

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE
PŘÍLOHA D**

Koncepční studie vozu pro přepravu nákladů vyššími rychlostmi

Výpočtová dokumentace návrhu brzdy

Autor práce: Bc. et Bc. Daniel Drnec

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Heptner

2022

Obsah

Obsah.....	1
Poznámka	2
1 Jízdní odpor.....	2
2 Potřebný brzdny účinek	3
3 Maximální brzdny účinek adhezního brzdění.....	3
4 Maximální brzdná síla vyvíjená jedním kotoučem.....	6
5 Brzdny účinek magnetické kolejnicové brzdy.....	8
6 Brzdny účinek s 2 kotouči na nápravě a magnetickou kolejnicovou brzdou.....	8
7 Brzdny účinek se 3 kotouči na nápravě a magnetickou kolejnicovou brzdou.....	12

Poznámka

Parametry brzdy byly počítány pro čtyři stavy vozu a pojezdu:

- 1) Ložený vůz s novými koly (průměr kol 920 mm)
- 2) Prázdný vůz s novými koly (průměr kol 920 mm)
- 3) Ložený vůz s opotřebovanými koly (průměr kol 840 mm)
- 4) Prázdný vůz s opotřebovanými koly (průměr kol 840 mm)

Výpočty jsou uvedeny vždy jen pro variantu 1), hlavní výsledky (kapitoly 6 a 7) pro všechny varianty jsou uvedeny v tabulkách daných kapitol, ostatní výsledky jsou k dispozici v příloze B.

1 Jízdní odpor

Střední jízdní odpor vozu:

$$\text{Složka jízdního odporu A:} \quad A = 1,803 \text{ N/kN}$$

$$\text{Složka jízdního odporu B:} \quad B = 0,0005 \frac{\text{N/kN}}{\text{km/h}}$$

$$\text{Složka jízdního odporu C:} \quad C = 0,000233 \frac{\text{N/kN}}{(\text{km/h})^2}$$

$$\text{Hmotnost vozu (loženého):} \quad m = 68\,000 \text{ kg}$$

$$F_{Ra} = \left(A + \frac{2}{3} \cdot B \cdot v + \frac{1}{2} \cdot C \cdot v^2 \right) \cdot \frac{m \cdot g}{1\,000} \quad (\text{D.1})$$

$$F_{Ra} = \left(1,803 + \frac{2}{3} \cdot 0,0005 \cdot v + \frac{1}{2} \cdot 0,000233 \cdot v^2 \right) \cdot \frac{68\,000 \cdot 9,81}{1\,000}$$

$$F_{Ra} = 4\,356 \text{ N}$$

2 Potřebný brzdný účinek

Zábrzdná dráha odpovídající potřebným brzdícím procentům a dané rychlosti:

$$\text{Potřebná brzdící procenta:} \quad \lambda_{lim} = 210 \%$$

$$\text{Součinitel C pro rychlost 200 km/h:} \quad C_{\lambda} = 287\,620$$

$$\text{Součinitel D pro rychlost 200 km/h:} \quad D_{\lambda} = 11,6$$

$$s_{Zlim} = \frac{C_{\lambda}}{\lambda_{lim} + D_{\lambda}} \quad (D.2)$$

$$s_{Zlim} = \frac{287\,620}{210 + 11,6}$$

$$s_{Zlim} = 1\,298 \text{ m}$$

3 Maximální brzdý účinek adhezního brzdění

Teoretická maximální brzdá síla na obvodu kol:

$$\text{Maximální poměr brzdé a tíhové síly:} \quad \mu = 0,15$$

$$F_{Bk-teor} = m \cdot g \cdot \mu \quad (D.3)$$

$$F_{Bk-teor} = 68\,000 \cdot 9,81 \cdot 0,15$$

$$F_{Bk-teor} = 100\,062 \text{ N}$$

Teoretická maximální brzdá síla na obvodu kol vyvíjená kotoučovou brzdou (bez vlivu opotřebení kol):

$$F_{BK-teor} = F_{Bk-teor} - F_{Ra} \quad (D.4)$$

$$F_{BK-teor} = 100\,062 - 4\,356$$

$$F_{BK-teor} = 95\,706 \text{ N}$$

Reálná maximální brzdná síla na obvodu kol vyvíjená kotoučovou brzdou (se zohledněním opotřebení kol):

$$\text{Maximální průměr kol:} \quad d_{max} = 920 \text{ mm}$$

$$\text{Minimální průměr kol:} \quad d_{min} = 840 \text{ mm}$$

$$F_{BKmax} = F_{BK-teor} \cdot \frac{d_{min}}{d_{max}} \quad (\text{D.5})$$

$$F_{BKmax} = 95\,706 \cdot \frac{840}{920}$$

$$F_{BKmax} = 87\,384 \text{ N}$$

Reálná maximální brzdná síla na obvodu kol:

$$F_{Bkmax} = F_{BKmax} + F_{Ra} \quad (\text{D.6})$$

$$F_{Bkmax} = 87\,384 + 4\,356$$

$$F_{Bkmax} = 91\,740 \text{ N}$$

Střední zpomalení při brzdění adhezní brzdou na brzdné dráze:

$$\text{Součinitel rotačních hmot:} \quad \kappa = 1,05$$

$$a_{Bad} = \frac{F_{Bkmax}}{m \cdot \kappa} \quad (\text{D.7})$$

$$a_{Bad} = \frac{91\,740}{68\,000 \cdot 1,05}$$

$$a_{Bad} = 1,28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Brzdná dráha při brzdění adhezní brzdou:

Maximální rychlost:

$$v = 200 \text{ km/h}$$

$$s_{Bad} = \frac{v}{3,6} \cdot \frac{v}{a_{Bad}} - \frac{1}{2} \cdot a_{Bad} \cdot \left(\frac{v}{a_{Bad}} \right)^2 \quad (\text{D.8})$$

$$s_{Bad} = \frac{200}{3,6} \cdot \frac{200}{1,28} - \frac{1}{2} \cdot 1,28 \cdot \left(\frac{200}{1,28} \right)^2$$

$$s_{Bad} = 1\,201 \text{ m}$$

Zábrzdná dráha při brzdění adhezní brzdou:

Doba náběhu brzdy:

$$t_b = 6 \text{ s}$$

$$s_{Zad} = s_{Bad} + \frac{v}{3,6} \cdot \frac{t_b}{2} \quad (\text{D.9})$$

$$s_{Zad} = 1\,201 + \frac{200}{3,6} \cdot \frac{6}{2}$$

$$s_{Zad} = 1\,368 \text{ m}$$

Brzdicí procenta dosažitelná při brzdění adhezní brzdou:

$$\lambda_{ad} = \frac{C_\lambda}{s_{Zad}} - D_\lambda \quad (\text{D.10})$$

$$\lambda_{ad} = \frac{287\,620}{1\,368} - 11,6$$

$$\lambda_{ad} = 199 \%$$

Střední zpomalení při brzdění adhezní brzdou na zábrzdné dráze:

$$a_{Zad} = \frac{\frac{v}{3,6}}{\frac{\frac{3,6}{a_{Bad}} + \frac{t_b}{2}}{\frac{200}{3,6}}} \quad (D.11)$$
$$a_{Zad} = \frac{\frac{200}{3,6}}{\frac{\frac{3,6}{1,28} + \frac{6}{2}}{\frac{200}{3,6}}}$$
$$a_{Zad} = 1,20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

4 Maximální brzdná síla vyvíjená jedním kotoučem

Technické údaje brzdové jednotky (pro jeden kotouč):

Maximální tlak v brzdové jednotce: $p = 380\,000 \text{ Pa}$

Plocha pístu brzdové jednotky: $S = 0,03243 \text{ m}^2$

Síla v pružině: $F = 1\,300 \text{ N}$

Účinnost pákoví: $\eta = 0,94$

Převod pákoví: $i = 1,5$

Součinitel tření: $f_K = 0,35$

Třecí poloměr: $r_t = 233 \text{ mm}$

Průměr kol: $d = 920 \text{ mm}$

Maximální tlaková síla působící na kotouč (2 čelisti):

$$F_K = (p \cdot S - F) \cdot \eta \cdot i \cdot 2 \quad (D.12)$$
$$F_K = (380\,000 \cdot 0,03243 - 1\,300) \cdot 0,94 \cdot 1,5 \cdot 2$$
$$F_K = 31\,086 \text{ N}$$

Maximální brzdná síla na jednom kotouči:

$$\begin{aligned}F_{bK} &= F_K \cdot f_K && \text{(D.13)} \\F_{bK} &= 31\,086 \cdot 0,35 \\F_{bK} &= 10\,880\, N\end{aligned}$$

Maximální brzdny účinek jednoho kotouče:

$$\begin{aligned}F_{B0} &= F_{bK} \cdot \frac{r_t}{\frac{d}{2}} && \text{(D.14)} \\F_{B0} &= 10\,880 \cdot \frac{233_t}{\frac{920}{2}} \\F_{B0} &= 5\,511\, N\end{aligned}$$

Brzdná síla kotoučové brzdy na obvodu kol při 2 kotoučích na nápravu:

$$\begin{aligned}F_{B2} &= \text{MIN}(F_{B0} \cdot 8; F_{BKmax}) && \text{(D.15)} \\F_{B2} &= \text{MIN}(5\,511 \cdot 8; 87\,384) \\F_{B2} &= 44\,088\, N\end{aligned}$$

Brzdná síla kotoučové brzdy na obvodu kol při 3 kotoučích na nápravu:

$$\begin{aligned}F_{B3} &= \text{MIN}(F_{B0} \cdot 12; F_{BKmax}) && \text{(D.16)} \\F_{B3} &= \text{MIN}(5\,511 \cdot 12; 87\,384) \\F_{B3} &= 66\,132\, N\end{aligned}$$

5 Brzdný účinek magnetické kolejnicové brzdy

Maximální přitlačná síla: $F_{tMG} = 84\,000\text{ N}$

Vypínací rychlost: $v_{MG0} = 50\text{ km/h}$

Střední součinitel tření magnetické kolejnicové brzdy:

$$\mu_{MG} = 0,361 \cdot v^{-0,265} \quad (\text{D.17})$$

$$\mu_{MG} = 0,361 \cdot 200^{-0,265}$$

$$\mu_{MG} = 0,089$$

Brzdná síla magnetické kolejnicové brzdy:

$$F_{BMG} = F_{tMG} \cdot \mu_{MG} \cdot 4 \quad (\text{D.18})$$

$$F_{BMG} = 84\,000 \cdot 0,089 \cdot 4$$

$$F_{BMG} = 29\,790\text{ N}$$

6 Brzdný účinek s 2 kotouči na nápravě a magnetickou kolejnicovou brzdou

Brzdná síla v intervalu rychlostí 200-50 km/h:

$$F_{B200-50} = F_{BMG} + F_{B2} + F_{Ra} \quad (\text{D.19})$$

$$F_{B200-50} = 29\,790 + 44\,088 + 4\,356$$

$$F_{B200-50} = 78\,234\text{ N}$$

Brzdná síla v intervalu rychlostí 50-0 km/h:

$$F_{B50-0} = F_{B2} + F_{Ra} \quad (\text{D.20})$$

$$F_{B50-0} = 44\,088 + 4\,356$$

$$F_{B50-0} = 48\,444\text{ N}$$

Zpomalení v intervalu rychlostí 200-50 km/h:

$$\begin{aligned} a_{B200-50} &= \frac{F_{B200-50}}{m \cdot \kappa} & (D.21) \\ a_{B200-50} &= \frac{78\,234}{68\,000 \cdot 1,05} \\ a_{B200-50} &= 1,10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \end{aligned}$$

Zpomalení v intervalu rychlostí 50-0 km/h:

$$\begin{aligned} a_{B50-0} &= \frac{F_{B50-0}}{m \cdot \kappa} & (D.22) \\ a_{B50-0} &= \frac{48\,444}{68\,000 \cdot 1,05} \\ a_{B50-0} &= 0,68 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \end{aligned}$$

Doba zpomalení 200-50 km/h:

$$\begin{aligned} t_{B200-50} &= \frac{\frac{v - v_{MG0}}{3,6}}{a_{B200-50}} & (D.23) \\ t_{B200-50} &= \frac{\frac{200 - 50}{3,6}}{1,10} \\ t_{B200-50} &= 38,03 \text{ s} \end{aligned}$$

Doba zpomalení 50-0 km/h:

$$\begin{aligned} t_{B50-0} &= \frac{\frac{v_{MG0}}{3,6}}{a_{B50-0}} & (D.24) \\ t_{B50-0} &= \frac{\frac{50}{3,6}}{0,68} \\ t_{B50-0} &= 20,47 \text{ s} \end{aligned}$$

Doba do zastavení (na zábrzdě dráze):

$$t_Z = t_{B200-50} + t_{B50-0} + \frac{t_b}{2} \quad (\text{D.25})$$

$$t_Z = 38,03 + 20,47 + \frac{6}{2}$$

$$t_Z = 61,5 \text{ s}$$

Ekvivalentní zpomalení (na zábrzdě dráze):

$$a_{Zekv} = \frac{v}{\frac{3,6}{t_Z}} \quad (\text{D.26})$$

$$a_{Zekv} = \frac{200}{\frac{3,6}{61,5}}$$

$$a_{Zekv} = 0,90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Brzdná dráha:

$$s_B = \left(\frac{v}{3,6} \cdot t_{B200-50} - \frac{1}{2} \cdot a_{B200-50} \cdot t_{B200-50}^2 \right) \quad (\text{D.27})$$

$$+ \left(\frac{v_{MG0}}{3,6} \cdot t_{B50-0} - \frac{1}{2} \cdot a_{B50-0} \cdot t_{B50-0}^2 \right)$$

$$s_B = \left(\frac{200}{3,6} \cdot 38,03 - \frac{1}{2} \cdot 1,10 \cdot 38,03^2 \right)$$

$$+ \left(\frac{50}{3,6} \cdot 20,47 - \frac{1}{2} \cdot 0,68 \cdot 20,47^2 \right)$$

$$s_B = 1\,463 \text{ m}$$

Zábrzdná dráha:

$$s_Z = s_B + \frac{v}{3,6} \cdot \frac{t_b}{2} \quad (\text{D.28})$$

$$s_Z = 1\,463 + \frac{200}{3,6} \cdot \frac{6}{2}$$

$$s_Z = 1\,629 \text{ m}$$

Brzdicí procenta:

$$\lambda = \frac{C_\lambda}{S_Z} - D_\lambda \quad (D.29)$$

$$\lambda = \frac{287\,620}{1\,629} - 11,6$$

$$\lambda = 165 \%$$

Brzdná váha:

$$B = \frac{\lambda}{100} \cdot \frac{m}{1\,000} \quad (D.30)$$

$$B = \frac{165}{100} \cdot \frac{68\,000}{1\,000}$$

$$B = 112 \text{ t}$$

Stav vozu			ložený	prázdný	ložený	prázdný
Kola			920 mm	920 mm	840 mm	840 mm
brzdná síla v intervalu rychlostí 200-50 km/h	F _{B200-50}	[N]	78 234	72 962	82 433	72 962
brzdná síla v intervalu rychlostí 50-0 km/h	F _{B50-0}	[N]	48 444	43 172	52 643	43 172
zpomalení v intervalu rychlostí 200-50 km/h	a _{B200-50}	[m/s ²]	1,10	2,05	1,15	2,05
zpomalení v intervalu rychlostí 50-0 km/h	a _{B50-0}	[m/s ²]	0,68	1,22	0,74	1,22
doba zpomalení 200-50 km/h	t _{B200-50}	[s]	38,03	20,28	36,09	20,28
doba zpomalení 50-0 km/h	t _{B50-0}	[s]	20,47	11,43	18,84	11,43
doba do zastavení (na zábrzdě dráze)	t _Z	[s]	61,5	34,7	57,9	34,7
ekvivalentní zpomalení (na zábrzdě dráze)	a _{Zekv}	[m/s ²]	0,90	1,60	0,96	1,60
brzdná dráha	s _B	[m]	1 463	784	1 384	784
zábrzdě dráha	s _Z	[m]	1 629	950	1 551	950
brzdicí procenta	λ	[%]	165	291	174	291
brzdná váha	B	[t]	112	93	118	93

Tabulka D1: Brzdný účinek s 2 kotouči na nápravě a magnetickou kolejnicovou brzdou

7 Brzdný účinek se 3 kotouči na nápravě a magnetickou kolejnicovou brzdou

Použity vzorce (D.19) až (D.30), v rovnicích (D.19) a (D.20) počítáno F_{B3} místo F_{B2} .

Stav vozu			ložený	prázdný	ložený	prázdný
Kola			920 mm	920 mm	840 mm	840 mm
brzdná síla v intervalu rychlostí 200-50 km/h	$F_{B200-50}$	[N]	100 278	72 962	106 576	72 962
brzdná síla v intervalu rychlostí 50-0 km/h	F_{B50-0}	[N]	70 488	43 172	76 786	43 172
zpomalení v intervalu rychlostí 200-50 km/h	$a_{B200-50}$	[m/s ²]	1,40	2,05	1,49	2,05
zpomalení v intervalu rychlostí 50-0 km/h	a_{B50-0}	[m/s ²]	0,99	1,22	1,08	1,22
doba zpomalení 200-50 km/h	$t_{B200-50}$	[s]	29,67	20,28	27,91	20,28
doba zpomalení 50-0 km/h	t_{B50-0}	[s]	14,07	11,43	12,91	11,43
doba do zastavení (na zábrzdě dráze)	t_z	[s]	46,7	34,7	43,8	34,7
ekvivalentní zpomalení (na zábrzdě dráze)	a_{Zekv}	[m/s ²]	1,19	1,60	1,27	1,60
brzdná dráha	s_B	[m]	1 128	784	1 059	784
zábrzdě dráha	s_Z	[m]	1 294	950	1 226	950
brzdící procenta	λ	[%]	211	291	223	291
brzdě váha	B	[t]	143	93	152	93

Tabulka D2: Brzdě účinek se 3 kotouči na nápravě a magnetickou kolejnicovou brzdou