

# **WABCO** Training

## **Kurs podstawowy**

**Opóźnienie hamowania i  
wzory do obliczeń**

**20**

# Wyjaśnienie opóźnienia hamowania i wzorów podstawowych

## Wprowadzenie:

Poruszający się pojazd posiada energię kinetyczną ( $E_{kin}$ ), której wielkość zależy od masy pojazdu ( $m$ ) i kwadratu jego prędkości ( $v$ ).

$$E_{kin} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Energię tę należy zamienić całkowicie lub częściowo na energię cieplną, jeżeli pojazd zatrzymuje się lub jedynie zmniejsza się jego prędkość.

Stanowi to zadanie hamulców, które poprzez tarcie zamieniają energię kinetyczną ruchu pojazdu w ciepło.

## Przyspieszenie i opóźnienie:

Przez przyspieszenie rozumie się **zwiększenie** prędkości o podaną wartość w metrach na sekundę w ciągu jednej sekundy [ $m/s^2$ ].

Przez opóźnienie (hamowania) rozumiemy **zmniejszenie** prędkości o podaną wartość w metrach na sekundę w ciągu jednej sekundy [ $m/s^2$ ].

Jeżeli wartość ta jest stała w jednostce czasu, mówi się o stałym przyspieszeniu bądź opóźnieniu.

Prędkość oblicza się ze wzoru:

$$\text{Prędkość} = \frac{\text{Droga}}{\text{Czas}} \quad v = \frac{s}{t} \quad w \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Przyspieszenie a także opóźnienie obliczamy ze wzoru:

$$\text{Opóźnienie} = \frac{\text{Zmiana prędkości}}{\text{Czas}} \quad a = \frac{\Delta v}{t} \quad w \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

## Maksymalne opóźnienie hamowania:

Opóźnienie (lub hamowanie) pojazdu nie może wzrastać dowolnie.

**Ograniczeniem** jest tu teoretycznie osiągalna wartość opóźnienia równa **przyspieszeniu ziemskiemu (g)**  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  (w zaokrągleniu przyjmujemy wartość  $10 \text{ m/s}^2$ ). Opóźnienie to w bardzo dobrych warunkach hamowania prawie może osiągnąć tę wartość, ale nie może jej przekroczyć.

**Następnym ograniczeniem** jest wartość współczynnika tarcia między oponą a nawierzchnią, który wyraża się **współczynnikiem przyczepności (k)**. Opóźnienie jest z reguły największe (są oczywiście wyjątki), gdy podczas hamowania koła nie są zablokowane, a nawet jeszcze się obracają.

Zwiększenie siły hamowania więc, nie w każdym przypadku, spowoduje zwiększenie skuteczności hamowania. Przy zablokowaniu kół dochodzi do utraty kierowności i niebezpieczeństwa poślizgu.

Każdy rodzaj nawierzchni i jej chwilowy stan (sucha, mokra) odbija się na wartości współczynnika przyczepności ( $k$ ), który określa maksymalne opóźnienie hamowania. Opóźnienie to oblicza się jak niżej:

Max. osiągalne opóźnienie = przyspieszenie ziemskie  $\times$  współczynnik przyczepności

$$a_{max} = g \cdot k \quad w \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

Przegląd wartości współczynnika przyczepności k dla różnych nawierzchni i ich stanów podaje poniższa tabela:

Rodzaj nawierzchni	suchy	mokry	
		czysty	zabrudzony
beton			
kostka granitowa	0,7	0,6	max. 0,4
łuczeń smołowy	0,6	0,5	max. 0,3
asfalt	0,6	0,5	max. 0,25
kostka bazaltowa	0,55	0,3	0,1-0,2
śnieg (ubity)	0,2	0,1	
gołoledź	0,1	0,01 do 0,1	

Na przykład hamowanie na gołoledzi,

$$a_{\max} = 10 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot 0,1 = 1 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

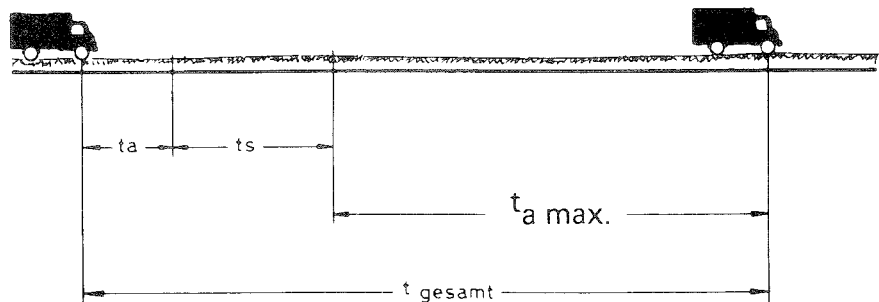
Jeśli będzie możliwe osiągnięcie współczynnika k o wartości 0,6 (czysty beton), dochodzi do osiągnięcia max. opóźnienia 6 m/s<sup>2</sup>.

### Charakterystyka czasowa procesu hamowania:

Maksymalne opóźnienie hamowania nie występuje w całym procesie hamowania lub w trakcie działania samych hamulców. Od momentu naciśnięcia na pedał gazu do osiągnięcia max. opóźnienia upływa czas uruchamiania  $t_a$  i czas narastania  $t_s$ .

Początek naciskania  
pedału hamulca

Zatrzymanie pojazdu



Na rysunku przedstawiono schematyczny przebieg faz hamowania

**Czas zwłoki ( $t_a$ ):**

Tłumacząc w uproszczeniu, przez czas uruchomienia ( $t_a$ ) rozumie się czas jaki upływa od chwili naciśnięcia na pedał do chwili zadziałania hamulców.

**Czas narastania ( $t_s$ ):**

Również w uproszczeniu, przez czas narastania ( $t_s$ ) rozumie się czas jaki upływa od zadziałania hamulców do osiągnięcia max. opóźnienia hamowania.

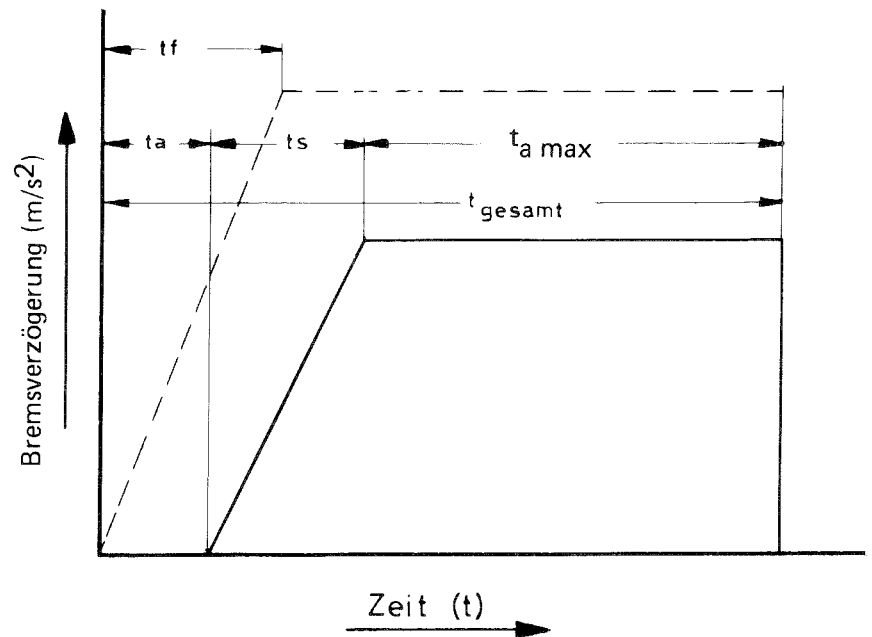
**Czas stałego opóźnienia hamowania ( $t_{a \max.}$ ):**

Przez czas stałego opóźnienia hamowania ( $t_{a \max.}$ ) rozumie się czas jaki upływa między osiągnięciem max. opóźnienia ( $a_{\max.}$ ) a unieruchomieniem pojazdu.

**Całkowity czas hamowania ( $t_{\text{ges}}$ ):**

Jest to czas pomiędzy uruchomieniem hamulców i zatrzymaniem pojazdu.

Nie uwzględniono czasu opóźnienia reakcji i samej reakcji.



Czas zwłoki i czas narastania zależą w całej rozciągłości od czasu uruchamiania ( $t_f$ ).

#### Czas uruchamiania ( $t_f$ ):

Pod tym pojęciem rozumie się czas jaki upływa między początkiem naciśnięcia na pedał a dojściem pedału do oporu.

#### Wskaźnik hamowania ( $z$ )

Oprócz ciśnienia hamowania występuje jeszcze jedna wielkość **wskaźnik hamowania  $z$** .

Jest to iloraz zmierzonej na stanowisku rolkowym siły hamowania do rzeczywistego obciążenia pojazdu.

$$\text{Wskaźnik hamowania w \%} = \frac{\text{Suma sił hamowania pojazdu}}{\text{rzeczywiste obciążenie}}$$

$$a = \frac{F}{G_p} \cdot 100\%$$

#### Związek pomiędzy wskaźnikiem hamowania a max. opóźnieniem hamowania $a_{\max}$ :

Zależność między max. opóźnieniem hamowania  $a_{\max}$ , a wskaźnikiem hamowania  $z$  oblicza się ze wzoru:

$$a_{\max} = \frac{F \cdot g}{G_p} = z \cdot g$$

Oznacza to, że występuje bezpośrednia zależność pomiędzy ( $z$ ) i ( $a_{\max}$ ) i jest możliwe wyrażenie osiągalnego opóźnienia ( $a_{\max}$ ) przez wskaźnik ( $z$ ) i na odwrót.

### Tabela przedstawia odpowiednie wartości porównawcze

Wskaźnik hamowania (z)	Opóźnienie hamowania ( $a_{max}$ )	
	dokładnie	w zaokrągleniu
10%	0,981 m/s <sup>2</sup>	1,0 m/s <sup>2</sup>
20%	1,962 m/s <sup>2</sup>	2,0 m/s <sup>2</sup>
30%	2,943 m/s <sup>2</sup>	3,0 m/s <sup>2</sup>
40%	3,924 m/s <sup>2</sup>	4,0 m/s <sup>2</sup>
50%	4,905 m/s <sup>2</sup>	5,0 m/s <sup>2</sup>
60%	5,886 m/s <sup>2</sup>	6,0 m/s <sup>2</sup>
70%	6,867 m/s <sup>2</sup>	7,0 m/s <sup>2</sup>
80%	7,848 m/s <sup>2</sup>	8,0 m/s <sup>2</sup>
90%	8,829 m/s <sup>2</sup>	9,0 m/s <sup>2</sup>
100%	9,810 m/s <sup>2</sup>	10,0 m/s <sup>2</sup>

#### Pomiar opóźnienia hamowania względnie wskaźnika hamowania:

Są tutaj dwie możliwości:

1. Określenie wskaźnika hamowania z w % na hamulcowym stanowisku kontrolnym (rolkowym lub płytowym)
2. Określenie opóźnienia w trakcie jazdy próbnej za pomocą miernika opóźnień (rejestrującego lub nierejestrującego).

O ile miernik nierejestrujący pokazuje tylko max. wartość opóźnienia hamowania to rejestrator przedstawia również przebieg uruchamiania i narastania siły hamowania.

Badanie hamulców podczas badań drogowych na szosie jest żmudne, a przy obecnym natężeniu ruchu również niebezpieczne. Dlatego dla sprawdzenia hamulców stosuje się przeważnie hamulcowe stanowiska kontrolne (przy czym dla pojazdów użytkowych w pierwszym rzędzie stanowiska rolkowe).

Pojazdy, które ze względu na swoją budowę nie mogą być badane na takim stanowisku, bada się na drodze z zastosowaniem rejestrującego miernika opóźnienia.

#### Określenie wskaźnika hamowania na stanowisku:

Na stanowisku rolkowym można zmierzyć max. siłę hamowania dla każdego koła. Dodając te siły do siebie i dzieląc ich sumę przez aktualny ciężar pojazdu otrzymuje się ze znanej już proporcji wskaźnik hamowania pojazdu:

$$a = \frac{F}{G_p} \cdot 100\%$$

Przykład:  $F = 96\,000 \text{ [N]}$        $G_p = 160\,000 \text{ [N]}$

$$z = \frac{96\,000 \text{ [N]}}{160\,000 \text{ [N]}} \cdot 100\% = 60\%$$

Ustawodawca zaleca minimalny wskaźnik hamowania, określany w badaniach pojazdów (dla kontroli zasadniczej i szczegółowej kontroli hamulców), który musi być uzyskiwany dla obciążonego pojazdu. (Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 01.02.93).

Ogromna większość pojazdów, jest dostarczana do badań hamulców, w stanie częściowego obciążenia lub nawet bez obciążenia, z tego powodu dla udowodnienia, że wymagania przepisów są spełnione dokonuje się obliczeń podstawowych.

Powodem tego jest fakt, że dla pojazdu nieobciążonego z powodu niewłaściwego obciążenia kół można zmierzyć niewielką siłę hamowania zanim zadziała urządzenie zabezpieczające przed blokadą kół.

### Obliczenia podstawowe:

Siła hamowania na kołach pojazdu zwiększa się liniowo w zależności od ciśnienia sterującego w hamulcach. Dotyczy to pojazdów z powietrznym jak i hydraulicznym układem hamulcowym.

Z tego powodu daje się obliczyć przewidywaną siłę hamowania dla pojazdu załadowanego, biorąc za podstawę zmierzoną siłę hamowania dla pojazdu nieobciążonego i występującą przy tym wartość ciśnienia sterującego.

Do obliczeń przyjmuje się podane przez producenta pojazdu max. ciśnienie ( $P_n$ ) występujące w układzie hamulcowym, ciśnienie ( $p$ ) występujące każdorazowo w siłownikach hamulcowych pojedynczej osi i współczynnik i uwzględniający ciśnienie od 0,4 bar (początku uruchomienia hamulców).

Wzór:

$$z = \frac{F_1 \cdot i_1 + F_2 \cdot i_2 + \dots + F_n \cdot i_n}{G_z} \cdot 100\%$$

Parametry:

$G_z$  = dopuszczalny ciężar całkowity pojazdu [N]

$z$  = wskaźnik hamowania (%)

$F_1$  = siła hamowania na pierwszej osi, występująca przy ciśnieniu  $p_1$  w [N]

$F_2$  = siła hamowania na drugiej osi, występująca przy ciśnieniu  $p_2$  w [N]

$F_n$  = siła hamowania na ostatniej osi w [N]

$$i_1 = \frac{P_n - 0,4}{p_1 - 0,4}$$

$$i_2 = \frac{P_n - 0,4}{p_2 - 0,4}$$

Ciśnienie początku uruchomienia hamulców 0,4 bar.

$P_n$  = podane przez producenta max. ciśnienie w siłownikach hamulcowych (w barach nadciśnienia) dla odpowiedniej osi, patrz tabliczka znamionowa (jeżeli ciśnienie  $P_n$  nie jest podane, należy przyjąć ciśnienie obliczeniowe).

$p_1, p_2, p_3$  = ciśnienie powietrza występujące każdorazowo w siłownikach hamulcowych danej osi (w barach nadciśnienia).

Przykład:

$G_z$  = 220000 [N]

$F_1$  = 8500 [N]

$F_2$  = 6000 [N]

$F_3$  = 6000 [N]

$P_n$  = 7,0 [bar] (w tym przypadku podane przez producenta dla wszystkich osi)

$p_1$  = 2,0 [bar]

$p_2$  = 1,7 [bar]

$p_3$  = 1,7 [bar]

Poszukiwane: z

$$i_1 = \frac{7,0 \text{ [bar]} - 0,4}{2,0 \text{ [bar]} - 0,4} = 4,1$$

$$i_2 \text{ i } i_3 = \frac{7,0 \text{ [bar]} - 0,4}{1,7 \text{ [bar]} - 0,4} = 5,1$$

$$z = \frac{8500 \text{ [N]} \cdot 4,1 + 6000 \text{ [N]} \cdot 5,1 + 6000 \text{ [N]} \cdot 5,1}{220 \ 000 \text{ [N]}} \cdot 100[\%] = 44\%$$

Wskaźnik hamowania z wynosi zatem 44%.

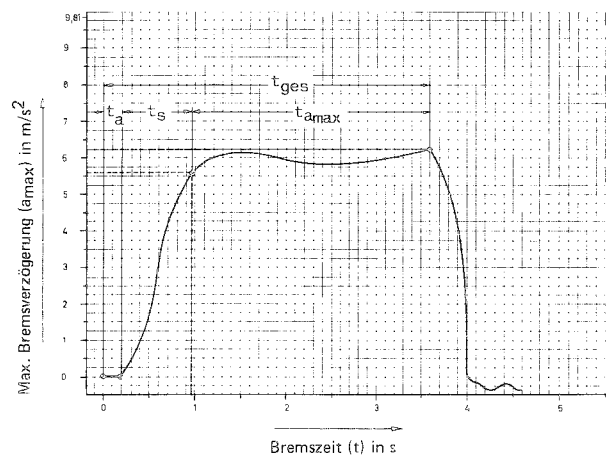
Wyznaczanie opóźnienia hamowania w jeździe próbnej:

Do wyznaczania wskaźnika hamowania, instaluje się rejestrator do pomiaru opóźnienia hamowania. Służy on do przedstawienia wykresu opóźnienia w ciągu całego procesu hamowania. Można zatem oprócz max. wartości opóźnienia określić również czas hamowania jak i obraz czasu reakcji i czasu narastania siły hamowania.

W badaniach drogowych hamulców, prędkość początkowa, dla badań hamulców roboczych, powinna się zawierać między 45 a 50 km/h. Jeśli prędkości tej nie można osiągnąć, przyjmuje się każdorazowo prędkość maksymalną. W szczególnych przypadkach badania należy przeprowadzić także dla większych prędkości początkowych.

Przykład:

Poniższy wykres przedstawia wynik badań skuteczności hamowania w funkcji czasu.



Badania drogowe układów hamulcowych przyczep:

Jeżeli pomimo różnych sposobów umieszczenia przyczepy, na stanowisku do badań hamulców, nie jest możliwe jej zbadanie, należy przeprowadzić badania drogowe wraz z pojazdem ciągnącym, tak by tylko przyczepa podlegała hamowaniu. Wymaga się by przyczepa była obciążona do wartości dopuszczalnego ciężaru całkowitego.

Wskaźnik hamowania przyczepy oblicza się ze wzoru:

$$z_A = (z_z - f_R) \frac{G_A + G_K}{G_A} + f_R (\%)$$

Oznaczenia:

- $z_A$  = wskaźnik hamowania przyczepy w [%]
- $z_z$  = wskaźnik hamowania zestawu z wykorzystaniem tylko hamulców przyczepy w [%]
- $G_A$  = ciężar przyczepy [N]
- $G_K$  = ciężar pojazdu ciągnącego [N]
- $f_R$  = współczynnik oporu toczenia (= 2%)