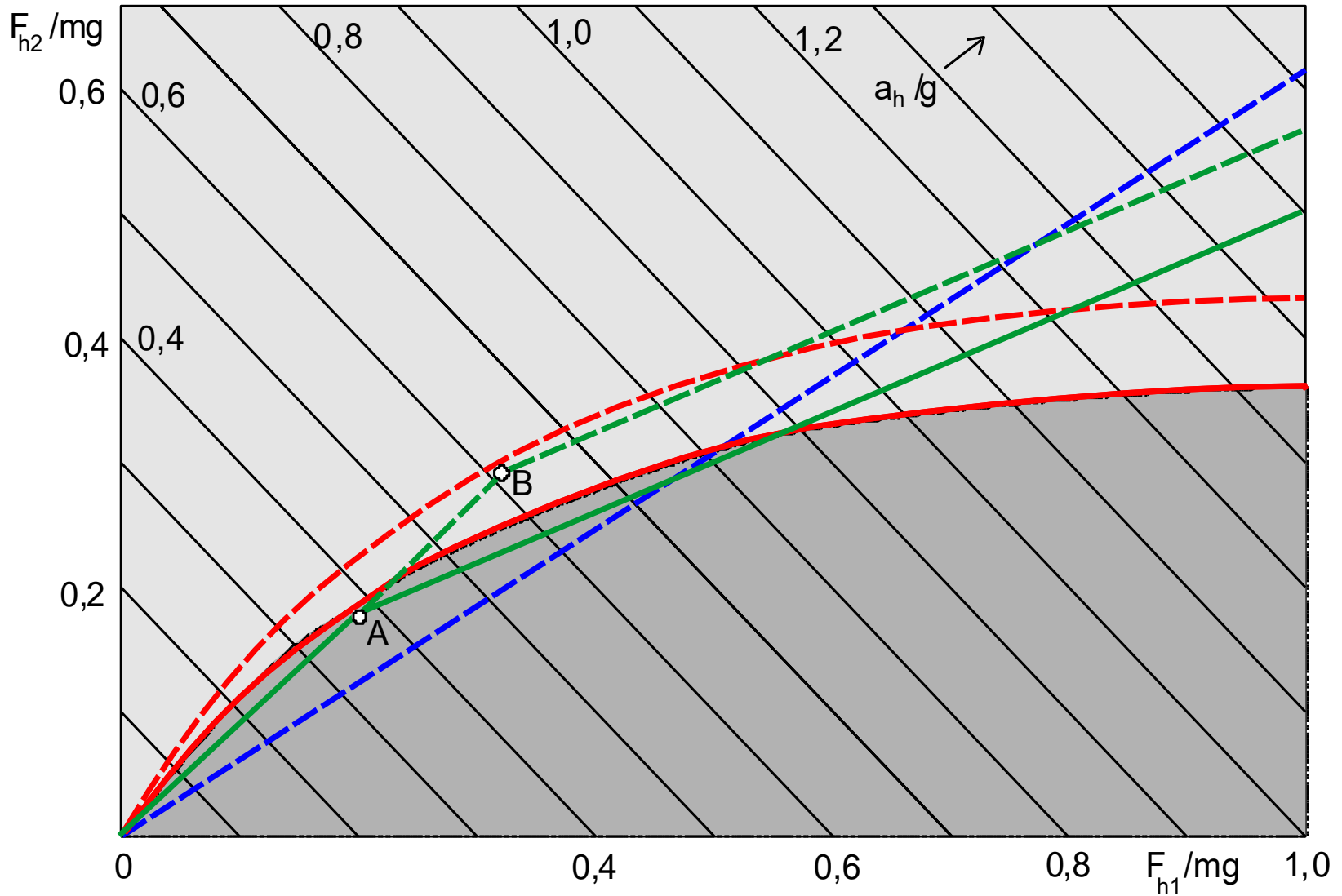
Wykres współczynnika wykorzystania przyczepności ζ w funkcji współczynnika przyczepności przylgowej μ_m . Wpływ współczynnika rozdziału siły hamowania K ($K_2 < K_1 < K_3$)

Rozdział sił hamowania, korektor



Schemat układu hamulcowego z korektorem

Rozdział sił hamowania, korektor



Wykres jednostkowych sił hamowania