



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

ÚSTAV AUTOMOBILŮ, SPALOVACÍCH MOTORŮ A KOLEJOVÝCH VOZIDEL



**Brzdový systém osobního železničního vozu
pro rychlost do 200 km/h**

**A brake system of a passenger rail wagons
for speeds up to 200 km/h**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

Michal KUNEŠ

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kuneš** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **459969**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Brzdový systém osobního železničního vozu pro rychlost do 200 km/h

Název bakalářské práce anglicky:

A brake system of a passenger rail wagons for speeds up to 200 km/h

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte:

1. Rešerši koncepce řešení brzd osobního železničního vozu a současný stav techniky.
2. Základní blokové schéma pneumatické části brzdy železničního vozu pro rychlost do 200 km/h.
3. Stanovte základní technické parametry kotoučové brzdy
4. Rozbor silových účinků působících při brzdění kotoučovou brzdou a dvojkolí.
5. Výpočet šroubového spoje brzdového kotouče s nábojem.
6. Průvodní technickou zprávou a sestavný výkres běžného dvojkolí osobního vozu s brzdovými kotouči.

Seznam doporučené literatury:

Odborné časopisy, firemní literatura, patentová literatura, normy.

Skripta ČVUT:

KOLÁŘ, J.: Teoretické základy konstrukce kolejových vozidel

ŠÍBA, J.: Kolejová vozidla II,

ŠÍBA, J.: Kolejová vozidla II - pojezd

MARUNA, Z., HOFFMANN, V., KOULA, J., KROUPOVÁ, Z.: Metodika konstruování kolejových vozidel - osobní a nákladní podvozky

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Josef Kolář, CSc., ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

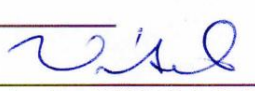
Datum zadání bakalářské práce: **18.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.07.2019**

Platnost zadání bakalářské práce:



doc. Ing. Josef Kolář, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce



doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



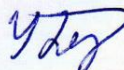
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

30.4.2019

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím literárních pramenů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

Datum:

.....
Michal KUNEŠ

Poděkování

Rád bych poděkoval panu doc. Josefu Kolářovi, CSc. za veškeré cenné rady a věcné připomínky, které mi během zpracování bakalářské práce poskytnul. Děkuji společnosti DAKO-CZ, a hlavně Ing. Michalu Kunovi za poskytnutí informací, odborných konzultací a vnitropodnikových materiálů, týkajících se elektropneumatických brzdových systémů pro kolejová vozidla. Dále děkuji panu Ing. Tomáši Hladíkovy za návštěvu OCÚ Střed a možnost pořízení fotografií komponent brzdového systému na osobních vozech.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem adhezní elektropneumatické kotoučové brzdy pro osobní kolejový vůz pro rychlost do 200 km/h. Rešerše je zaměřena na popis základních principů brzdění železničních vozidel a porovnání čtyř různých brzdových systémů DAKO, jež jsou vzájemně porovnány v odlišnostech konceptu konstrukce a popsána funkčnost klíčových komponent brzdového systému. Podle zadaných parametrů brzdového systému DAKO pro osobní kolejový vůz pro rychlost do 200 km/h jsou vypočteny základní parametry kotoučové brzdy při rychločinném zabrzdění vozu na požadované zábrzdě vzdálenosti.

Abstract

The bachelor thesis deals with the design of the adhesion electro-pneumatic disc brake for passenger rail wagon for speeds up to 200 km/h. The research is focused on a description of basic principles of railway vehicles braking and a comparison of the four different types of DAKO brake systems, which are mutually compared in differences in the construction concept and the functionality of key components of the brake system is described. The basic parameters of the disc brake are calculated according to the set parameters of the DAKO brake system for a passenger rail wagon for speeds of up to 200 km/h, when the vehicle is braked to the required braking distance.

Anotační list

Jméno autora: Michal Kuneš

Název práce: Brzdový systém osobního železničního vozu pro rychlost do 200 km/h

Name of thesis: A brake system of a passenger rail wagons for speeds up to 200 km/h

Akademický rok: 2018/2019

Studijní program: B2341 Strojírenství

Obor studia: 3901R051 Konstruování podporované počítačem

Ústav: 12 120 – Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Vedoucí práce: doc. Ing. Josef Kolář, CSc.

Konzultant: Ing. Michal Kuna

Zakladatel práce: DAKO-CZ

Rozsah práce: počet stran: 65
počet obrázků: 46
počet tabulek: 10
počet příloh: 3

Klíčová slova: osobní kolejový vůz, brzdový systém, elektropneumatická brzda, kotoučová brzda, brzdový kotouč, kompaktní brzda DAKO, rozváděč DAKO CV1nD, brzdící procento, zábrzdná vzdálenost, elektromagnetická kolejnicová brzda

Keywords: passenger rail wagon, brake system, electro-pneumatic brake, disc brake, compact brake DAKO, distributor DAKO CV1nD, braked weight percentage, braking distance, magnetic track brake

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Brzdový systém DAKO rychlíkových vozidel	2
2.1.	Rozdělení typů brzd	2
2.1.1.	Tlakové brzdy.....	3
2.1.2.	Elektrodynamická brzda	4
2.1.3.	Ruční brzdy	5
2.2.	Základní principy brzdění železničních vozidel	5
2.2.1.	Zařízení pro zrychlení brzdícího účinku	8
3.	Popis funkce brzdové výstroje	9
3.1.	Popis funkce brzdové výstroje v = 120 km/h.....	9
3.1.1.	Schéma a kusovník brzdové výstroje	9
3.1.2.	Hlavní brzdové potrubí.....	10
3.1.3.	Spojkové kohouty	11
3.1.4.	Brzdové spojky.....	11
3.1.5.	Prachojem.....	12
3.1.6.	Rychlíková brzda DAKO R	13
3.1.7.	Vzduchojemy	16
3.1.8.	Záchranná brzda	16
3.2.	Popis funkce brzdové výstroje v = 140 km/h.....	17
3.2.1.	Schéma a kusovník brzdové výstroje	17
3.2.2.	Podobnost s brzdovou výstrojí v = 120 km/h.....	19
3.2.3.	Kompaktní brzda DAKO	19
3.2.4.	Záchranná brzda DAKO PZ4.....	20
3.2.5.	Elektropneumatická brzda DAKO EPB2.....	21
3.2.6.	Ukazatel brzdění.....	22
3.2.7.	Potrubní zrychlovač DAKO Z2.....	23
3.3.	Popis funkce brzdové výstroje v = 160 km/h.....	25
3.3.1.	Schéma a kusovník brzdové výstroje	25
3.3.2.	Podobnost s brzdou výstrojí v = 140 km/h.....	27
3.3.3.	Kompaktní brzda DAKO	27
4.	Zařízení brzdy v podvozku	30
4.1.	Zařízení brzdy v podvozku v = 120 km/h	30
4.1.1.	Špalíková brzda.....	30

4.2.	Zařízení brzdy v podvozku v = 140 km/h	34
4.2.1.	Kotoučová brzda.....	35
4.3.	Zařízení brzdy v podvozku v = 160 km/h	36
5.	Brzdový systém DAKO rychlíkového vozu v = 200 km/h	37
5.1.	Návrh pneumatického schéma a kusovníku	37
5.2.	Odlišnosti brzdového systému od vozu v = 160 km/h.....	39
5.2.1.	Kompaktní brzda DAKO	39
5.2.2.	Elektromagnetická kolejnicová brzda	40
5.2.3.	Kotoučová brzda.....	41
6.	Výpočet brzdy.....	42
6.1.	Úvod do problematiky výpočtu	42
6.1.1.	Charakteristika brzdění kolejového vozidla	42
6.1.2.	Výkonnost brzd kolejových vozidel	43
6.1.3.	Požadavky na brzdnou výkonnost vozidel do 200 km/h	46
6.2.	Technické parametry osobního vozu do 200 km/h	46
6.3.	Výpočet základních parametrů brzdy	47
6.4.	Výpočet zábrzdě dráhy	48
6.5.	Výpočet potřebné brzdné síly.....	48
6.6.	Kontrola součinitele meze adheze.....	51
6.7.	Rozbor silových účinků při brzdění kotoučovou brzdou	51
6.8.	Výpočet sil působících na brzdový kotouč a dvojkolí	52
6.9.	Výpočet převodu pákovi brzdových jednotek	53
7.	Kontrola brzdy.....	55
8.	Kontrola šroubového spoje brzdového kotouče	58
8.1.	Výpočet parametrů šroubu	59
8.2.	Výpočet sil působících na šrouby.....	60
8.3.	Výpočet utahovacího momentu	60
8.4.	Kontrola šroubů na statické zatížení	61
9.	Závěr.....	62
10.	Seznam použité literatury	63
11.	Seznam obrázků	64
12.	Seznam tabulek	65
13.	Seznam příloh.....	65

Seznam použitých veličin

Značení	Jednotka	Popis
a	[mm]	Délka ramene brzdového jednotky k brzdovým čelistím
a_V	[$m \cdot s^{-2}$]	Brzdové zpomalení vozu
A_B	[J]	Brzdná práce vozu
A_{B1}	[J]	Brzdná práce vozu při brzdění EP a Mg brzdou
A_{B2}	[J]	Brzdná práce vozu při brzdění EP brzdou
b	[mm]	Délka ramene brzdového jednotky k brzdovému válci
B	[t]	Výsledná brzdící váha vozu
$\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}$	[1]	Koeficienty kvadratické rovnice
C, D	[1]	Koeficienty pro výpočet zábrzdě vzdálenosti
d	[mm]	Průměr brzdového kotouče
d_K	[mm]	Počítaný průměr nového kola dvojkolí
d_2	[mm]	Stření průměr závitu
d_3	[mm]	Průměr jádra šroubu
D_0	[mm]	Průměr nového kola dvojkolí
D_1	[mm]	Průměr opotřebovaného kola dvojkolí
E_K	[J]	Celková kinetická energie vozu
E_{K1}	[J]	Kinetická energie vozu při brzdění EP a Mg brzdou
E_{K2}	[J]	Kinetická energie vozu při brzdění EP brzdou
f_B	[1]	Součinitel tření brzdového obložení
f_K	[1]	Součinitel tření mezi brzdovým kotoučem a nábojem
f_M	[1]	Součinitel tření pod maticí
f_Z	[1]	Součinitel tření mezi závity šroubu a matice
F_{dyn}	[N]	Přítlak na brzdové čelisti jednotky kotoučové brzdy
ΣF_{dyn}	[N]	Celkový přítlak všech brzdových jednotek kotoučové brzdy
F_j	[N]	Celkový jízdní odpor při brzdění vozu
F_t	[N]	Maximální vyvozená brzdná síla na píst brzdového válce
F_B	[N]	Celková brzdná síla vozu
F_{Bdv}	[N]	Brzdná síla na dvojkolí
F_{BN}	[N]	Normálová brzdná síla na brzdovém kotouči
F_{BP}	[N]	Brzdná síla na píst brzdového válce
F_{BPskut}	[N]	Skutečná brzdná síla na píst brzdového válce
F_{BT}	[N]	Tečná brzdná síla na brzdovém kotouči
F_{B1}	[N]	Celková brzdná síla vozu při brzdění EP a Mg brzdou
F_{B2}	[N]	Celková brzdná síla vozu při brzdění EP brzdou
$F_{B,I,II}$	[N]	Kořeny kvadratické rovnice
F_F	[N]	Síla od vratné pružiny v brzdovém válci
F_{Mg}	[N]	Brzdná síla elektromagnetické kolejnicové brzdy
F_P	[N]	Brzdná síla pneumatické brzdy
$F_{\check{S}N}$	[N]	Normálová síla šroubu
$F_{\check{S}T}$	[N]	Tečná třecí síla šroubu
F_V	[N]	Zatížení šroubu
ΔF_V	[N]	Přídavné zatížení šroubu teplotní dilatací
g	[$m \cdot s^{-2}$]	Gravitační zrychlení
G_V	[N]	Tíhová síla vozu

Značení	Jednotka	Popis
i_p	[1]	Převod brzdové jednotky
k	[1]	Statická bezpečnost šroubu
l_t	[m]	Teoretická zábrzdna dráha vozu
l_r	[m]	Skutečná zábrzdna dráha vozu
l_B	[m]	Skutečná požadovaná zábrzdna vzdálenost vozu
l_{Mg}	[m]	Brzdna dráha při brzdění vozu Mg brzdou
l_P	[mm]	Celková délka ramene brzdové jednotky
l_ξ	[mm]	Délka šroubu
Δl_T	[mm]	Teplotní dilatace brzdového kotouče
l_{UIC}	[m]	Požadavek na zábrzdnou vzdálenost vozu
m_{red}	[kg]	Redukovaná hmotnost vozu
m_v	[t]	Hmotnost loženého vozu
m_0	[t]	Hmotnost prázdného vozu
M_{Bdv}	[Nm]	Brzdny moment dvojkolí
M_{B1}	[Nm]	Brzdny moment na brzdny kotouči
M_{TM}	[Nm]	Třecí moment pod maticí
M_U	[Nm]	Požadovaný utahovací moment šroubového spoje
M_Z	[Nm]	Moment v závitech šroubového spoje
$n_{B\check{C}}$	[1]	Počet čelistí brzdové jednotky kotoučové brzdy
n_K	[1]	Počet brzdových jednotek kotoučové brzdy na voze
n_{Kdv}	[1]	Počet brzdových jednotek kotoučové brzdy na dvojkolí
n_{Mg}	[1]	Počet brzdových trámčů Mg brzdy na voze
n_ξ	[1]	Počet šroubových spojů pro uložení brzdového kotouče
O_V	[N]	Jízdní odpor vozu
p	[kg · m · s ⁻¹]	Hybnost vozu
p_{pMg}	[kN]	Přítlak jedné elektromagnetické kolejnicové brzdy
$p_{B\check{C}}$	[N · cm ⁻²]	Měrný tlak na čelist kotoučové brzdy
p_{BV}	[bar]	Požadovaný pracovní tlak vzduchu v brzdovém válci
p_{BVmax}	[bar]	Maximální pracovní tlak vzduchu v brzdovém válci
p_Z	[mm]	Stoupání závitu
$r_{BKstř}$	[mm]	Střední třecí poloměr brzdového kotouče
$r_{K\xi}$	[mm]	Poloměr roztečné kružnice šroubových spojů
s_B	[m]	Brzdna dráha vozu
s_M	[mm]	Rozměr pro klíč
s_{BO}	[cm ²]	Plocha brzdového obložení
s_V	[dm ²]	Činná plocha válce brzdové jednotky kotoučové brzdy
s_3	[mm ²]	Průřez jádra šroubu
t_{BV}	[s]	Plnicí doba brzdových válců
T	[K]	Provozní teplota šroubového spoje
ΔT	[K]	Teplotní rozdíl ve šroubovém spoji
ΔT_ξ	[K]	Teplotní rozdíl šroubu a spojovaných součástí
T_0	[K]	Montážní teplota šroubového spoje
v	[m · s ⁻¹]	Rychlost vozu
v_{ad}	[m · s ⁻¹]	Rychlost ukončení brzdění Mg brzdou
v_{max}	[m · s ⁻¹]	Maximální provozní rychlost vozu
w	[1]	Měrný jízdní odpor

Značení	Jednotka	Popis
W_K	$[mm^3]$	Průřezový modul šroubu v krutu
$\alpha_{\tau_{max}}$	[1]	Součinitel redukované napjatosti dle hypotézy τ_{max}
α_1	$[K^{-1}]$	Součinitel teplotní roztažnosti šroubu
α_2	$[K^{-1}]$	Součinitel teplotní roztažnosti spojených součástí
β	$[^\circ]$	Vrcholový úhel profilu závitu
γ	$[^\circ]$	Úhel stoupání závitu
δ	[1]	Součinitel rotujících hmot
η	[1]	Účinnost brzdové jednotky
λ	[%]	Brzdící procento
λ_{min}	[%]	Minimální požadavek na brzdící procento
λ_{max}	[%]	Maximální požadavek na brzdící procento
λ_B	[%]	Výsledná hodnota brzdícího procenta vozu
μ	[1]	Součinitel meze adheze ve styku kola s kolejnicí
μ_B	[1]	Požadovaná hodnota součinitele meze adheze
$\mu_{PMg_{200}}$	[1]	Střední součinitel tření Mg brzdy z rychlosti 200 km/h
ρ_M	$[mm]$	Třecí poloměr matice
σ_{kt}	$[N \cdot mm^{-2}]$	Mez kluzu v tahu šroubu
σ_{red}	$[N \cdot mm^{-2}]$	Redukované napětí šroubu
σ_K	$[N \cdot mm^{-2}]$	Tahové napětí šroubu
τ_K	$[N \cdot mm^{-2}]$	Napětí v krutu šroubu
φ'	$[^\circ]$	Upravený třecí úhel závitu

1. Úvod

Brzdová zařízení železničních vozidel patří z hlediska bezpečnosti v železničním provozu k nejdůležitějšímu systému železničních vozidel, poněvadž slouží ke snížení rychlosti nebo zastavení vozidla. Z tohoto důvodu se na brzdění vztahují přísné předpisy, které mají zajistit účinnost a spolehlivost brzdového zařízení. Tudíž každá železniční brzda musí splňovat několik základních podmínek, stanovených vyhláškou UIC 540, aby mohla být připuštěna pro mezinárodní železniční provoz.

Účelem této práce je stanovení základní technických parametrů brzdového systému DAKO osobního kolejového vozu pro rychlost do 200 km/h, jenž zahrnuje brzdění brzdovými jednotkami kotoučové brzdy, a pro vysoké rychlosti i použití neadhezivní elektromagnetické kolejnicové brzdy.

Pro pochopení problematiky brzdění osobních kolejových vozů a poukázání na současný stav techniky, byla provedena rešerše, kde jsou stručně popsány základní principy brzdění železničních vozidel a uvedeny jednotlivá pneumatická bloková schémata brzdových systémů. V jednotlivých kapitolách jsou popsány brzdové systémy osobních vozů, jenž jsou používány do určitých maximálních provozních rychlostí, které jsou bržděny buď pneumatickou špalíkovou brzdou, nebo moderní elektropneumatickou kotoučovou brzdou. Jednotlivé brzdové systémy jsou popsány a vzájemně porovnány v odlišnostech konceptu konstrukce, kdy je popsána funkčnost klíčových komponent a jejich vliv na brzdění osobního vozu.

Cílem této práce je návrh a výpočet základní parametrů kotoučové brzdy pro osobní kolejový vůz pro maximální provozní rychlost $v = 200$ km/h, jenž musí rychločinně zastavit na požadované zábrzdě vzdálenosti, která je předepsána mezinárodními předpisy. Během výpočtu je zapotřebí kontrolovat splnění určitých požadavků, jako je kontrola součinitele meze adheze ve styku mezi kolem dvojkolí a kolejnicí nebo kontroly vyhovujícího převodu pákovi jednotek kotoučové brzdy.

Tato práce byla zhotovena za podpory společnosti DAKO-CZ, jenž je předním výrobcem pneumatických, elektromechanických a hydraulických brzdových systémů pro kolejová vozidla. Společnost DAKO-CZ poskytla odborné konzultace a zajistila přístup k vnitropodnikovým materiálům společnosti.

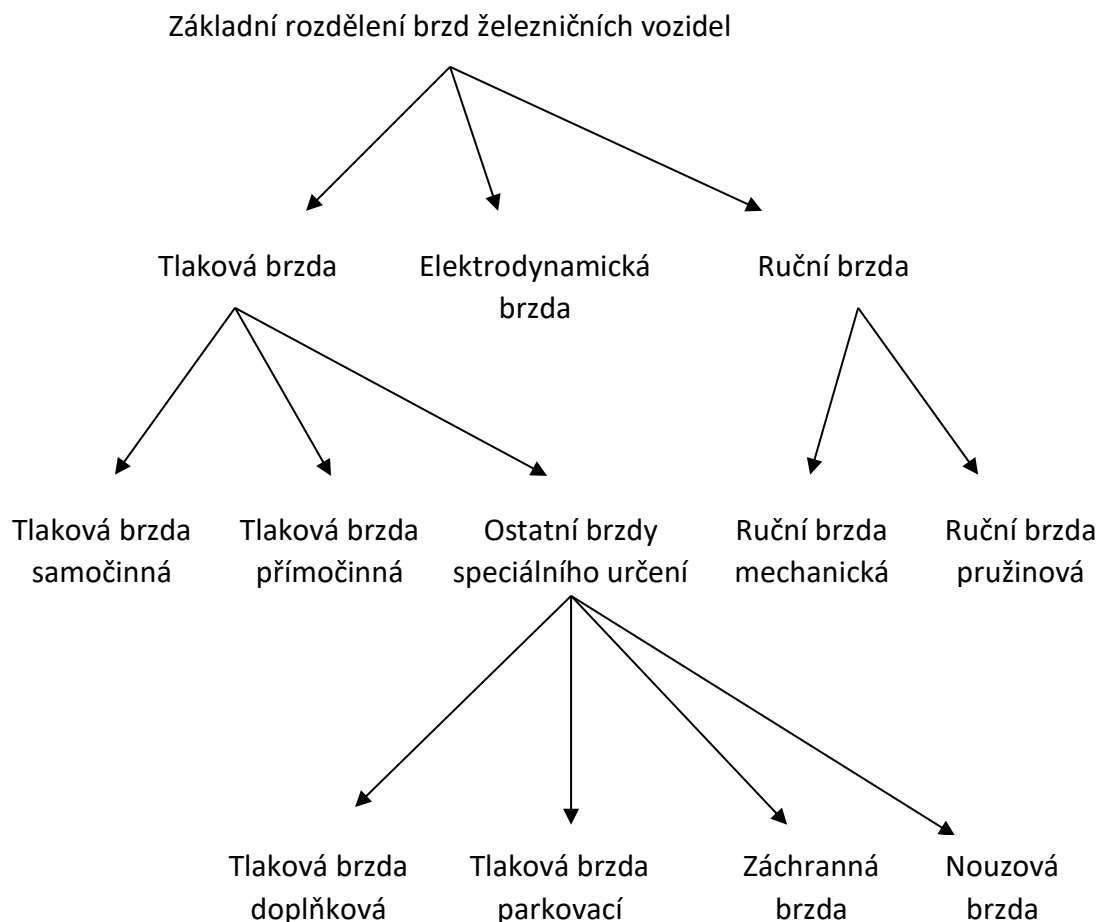
2. Brzdový systém DAKO rychlíkových vozidel

Jakýkoliv pohybující se vlak, kdy je jeho stav vyjádřen kinetickou energií, jenž získal při svém rozjezdu, je nutno k docílení požadovaného brzdění vlaku odebrat neboli přeměnit na jiný druh energie. Většina kolejových hnaných vozů je vystrojena brzdami, jenž pracující na přeměně kinetické energie vlaku v teplo, kdy je přenos brzdné síly mezi vozem a kolejnicí proveden adhezním nebo neadhezním způsobem. [7] [10]

Adhezní brzdové systémy využívají k přenosu brzdné síly styk kola s kolejnicí, kdy jejich účinnost je závislá na adhezi (schopnosti přenášet tečné síly v daném styku). Mezi tyto brzdové systémy můžeme zařadit například špalíkovou nebo kotoučovou brzdu. Zatímco neadhezní brzdové systémy nejsou nijak závislé na adhezi, a jsou používány pouze jako doplněk k brzdám adhezním, což je například magnetická kolejnicová brzda. [7] [10]

2.1. Rozdělení typů brzd

V konstrukci moderních železničních vozidel je používáno mnoho druhů brzd, kde každá má svou nezastupitelnost a použití v závislosti na druhu železničního vozidla. Obecně však, každé železniční vozidlo je vždy vybaveno samočinnou brzdou a ruční brzdou. [2]



Obr. 1: Přehled rozdělení typů brzd železničních vozidel [2]

2.1.1. Tlakové brzdy

Všechny druhy tlakových brzd, používají k vyvození brzdného účinku stlačený vzduch prostřednictvím brzdového válce, kdy je potřebný stlačený vzduch vyráběn pomocí kompresu na hnacím vozidle. Stlačený vzduch o provozním tlaku 5 bar¹, je dále rozveden hlavním potrubím podél celého vlaku do jednotlivých brzdových systémů. [2]

2.1.1.1. Tlaková brzda samočinná

Samočinná brzda je nejdůležitější brzdou na všech železničních vozidlech. Vlivem poklesu tlaku v hlavním potrubí, které vznikne vypouštěním vzduchu přes brzdič samočinné brzdy, začne rozváděč plnit brzdové válce stlačeným vzduchem z pomocného vzduchojemu, čímž dochází k brzdění vozidla. Při opětovném nárůstu tlaku v hlavním potrubí na provozní tlak, rozváděč odvětrává brzdový válec, a dochází k odbrzdění. Tímto způsobem je dosažena samočinnost brzdění, která je nutná pro bezpečnost provozu, kdy například při přetržení vlaku nebo spuštění záchranné brzdy, dojde k poklesu tlaku v hlavním potrubí, a celý vlak nebo jednotlivá vozidla začnou automaticky brzdit. Pomocí určitého poklesu nebo nárůstu tlaku vzduchu v hlavním potrubí, lze nastavit požadovaný brzdící stupeň. Požadovaná manipulace s tlakem vzduchu je dosažena pomocí brzdiče (brzdového ventilu), který je přímo ovládán ze stanoviště strojvedoucího. [2]

2.1.1.2. Tlaková brzda přímočinná

Stlačený vzduch je do brzdových válců přímo vpouštěn brzdičem přímočinné brzdy, který je ovládán z místa strojvedoucího a její použití je zcela závislé na lidském činiteli (strojvedoucím). Přímočinná brzda není samočinná, a z tohoto důvodu je používána pouze na hnacích vozidlech. Její použití je opodstatněné v případech, kdy je potřebné zastavení na přesně stanoveném místě, například při posunování, zastavení na železniční zastávce nebo při připojování lokomotivy k vlaku. [2]

¹ Brzdová terminologie, brzdové předpisy a mezinárodní vyhlášky UIC udávají výši tlaku vzduchu v barech, proto jsou tyto jednotky použity v celé práci, i když neodpovídají platné soustavě jednotek SI. Dále velikost brzdového potrubí a brzdových válců je dle předpisů o brzdách udávána v „palcích“. [2]

2.1.1.3. Ostatní brzdy speciálního určení

2.1.1.3.1. Tlaková brzda doplňková

Doplňková brzda doplňuje potřebný stanovený brzdový výkon elektrodynamické brzdě na motorovém vozidle tak, aby bylo vždy dosaženo 100 % brzdového výkonu elektrodynamické brzdě. Důvodem je, že při snižující se rychlosti vozidla, klesá účinnost elektrodynamické brzdě, čímž je při provozní rychlosti brzdový výkon doplňkové brzdě nulový, zatímco při minimální rychlosti nebo těsně před zastavením vlaku, je brzdový výkon maximální. Průběh a úroveň brzdového výkonu je ovládána centrálním řídicím počítačem v závislosti na známé charakteristice elektrodynamické brzdě. [2]

2.1.1.3.2. Tlaková brzda parkovací

Pomocí parkovací brzdě je stlačený vzduch vpouštěn přímo do brzdových válců na povel strojvedoucího. Parkovací brzda je určena k udržení vozidla (soupravy) při stání, kdy brzdový výkon je stanoven tak, aby bylo dosaženo bezpečného stání, i na maximálně používaných spádech železniční tratě. Brzdový výkon není však dimenzován na jakékoliv provozní brzdění. Použití parkovací brzdě je časově omezeno v závislosti na těsnosti pneumatických obvodů brzdě, kdy doba použití je řádově několika minut. Z tohoto důvodu nesmí být parkovací brzda zaměněna za ruční brzdu (viz kapitola 2.1.3). [2]

2.1.1.3.3. Záchranná brzda

Manipulací se záchrannou brzdou, respektive záklopkou záchranné brzdě, dochází k intenzivnímu poklesu tlaku v hlavním brzdovém potrubí, a automaticky začnou účinkovat samočinné brzdy po celém vlaku. Použití záchranné brzdě je určeno pro cestující v nouzových případech. V současnosti konstrukce záchranné brzdě zahrnuje možnosti neutralizace účinku brzdě strojvedoucími, tzv. přemostění záchranné brzdě. Použití neutralizace je vhodné ve chvílích, kdy se vlak pohybuje v nevhodné oblasti záchranných operací, například v dlouhém tunelu nebo na mostě. Strojvedoucí zastaví vlak až na nejbližším vhodném místě pro efektivní práci záchranných složek. [1] [2]

2.1.1.3.4. Nouzová brzda

Nouzová brzda je umístěna na stanovišti strojvedoucího, kdy jejím účinkem dojde k intenzivnímu poklesu tlaku v hlavním potrubí, čímž nastane spuštění samočinných brzd po celém vlaku. Nouzová brzda je označena tak, aby v případě nouze mohla být použita cestujícími. [2]

2.1.2. Elektrodynamická brzda

Elektrodynamické brzdy se hlavně používají na elektrických lokomotivách či motorových vozidlech s elektrickým pohonem. Brzdění je docíleno pomocí trakčních motorů, které jsou poháněny pohybovou energií vozidla a pracují jako generátory. Dodávají energii do trakčního vedení nebo do brzdových odporů. Účinnosti elektrodynamické brzdě je závislá na rychlosti vozidla (otáčkách elektromotorů), kdy s klesající rychlostí, klesá účinnost brzdě. V současnosti se elektrodynamické brzdy využívají téměř k zastavení. [2]

2.1.3. Ruční brzdy

Ruční brzdy jsou používány pro trvalé odstavení vozidla na neomezenou dobu, kdy nesmí dojít k samovolnému rozjezdu. Ruční brzdy se dále rozdělují dle technického řešení na mechanické a pružinové. [2]

2.1.3.1. Ruční brzdy mechanické

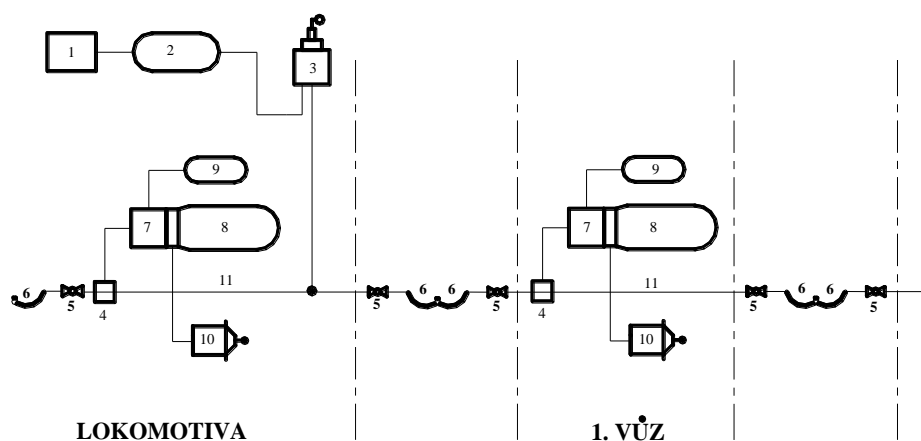
Mechanické brzdy jsou nejrozšířenější ruční brzdou. Používají se na všech hnaných vozidlech, na starších typech lokomotiv a na motorových vozech. Brzda je ovládána pomocí otočného brzdového kola ruční brzdy z představku vozu. Pomocí kola ruční brzdy, přes šroubový mechanismus, a dále na pákový mechanismus, je vyvozen brzdový účinek. Dále musí brzda splňovat samosvornost, což zabraňuje jakémukoliv samovolnému uvolnění brzdy. [2]

2.1.3.2. Ruční brzdy pružinové (střadačové)

Ruční pružinové brzdy jsou používány na moderních vozidlech. Brzdový válec je vybaven dimenzovanou pružinou, která vyvolává potřebný přítlak. Odbrzdnění je dosaženo pomocí tlaku vzduchu působícího na píst, který odtlačí pružinu, a eliminuje brzdovou sílu. [2]

2.2. Základní principy brzdění železničních vozidel

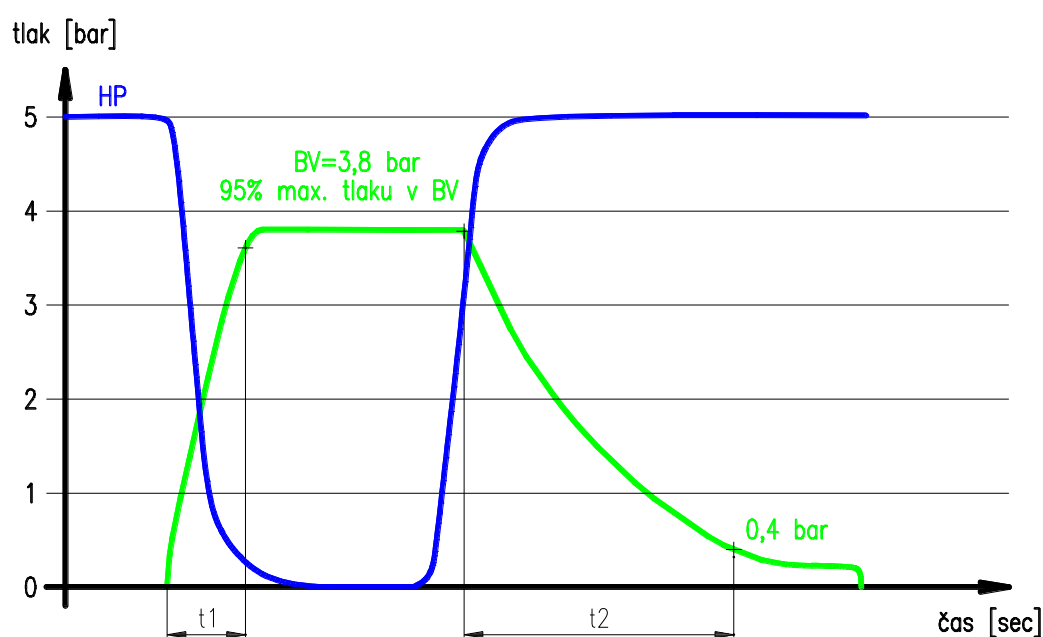
Ze všech uvedených brzd v předešlé kapitole je nejdůležitější tlaková brzda samočinná, kterou jsou vybavena všechna vozidla, včetně lokomotiv. Samočinné brzdy jednotlivých vozidel sestaveného vlaku jsou řízeny stlačeným vzduchem z lokomotivy, odtud je veden z hlavních vzduchojemů pomocí hlavního potrubí, přes rozváděče, do pomocných vzduchojemů. Při brzdění je dále stlačený vzduch veden z pomocných vzduchojemů do brzdových válců. Přivedený stlačený vzduch na píst brzdového válce vytvoří brzdnou sílu, která je dále převedena na brzdové kotouče. Brzdění a odbrzdnění vlaku je řízeno strojvedoucím, pohybem rukojeti brzdiče, čímž je docíleno změny tlaku v hlavním potrubí. [2]



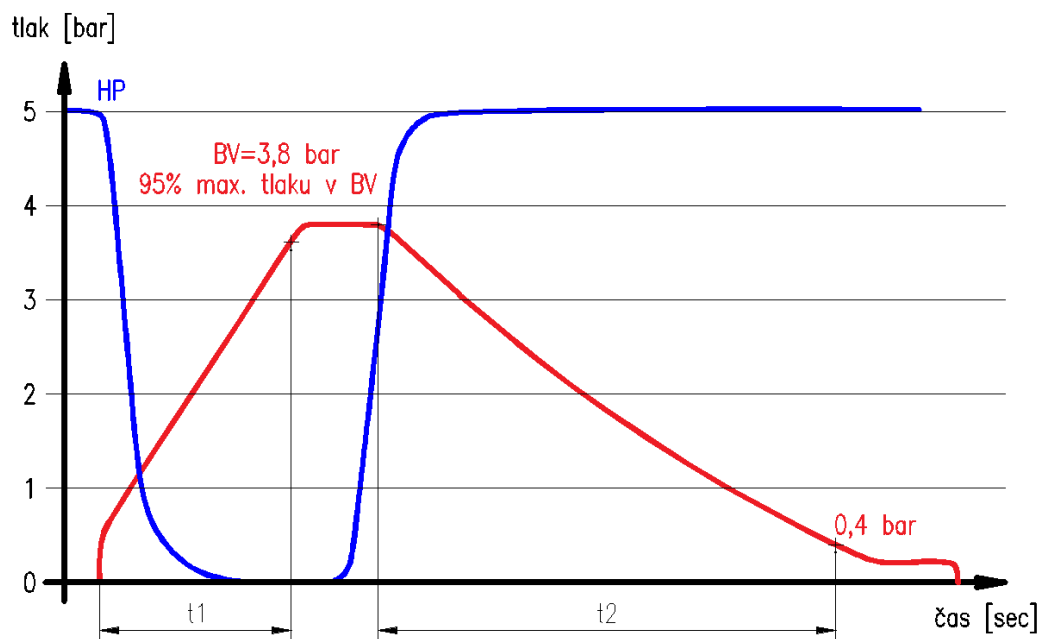
Obr. 2: Zjednodušené schéma samočinné tlakové brzdy [2]

- | | | |
|----------------------------|------------------------|--------------------------|
| 1 - kompresor | 5 - spojkový kohout | 9 - rozvodový vzduchojem |
| 2 - hlavní vzduchojem | 6 - brzdová spojka | 10 - brzdový válec |
| 3 - brzdič samočinné brzdy | 7 - rozváděč | 11 - hlavní potrubí |
| 4 - prachojem | 8 - pomocný vzduchojem | |

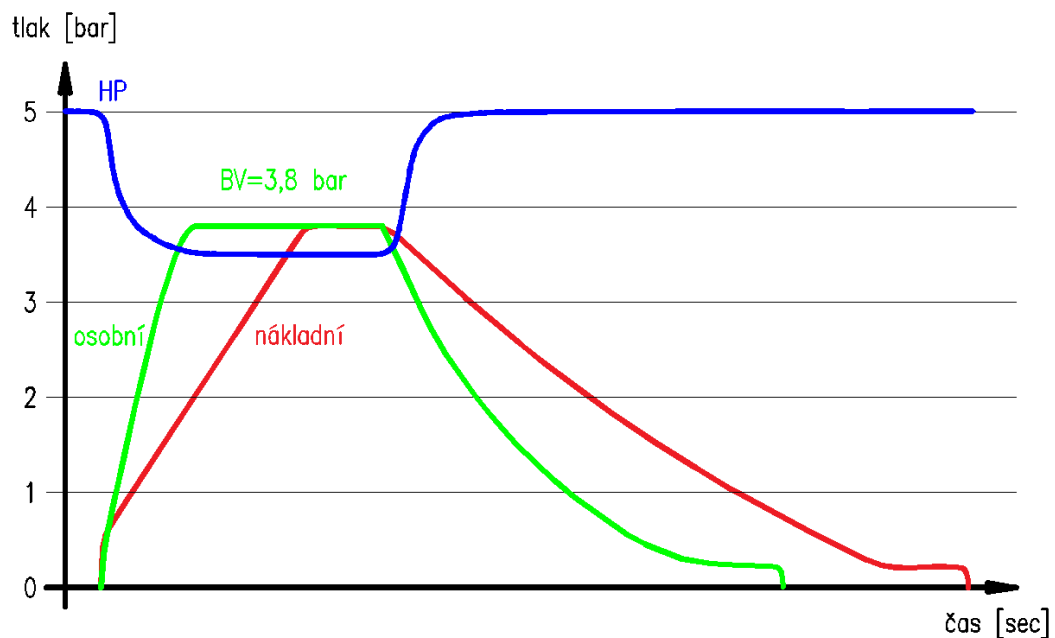
Rozváděč samočinné brzdy musí velmi citlivě reagovat na změny tlaku v hlavním potrubí, čímž je při brzdění (vypouštění tlaku vzduchu z hlavního potrubí) vpouštěno odpovídající množství stlačeného vzduchu z pomocného vzduchojemu do brzdového válce, v souladu s rozváděči na ostatních vozech vlaku. Tímto způsobem je zajištěno rovnoměrné brzdění všech vozů po celém vlaku, jinak by došlo ke vzniku rázů mezi vozy podél vlaku, až by se vlak mohl přetrhnout. Z důvodu existence závislosti na délce vlaku, se liší režim brzdění osobního vlaku, kdy je vlak relativně krátký, od režimu nákladního vlaku, kdy je délka až 1000 m, v časování nárůstu tlaku (při odbrzdění poklesu tlaku) v brzdovém válci. Rozváděč umožňuje při odbrzdění vypouštět vzduch z brzdových válců postupně dle potřeby, čímž je možné ovládat rychlost vlaku na spádu železniční tratě. Požadavky na samočinnou brzdu, a hlavně rozváděč, jsou předepsány vyhláškou UIC 540. Konstrukce rozváděče DAKO CV1nD splňuje požadavky a je používán na vozech nákladních, osobních, motorových nebo i na lokomotivách. [2] Průběh změny tlaku vzduchu v brzdovém válci je znázorněn při různých způsobech brzdění vozu s rozváděčem DAKO CV1nD (viz Obr. 3 až Obr. 6). [2]



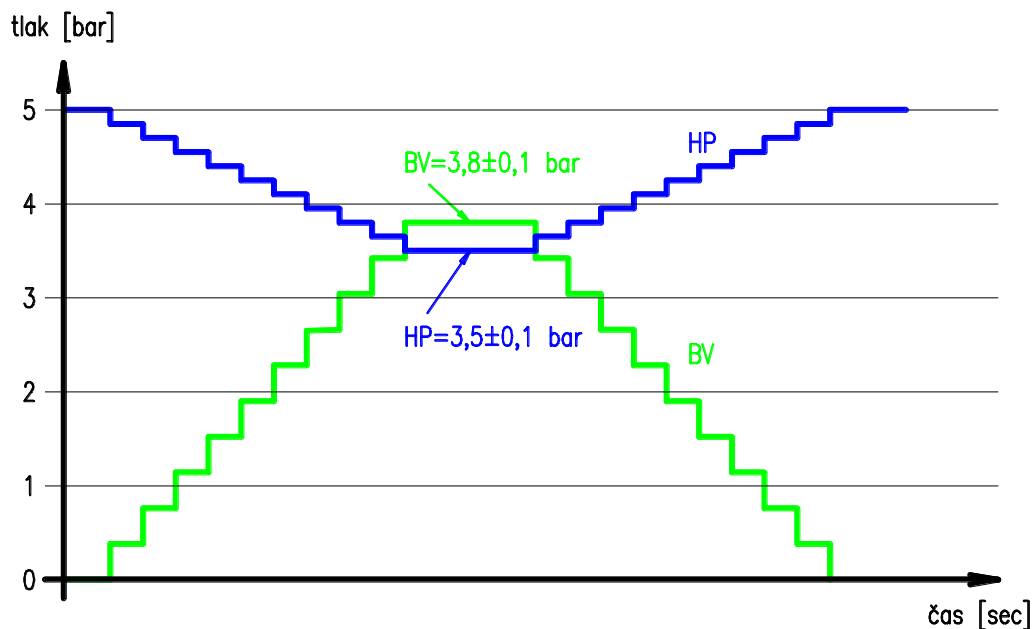
Obr. 3: Rychlé zabrzdění a odbrzdění osobního vozu v režimu brzdy osobní ($BV=3,8\pm 0,1$ bar; $t_1=3\div 5$ s; $t_2=15\div 20$ s) [2]



Obr. 4: Rychlé zabrzdění a odbrzdění nákladního vozu v režimu brzdy nákladní (BV=3,8±0,1 bar; $t_1=18\pm 30$ s; $t_2=45\pm 60$ s) [2]



Obr. 5: Porovnání provozního zabrzdění a odbrzdění nákladního vozu v režimu brzdy osobní ($t_1=3\pm 5$ s) a v režimu brzdy nákladní ($t_1=18\pm 30$ s); úplné provozní zabrzdění = pokles tlaku v HP o $1,5 \pm 0,1$ bar) [2]



Obr. 6: Stupňovité brzdění a odbrzdění [2]

Označení v digramech:

- **HP** – tlak v hlavním potrubí
- **BV** – tlak v brzdovém válci
- **t_1** – plnicí doba brzdového válce (čas, kdy vzduch začne plnit brzdový válec až do okamžiku, kdy tlak dosáhne 95 % své maximální hodnoty v režimu osobní, či nákladní)
- **t_2** – odbrzděvací doba brzdového válce (čas, kdy tlak v brzdovém válci klesne na 0,4 bar)
- **rychlé zabrzdění a odbrzdění** – intenzivní vypuštění, nebo zvýšení tlaku v hlavním potrubí
- **úplné provozní zabrzdění a odbrzdění** – pokles tlaku v hlavním potrubí o 1,5 bar, k dosažení maximálního tlaku v brzdovém válci, a naopak
- **stupňovité brzdění a odbrzdění** – stupňovitý pokles, nebo zvýšení tlaku v hlavním potrubí v oblasti úplného provozního zabrzdění, či odbrzdění, je prováděno manipulací brzděče za účelem nastavení potřebné výše tlaku v brzdovém válci

2.2.1. Zařízení pro zrychlení brzdícího účinku

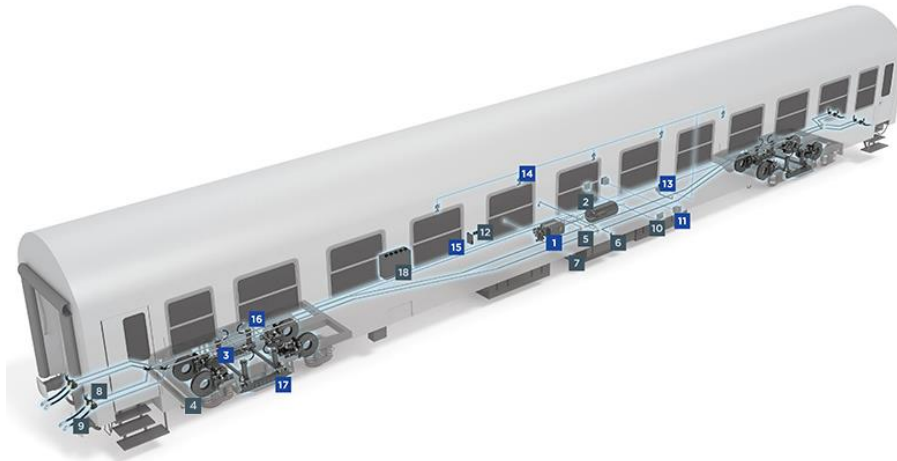
Prodleva účinkování brzdy, způsobena šířením poklesu tlaku vzduchu v hlavním potrubí od brzděče samočinné brzdy, která je limitována průraznou rychlostí tlakové brzdy, jenž se běžně pohybuje mezi $250 \div 280$ m/s. Důsledkem čehož je neúměrně prodloužena zábrzdňá dráha dlouhých vlakových souprav, jedoucích vyšší rychlostí. Zkrácení reakční doby brzdy je možné dosáhnout odvětráváním hlavního potrubí na více místech než jen pouze brzděčem samočinné brzdy. Jednou z možností odvětrávání je použití potrubního zrychlovače, který reaguje na prudký pokles tlaku v hlavním potrubí dalším odvětráváním, nebo použití elektropneumatické brzdy, kde je snížení tlaku vzduchu dosaženo pomocí elektrického signálu z brzděče na brzdový ventil na vozech, jenž vypustí potřebné množství vzduchu z hlavního potrubí. [8]

Potrubní zrychlovač je podrobněji popsán v kapitole 3.2.7. a elektropneumatická brzda v kapitole 3.2.5.

3. Popis funkce brzdové výstroje

V této kapitole jsou nejprve popisovány pneumatické části jednotlivých brzdových výstrojí a jejich vzájemné rozdíly pro brzdové výstroje do rychlosti 120, 140 a 160 km/h, jenž jsou popsány v kapitolách 3.1. až 3.3. V pneumatických blokových schématech brzdových systémů jsou nové komponenty zvýrazněny červeně a upravené stávající zeleně.

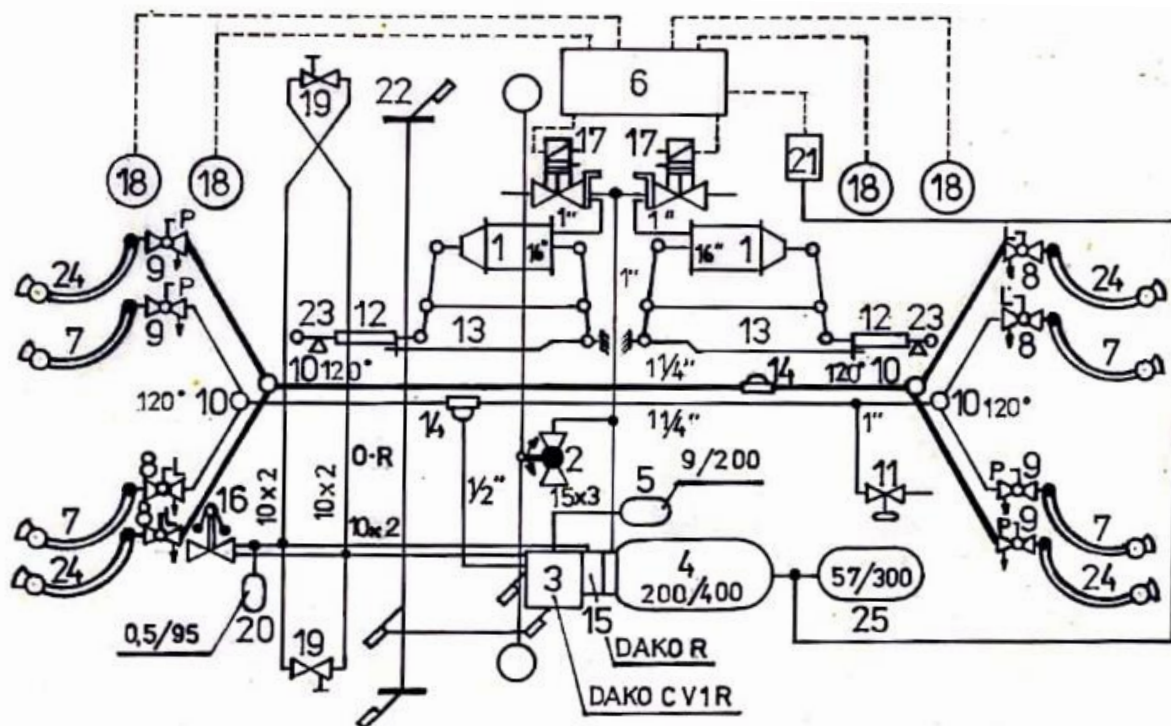
Následující kapitola 4., je poté zaměřena na popis mechanické části jednotlivých brzdových výstrojí a jejich vzájemných rozdílů.



Obr. 7: Brzdový systém pro osobní vůz [12]

3.1. Popis funkce brzdové výstroje v = 120 km/h

3.1.1. Schéma a kusovník brzdové výstroje



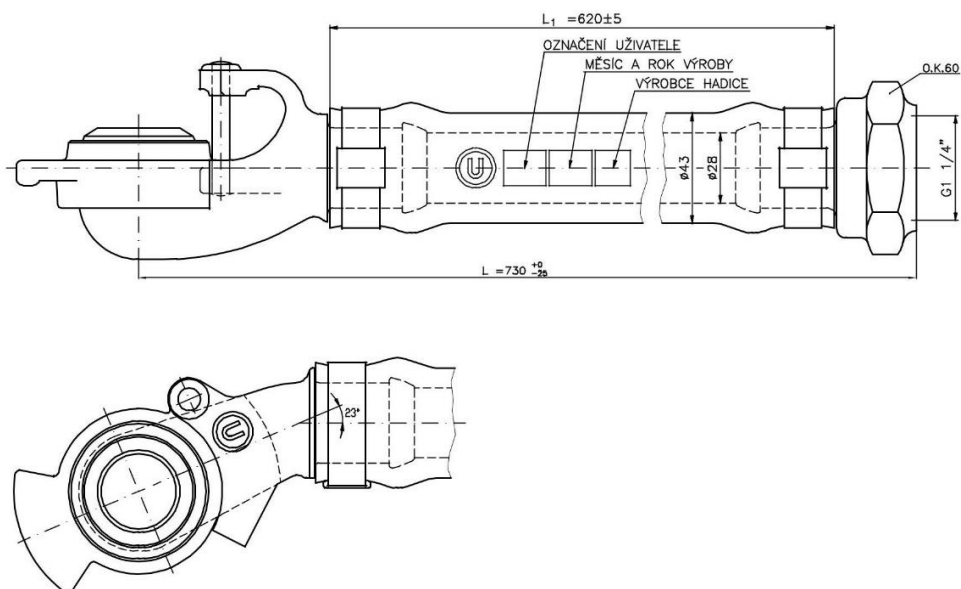
Obr. 8: Blokové schéma pneumatické výstroje pro rychlost do v = 120 km/h [12]

Pozice	Číslo výkresu	Počet	Název	Typové značení	Hmotnost [kg]
1	90022-335	2	VÁLEC 16"		
2	90035-103	1	ODBRZĐOVAČ		
3	90040-167	1	ROZVÁDĚČ CV1R 22"		
4	91655-143	1	POMOCNÝ VZDUCHOJEM		
5	91655-108	1	ŘÍDÍCÍ VZDUCHOJEM		
6	90550-109	1	ELEKTRONICKÝ BLOK		
7	90150-266	4	BRZDOVÁ SPOJKA		
8	90145-131	4	SPOJKOVÝ KOHOUT AKH L		
9	90145-130	4	SPOJKOVÝ KOHOUT AKH P		
10	06368-104	4	ODBOČNICE 120°		
11	96430-036	1	ZÁCHRANNÁ ZÁKLOPKA		
12	90185-157	2	STAVĚČ ZDRŽÍ SZ 12 - 400		
13	06001-156	2	REGULAČNÍ TYČ		
14	90090-107	2	PRACHOJEM		
15	90040-122	1	PŘÍDAVNÝ VENTIL		
16	90060-101	1	ODSTŘEDIVÝ REGULÁTOR		
17	90030-110	2	VYPOUŠTĚCÍ VENTIL		
18	90550-101	4	GENERÁTOR		
19	96430-117	2	STISKACÍ ZÁKLOPKA		
20	91655-128	1	VZDUCHOJEM		
21	90500-110	1	TLAKOVÝ SPÍNAČ		
22	90130-114	1	PŘESTAVOVAČ		
23	90186-104	2	VODÍTKO		
24	90150-214	4	BRZDOVÁ SPOJKA		
25	91655-107	1	POMOCNÝ VZDUCHOJEM		
Název BRZDOVÁ VÝSTROJ RYCHLÍKOVÉHO VOZU DAKO 2 X 16"				Číslo výkresu 97000-233	Os. Vůz

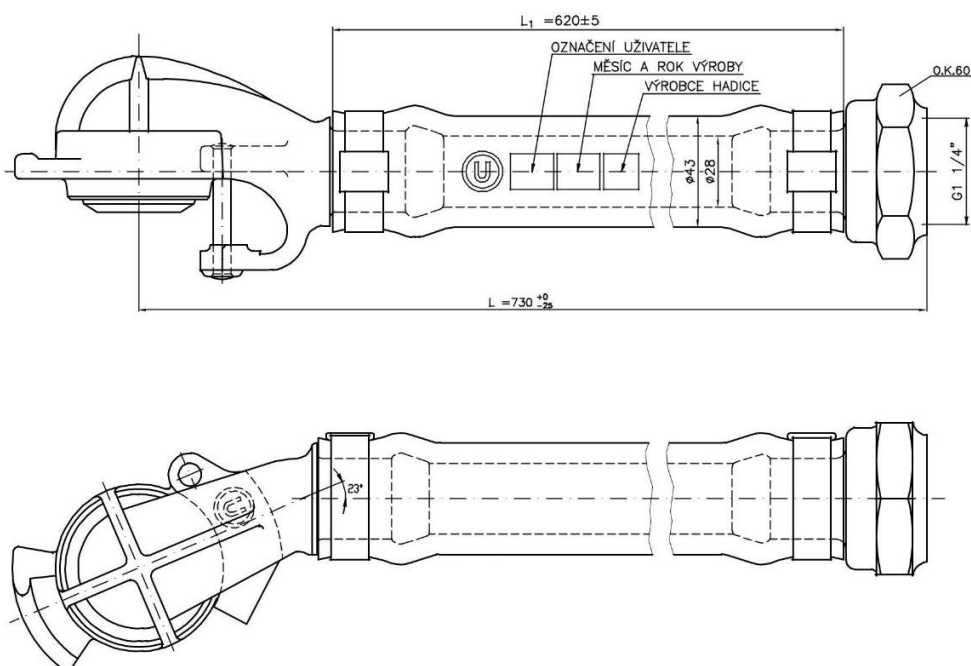
Tab. 1: Kusovník pneumatiké výstroje pro rychlost do $v = 120$ km/h [12]

3.1.2. Hlavní brzdové potrubí

Hlavní brzdové potrubí slouží k rozvodu stlačeného vzduchu od tažného vozidla na všechny vozy. Hlavní potrubí musí obsahovat každý vůz, které má předepsanou světlost podle UIC na $\varnothing 1\frac{1}{4}$ ". Hlavní potrubí se používá pouze pro ovládání brzd, a žádné jiné zařízení nesmí být k potrubí napojeno, kdy provozní tlak vzduchu v potrubí je 5 barů. Pro napájení dalších zařízení, nejen brzd, jsou osobní vozy vybaveny druhým potrubím. Tímto zásobovacím potrubím jsou například ovládány pneumatiké dveře. Pracovní tlak v zásobovacím potrubí je 6-10 barů, kdy doporučená hodnota je 8 barů. Jak hlavní, tak napájecí potrubí musí být konstruováno jako spádové, pokud je to možné, jinak dále v rovině, ale bez průhybu potrubí. Důvodem je zabránění usazování vody a nečistot v potrubí, kdy musí být zajištěno, aby vše mohlo z potrubí vytéct. Veškeré osobní vozy musí obsahovat rozvětvení hlavního i napájecího potrubí. Potrubí je na čelnících vozu zakončeno spojkovými kohouty s brzdovou spojkou. Potrubí je dále uprostřed vozu rozděleno prachojemem, od něhož je odbočka k hlavnímu brzdovému rozváděči. [1]



Obr. 10: Normální provedení brzdové spojky [12]



Obr. 11: Zrcadlové provedení brzdové spojky [12]

3.1.5. Prachojem

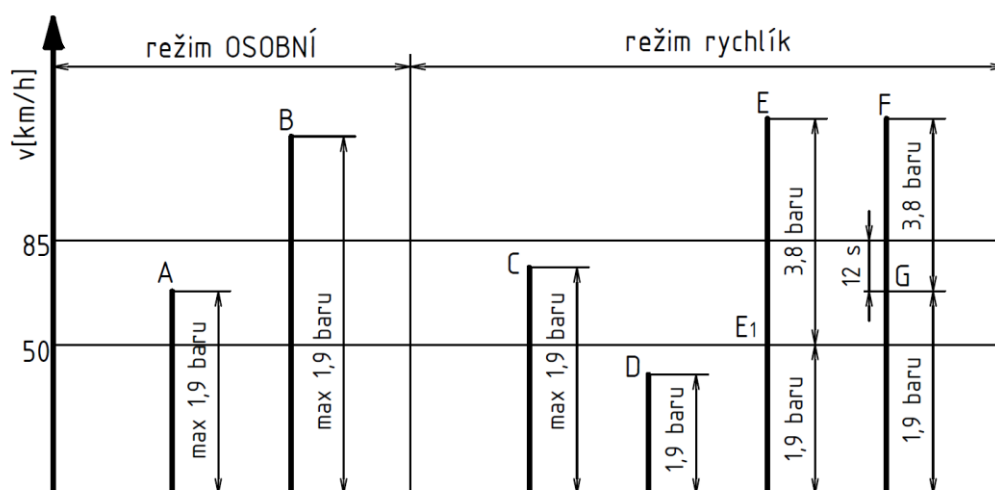
Hlavní i napájecí potrubí je rozděleno prachojemem, jenž přivádí vzduch k brzdnému rozváděči na daném vozu. Horní část prachojemu je navržena tak, že vzduch při průchodu má vířivý pohyb, čímž docílíme zachycení těžší částic na obvodu, odkud následně spadají do spodní části, která je uzavřena zátkou opatřenou vypouštěcím otvorem. Uvolněním zátky je možno vypustit kondenzovanou vodu a nečistoty. [1]

3.1.6. Rychlíková brzda DAKO R

Rychlíková brzda DAKO R je dvoustupňová brzda, která pracuje ve dvou brzdících stupních, ve vysokém, nebo nízkém stupni. Dále je brzda vybavena přestavovačem „osobní-rychlík“ P-R. Jestliže brzda pracuje při vysokém brzdícím stupni, jsou brzdové válce plněny vzduchem o pracovním tlaku $3,8 \pm 0,1$ bar a při nízkém stupni jsou brzdové válce plněny tlakem 1,9 bar. Samočinné nastavení požadovaného stupně je zajištěno pomocí odstředivého regulátoru DAKO K. [1] [3] [7]

Důvodem konstrukce rychlíkové brzdy jako dvoustupňové, je použití brzdy pro brzdové výstroje osobních vozů se špalíkovou brzdou, kde je brzdící účinek vybuzen brzdovými špalíky přitlačenými na kolo. Brzdící účinek brzdy je přímo závislý na přitlačné síle a na součiniteli smykového tření mezi špalíky a kolem. Pokud je vozidlo brzděno z vyšší rychlosti, při stejné přitlačné síle, je dosaženo menšího brzdného účinku než při nižší rychlosti vozidla. Důvodem nižší účinnosti brzd, je nižší hodnota součinitele smykového tření, kdy při zvyšující se rychlosti vozu, klesá součinitel smykového tření. Z tohoto důvodu, abychom zajistili dosažení stejného brzdného účinku, i při vyšší rychlosti, je nutné zvýšit přitlačnou sílu na kolo. [1] [3] [7]

Pokud je vůz brzděn při nastaveném jízdním režimu „osobní“ (P), jsou brzdové válce plněny tlakem vzduchu na 1,9 bar, bez ohledu na rychlost vozu, z které je brzděn. Zatímco při jízdním režimu „rychlík“ (R), který je nastavován přestavovačem P-R, záleží na počáteční rychlosti brzdění. Při rychlosti vozu nižší než 85 km/h, jsou brzdové válce plněny stejně, jako v režimu „osobní“, tlakem vzduchu 1,9 bar. Pokud je ale rychlost vozu vyšší než 85 km/h, jsou brzdové válce plněny tlakem 3,8 bar až do rychlosti 50 km/h, kdy se samočinně přenastaví vysoký brzdový stupeň na nízký stupeň, a tlak v brzdových válcích klesne na 1,9 bar. Jestliže je vůz brzděn z rychlosti vyšší než 85 km/h, ale rychlost vozidla neklesne pod 50 km/h během 12 s, dojde k přestavení z vysokého stupně na nízký. [1] [3] [7]



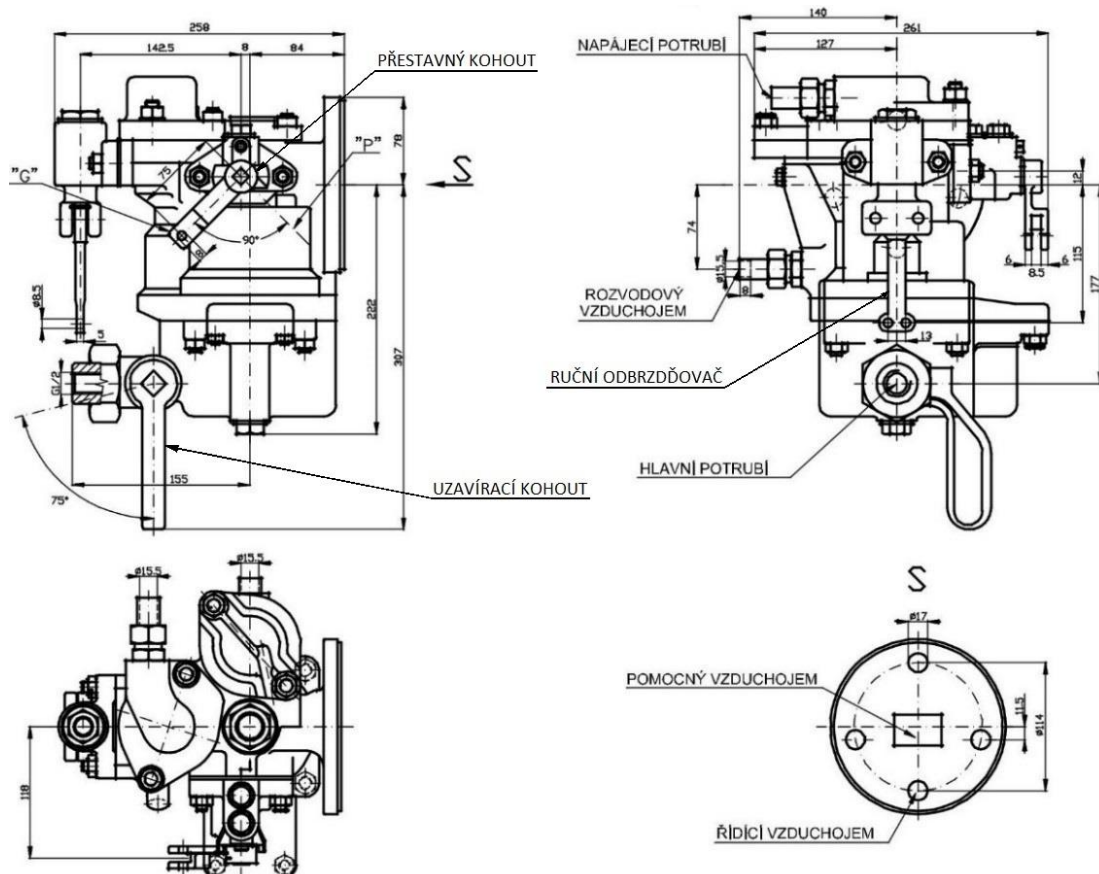
Obr. 12: Průběh brzdění rychlíkové brzdy v režimu „osobní“ a „rychlík“ [1]

Střední část brzdy je tvořena rozváděčem DAKO CV1nD-R, přídatným ventilem DAKO R, pomocným vzduchojemem a řídicím vzduchojemem. Na nápravě jednoho dvojkolí vozu je připevněn odstředivý regulátor DAKO K, který je spojen jedním potrubím s rozváděčem a druhým potrubím s přídatným ventilem. [1]

3.1.6.1. Rozváděč DAKO CV1nD-R

Rozváděč DAKO CV1nD je řídicím orgánem brzd vozu, a je nejdůležitější částí brzdového systému. Tlak vzduchu v hlavním brzdovém potrubí je řízen ze stanoviště strojvedoucího, kdy změna pracovního tlaku má vliv na funkci rozváděče. Pokud je pracovní tlak v hlavním potrubí 5 barů, rozváděč plní pomocný vzduchojem a zároveň odvětrává brzdový válec, vůz je odbrzděn. Při snížení tlaku v hlavním potrubí, rozváděč propojí pomocný vzduchojem s brzdovým válcem, čímž dojde k plnění válce vzduchem, a vzniku brzdného účinku. Pro opětovné odbrzdění je potřeba opět zvýšit tlak v hlavním potrubí na 5 barů, rozváděč se vrátí do původního stavu, a vzduch z brzdového válce je odvětráván, současně je také doplněn pomocný vzduchojem. [1] [2] [4]

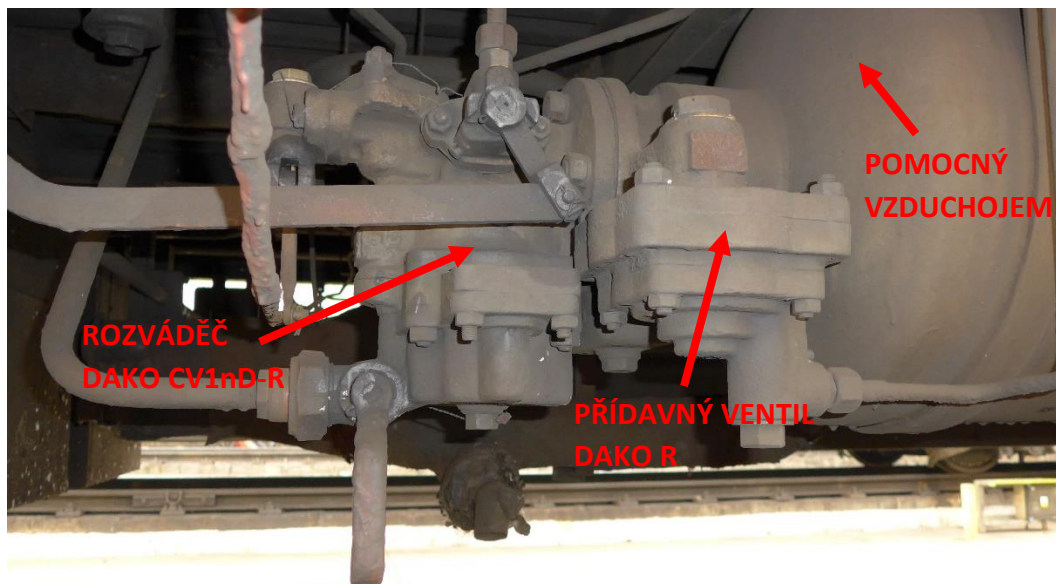
Dalším důležitým požadavkem je dodržení stanovené doby plnění a vyprazdňování brzdného válce, které je nutné pro dosažení rychlé reakce brzd. Velmi vysoká citlivost rozváděče na změnu tlaku v potrubí, zajišťuje plnění brzdných válců odpovídajícím množstvím stlačeného vzduchu v souladu s rozváděči na ostatních vozech, tím je docíleno rovnoměrného brzdění vlaku, zabrání se tím vzniku rázů mezi vozy podél vlaku, a možnému přetržení vlaku. Dalšími požadavky jsou například doplňování ztrát tlaku vzduchu v brzdovém válci z důvodu netěsnosti, stupňovité brzdění a odbrzdění, nevyčerpatelnost brzd a spolehlivá spolupráce s různými typy rozváděčů ostatních výrobců. Požadavky na samočinnou brzdu a rozváděč jsou předepsány vyhláškou UIC 540 a 547. [1] [2] [4]



Obr. 13: Rozváděč DAKO CV1nD [12]

3.1.6.1.1. Odlišnost rozváděče DAKO CV1nD a CV1nD-R

Rozváděč DAKO CV1nD-R se od rozváděče CV1nD liší pouze tím, že přestavný kohout rozváděče je přizpůsoben pro přestavování do polohy „osobní-rychlík“, zatímco u rozváděče CV1nD je pro přestavování do polohy „nákladní-osobní. Další odlišností je, že z nátrubku v horní části rozváděče je současně odebírán tlakový vzduch pro nastavení vysokého stupně brzdění do odstředivého regulátoru DAKO K. Na rozdíl od rozváděče DAKO CV1nD, není rozváděč CV1nD-R s brzdovým válcem spojen přímo, ale při brzdění plní řídicí komoru, která má stálý objem. Tlakové změny při brzdění i odbrzdění jsou v řídicí komoře stejné, jako ve skutečném brzdovém válci. Tato řídicí komora je součástí přídavného ventilu DAKO R. [1]



Obr. 14: Rozváděč DAKO CV1nD-R s přídavným ventilem DAKO R

3.1.6.2. Přídavný ventil DAKO R

Přídavný ventil DAKO R zajišťuje plnění brzdového válce vysokým tlakem při brzdění z vysoké jízdní rychlosti, a plnění nízkým tlakem z malé jízdní rychlosti. Tlakové impulsy, které řídí činnost přídavného ventilu, jsou přiváděny z rozváděče do řídicí komory na písty ventilu, a z odstředivého regulátoru do přestavného ústrojí ventilu. [1]

3.1.6.3. Odstředivý regulátor DAKO K

Odstředivý regulátor samočinně řídí stupeň brzdění v závislosti na rychlosti vozu. Regulátor je montován na skříň ložiska nápravy místo víka skříně a náhon regulátoru je realizován pomocí unášecí příčky od nápravy. Odstředivý regulátor je spojen jedním potrubím s přestavným ústrojím přídavného ventilu DAKO R a druhým potrubím s rozváděčem DAKO CV1nD-R. Pokud je jízdní rychlost vozu nad 85 km/h, tak odstředivý regulátor přepouští tlakový vzduch od rozváděče přívodním potrubím do přestavného ústrojí ventilu DAKO R, čímž je nastaven vysoký stupeň tlaku v brzdovém válci. Nastane-li pokles rychlosti vozu pod 85 km/h, trvající déle než 12 s, je ovládací potrubí odvětráváno účinkem regulátoru, čímž se samočinně nastaví nízký stupeň v brzdovém válci. Hlavní část odstředivého regulátoru obsahuje 4 závaží, která jsou přitlačována regulační pružinou na unášec, kdy při otáčení závaží s unášecem se odstředivou silou rozevírají, a přestavují ventily v pneumatické části regulátoru. [1] [7]

3.1.6.4. Tlačítkový ventil brzdy DAKO R

Tlačítkový ventil, respektive stiskací záklopka, slouží k ověření vysokého stupně brzdění u stojícího vozu. Ventil je připojen k potrubí mezi rozváděčem, přídatným ventilem a odstředivým regulátorem. Tlačítkový ventil brzdy je umístěn po obou stranách vozu, který se nachází přibližně uprostřed vozové skříně. [1]

3.1.6.5. Samočinný odbrzdovač DAKO OS1

Samočinný odbrzdovač OS1, který po krátkodobém zatažení táhla odbrzdovače, zajišťuje úplné vyprázdnění brzdového válce při vyprázdnění hlavním potrubí, kdy zároveň nedojde k vyprázdnění rozvodového a pomocného vzduchojemu. Pokud je v hlavním potrubí tlak větší než 1 bar, odbrzdovač nepřechází do polohy samočinného odvětrávání. Pro úplné vyprázdnění všech brzdových prostor, je potřeba stálého zatažení táhla, aby nedošlo k uzavření záklopky odbrzdovače (vyprázdnění provedeno stejně jako u ručních odbrzdovačů). [1]

3.1.7. Vzduchojemy

3.1.7.1. Pomocný vzduchojem:

Každá brzdová výstroj je vybavena pomocným vzduchojemem, jehož provozní tlak je 5 barů. Slouží k vyvození brzdové síly v brzděném válci. Velikost vzduchojemu je závislá na průměru, zdvihu a počtu brzdových válců. [1]

3.1.7.2. Rozvodový vzduchojem:

Pro správnou funkci rozváděče, je zapotřebí rozvodový vzduchojem o objemu 9 l. Slouží jako etalon tlaku rozvodového ústrojí rozváděče. [1]

3.1.7.3. Řídící vzduchojem:

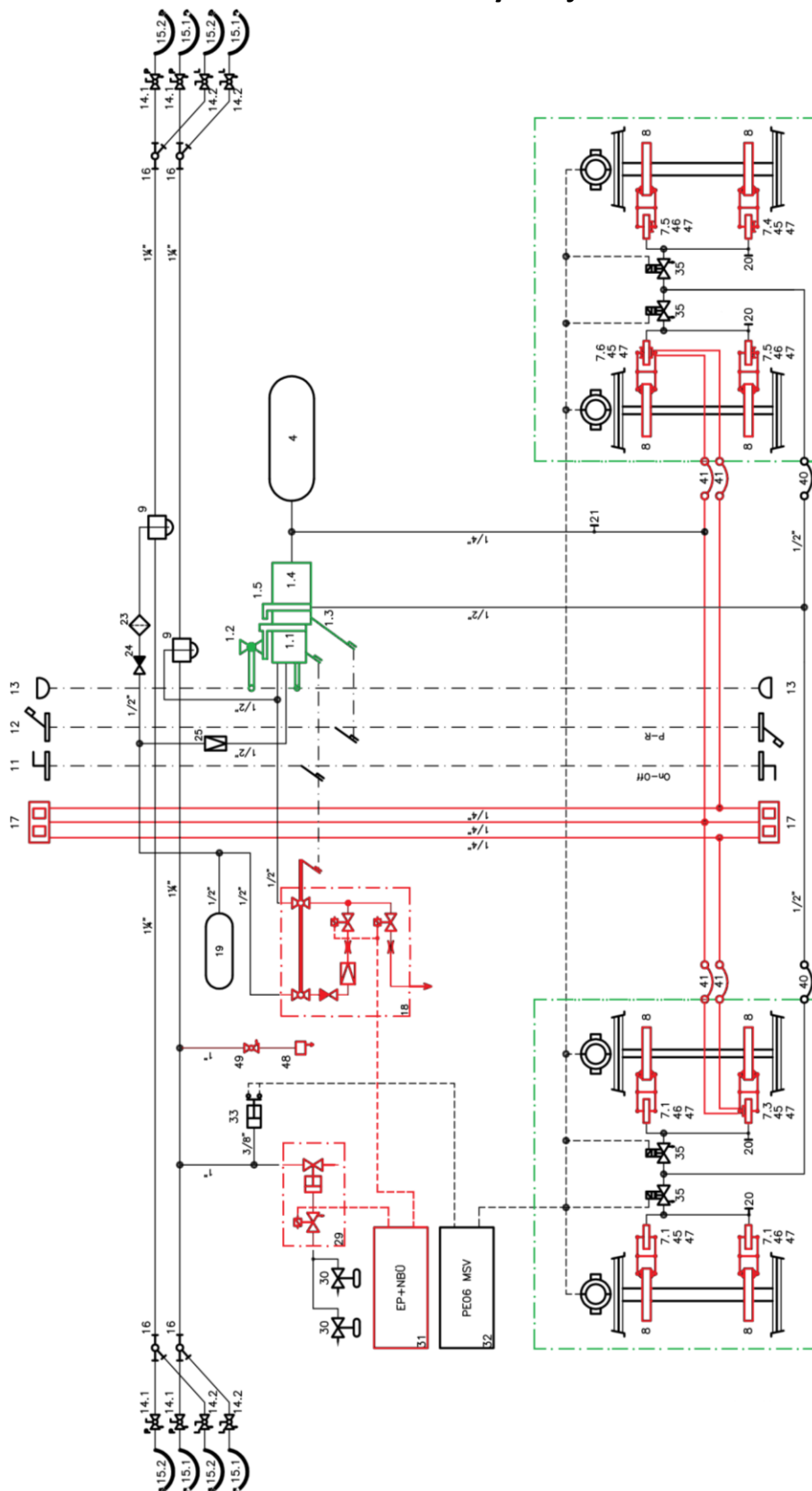
Řídící vzduchojem je nutnou součástí brzdového systému. Vzduchojem o objemu 2,5 l je připojen k rozváděči a slouží jako náhrada brzdového válce pro rozváděč (fiktivní brzdový válec). [1]

3.1.8. Záchranná brzda

Použitím záchranné brzdy docílíme intenzivního poklesu tlaku v hlavním brzdovém potrubí do ovzduší, a v důsledku poklesu tlaku, začnou účinkovat samočinné brzdy po celém vlaku. Záchranná brzda této brzdové výstroje pro rychlost do $v = 120$ km/h není vybavena přemostěním neboli neutralizací účinku záchranné brzdy (viz kapitola 2.1.1.3.3.) [1] [12]

3.2. Popis funkce brzdové výstroje v = 140 km/h

3.2.1. Schéma a kusovník brzdové výstroje



Obr. 15: Blokové schéma pneumatické výstroje pro rychlost do v = 140 km/h [12]

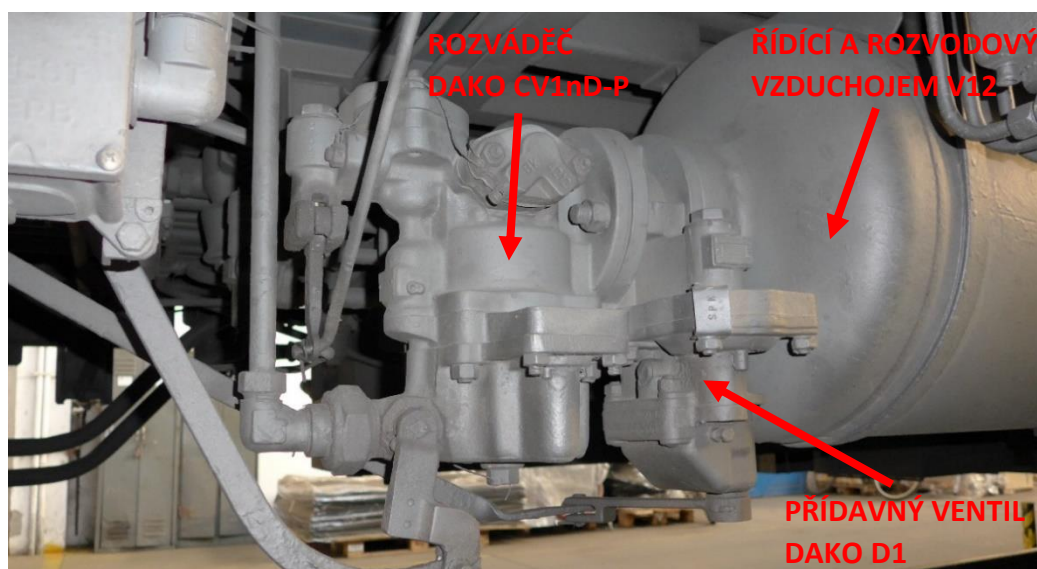
3.2.2. Podobnost s brzdovou výstrojí v = 120 km/h

Konstrukce brzdové výstroje v = 140 km/h obsahuje část komponentů, které jsou podobné a pracují na stejném principu, jako v předešlé brzdové výstroji v = 120 km/h. Mezi tyto společné prvky je možné zařadit hlavní a napájecí potrubí, spojkové kohouty, brzdové spojky, prachojemy a vzduchojemy. Dále v popisu brzdové výstroje budou popisovány pouze nové komponenty nebo odlišnosti již stávajících.

3.2.3. Kompaktní brzda DAKO

Uspořádání kompaktní brzdy, jež je určeno pro osobní vůz s kotoučovou brzdou a přestavovačem „osobní-rychlík“ P-R, kdy je na společném nosiči brzdy namontován rozváděč DAKO CV1nD-P ve spojení s přídavným ventilem DAKO D1, samočinným odbrzdovačem DAKO OS1 a společným řídicím a rozvodovým vzduchojem V12. [4]

V tomto provedení kompaktní brzdy je dvoupolohový přestavovač P-R součástí přídavného ventilu DAKO D1 a rozváděč DAKO CV1nD-P není vybaven přestavovačem „nákladní-osobní“ G-P. [4]



Obr. 16: Rozváděč DAKO CV1nD-P s přídavným ventilem DAKO D1

3.2.3.1. Rozváděč DAKO CV1nD-P

Popis funkce rozváděče DAKO CV1nD je již popsán v předešlé kapitole 3.1.6.1, u popisu funkce brzdové výstroje vozu v = 120 km/h.

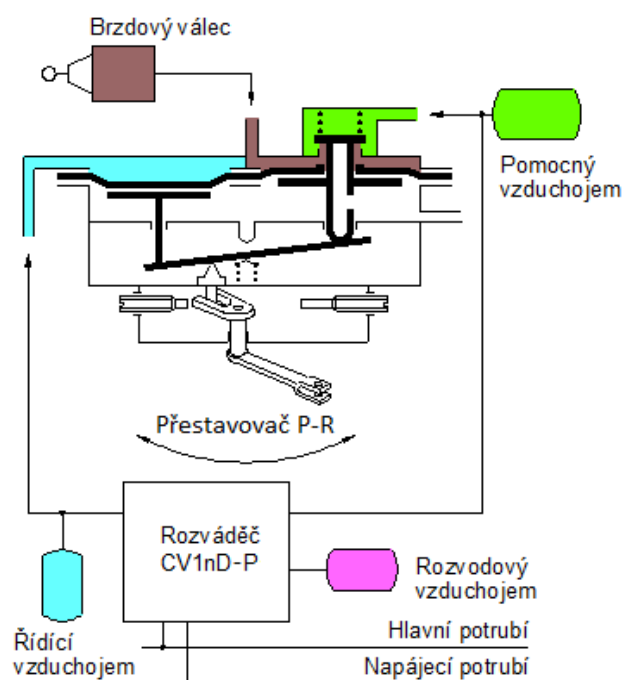
Rozváděč DAKO CV1nD-P se od rozváděče CV1nD liší pouze tím, že není vybaven přestavným kohoutem „nákladní-osobní“ G-P. Toto provedení rozváděče CV1nD-P je nastaveno pouze pro režim osobní. [4]

3.2.3.2. Přídavný brzdový ventil DAKO D1

Z důvodu možnosti měnit brzdový výkon, pro režim vozu osobní nebo režim rychlík, je zapotřebí měnit tlak v brzdových válcích. To je realizováno pomocí přídavného ventilu DAKO D1, umístěného mezi přírubou rozváděče a vzduchojem, což umožňuje měnit tlak vzduchu dle potřeby, bez nutnosti upravovat převod pákové kotoučových brzd.

Přídavný ventil DAKO D1 je proveden jako tlakové relé, jenž je řízené pomocí dvouramenné páky na pohyblivé podpěře. Pohybem podpěry se docílí požadované změny velikosti převodu tlaku vzduchu v rozváděči a tlaku vzduchu v brzdovém válci. [1] [2]

Přídavný ventil DAKO D1 je vybaven ručním přestavovačem „osobní-rychlík“ P-R z obou stran vozu pro požadovanou změnu nastavení. [1] [2]



Obr. 17: Schéma přídavného ventilu DAKO D1 [2]

3.2.3.3. Řídicí a rozvodový vzduchojem

Popis řídicího vzduchojemu je již popsán v kapitole 3.1.7.3. a popis rozvodového vzduchojemu v kapitole 3.1.7.2., u popisu funkce brzdové výstroje vozu $v = 120$ km/h.

Společným řídicím a rozvodovým vzduchojem, pro kompaktní brzdu DAKO na brzdové výstroji vozu $v = 140$ km/h, je vzduchojem V12. [12]

3.2.3.4. Samočinný odbrzdovač DAKO OS1

Popis samočinného odbrzdovače je již popsán v kapitole 3.1.6.5., u popisu funkce brzdové výstroje vozu $v = 120$ km/h.

3.2.4. Záchranná brzda DAKO PZ4

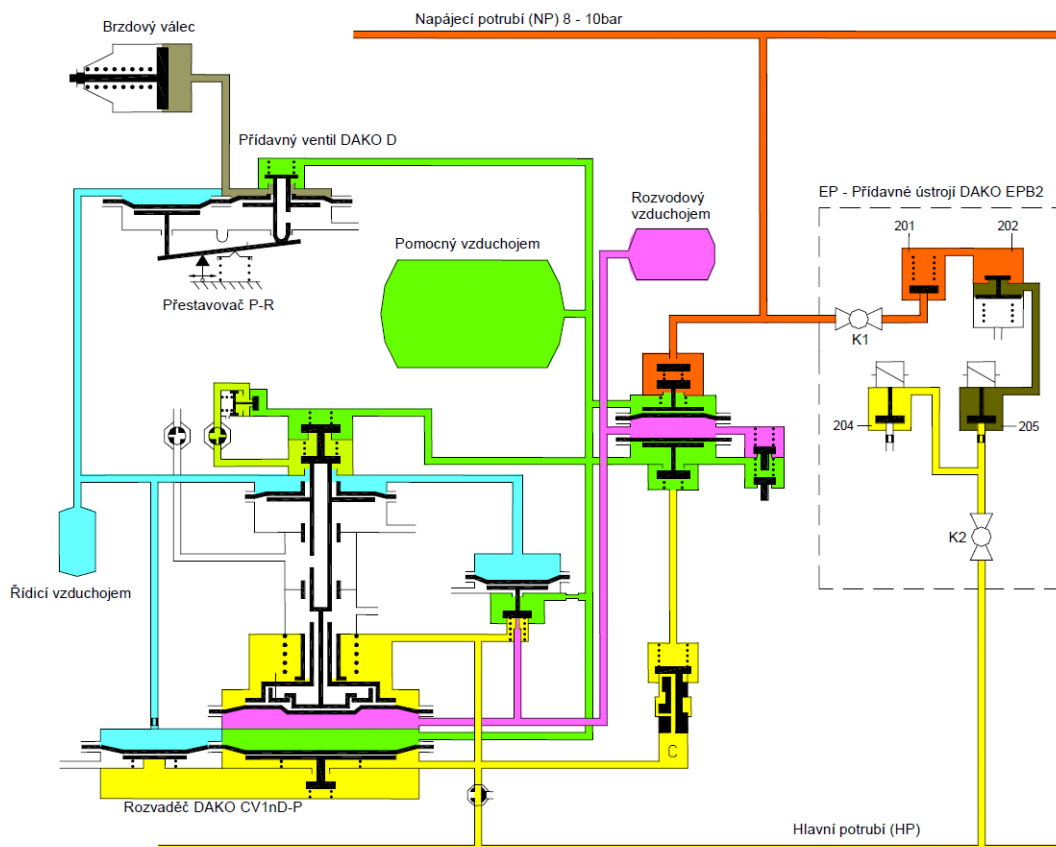
Popis funkce záchranné brzdy je již popsán v kapitole 3.1.8., u popisu funkce brzdové výstroje vozu $v = 120$ km/h. Rozdílem oproti předešlé je, že záchranná brzda DAKO PZ4 je vybavena přemostěním neboli neutralizací účinku záchranné brzdy (viz kapitola 2.1.1.3.3.) [7]

3.2.5. Elektropneumatická brzda DAKO EPB2

Elektropneumatická brzda, stejně jako samočinná tlaková brzda, používá pro vyvození brzdného účinku stlačený vzduch. Zásadním rozdílem elektropneumatické brzdy, oproti pneumatické, je způsob jejího ovládání, kdy elektropneumatická brzda je řízena pomocí elektrického signálu. Elektricky ovládaná část brzdy je zpravidla nadstavbou brzdy pneumatické, kde původní funkce pneumatické brzdy musí zůstat zachována. Zásadní výhodou elektropneumatické brzdy je možnost zajištění téměř současného působení brzd po celém vlaku, čímž je docíleno zlepšení dynamických poměrů při brzdění vlaku. [1]

U vlaků, jenž jsou vybaveny pouze pneumatickou brzdou, dochází ke značným podélným rázům, jejichž původem je nestejný nárůst brzdných sil u jednotlivých vozů, které jsou nestejně vzdáleny od hnacího vozidla. Zatímco u vlaků, vybavených elektropneumatickou brzdou, dochází ke vzniku podstatně menších podélných rázů, neboť všechny vozy brzdí současně. Z tohoto důvodu je při elektropneumatickém brzdění možné volit velmi krátké doby plnění a vyprazdňování brzdových válců, což umožňuje zkrácení zábrzdné dráhy vlaku, a důsledkem toho je možné zvyšovat jízdní rychlosti vlaku. [1]

Zkrácené brzdící a odbrzdňovací doby, zábrzdné dráhy a doby mezi zastavením a odjezdem vlaku jsou přednosti, které přispívají ke zlepšení plynulosti železniční dopravy. Jedinou závažnou nevýhodou elektropneumatické brzdy, nikoliv funkční nevýhodou, je ekonomický parametr. Z důvodu větší složitosti elektropneumatické brzdy, došlo ke zvýšení pořizovací ceny a zvýšení náročnosti provozní a periodické údržby. [1]



Obr. 18: Elektropneumatická brzda DAKO s rozvaděčem DAKO CV1nD-P a přídavným ventilem DAKO D1 [5]

Samočinná elektropneumatická brzda neboli dvou potrubní brzda, řídí pouze změny tlaku vzduchu v hlavním brzdovém potrubí. Ke svému účinkování používá elektropneumatická brzda plně rozváděč pneumatické brzdy, kde na základě změny tlaku v hlavním brzdovém potrubí, prostřednictvím rozváděče, nepřímo ovládá velikost tlaku vzduchu v brzdovém válci. Strojvedoucí pomocí brzdiče samočinné tlakové brzdy mění tlak vzduchu v hlavním brzdovém potrubí, čímž dochází ke změně tlaku vzduchu, které se šíří postupně od brzdiče až na konec vlaku. Zároveň je brzdičem samočinné tlakové brzdy řízeno elektrické ovládací ústrojí, jenž uvede v činnost elektropneumatické rozvodové ústrojí na jednotlivých vozech, které poté samostatně provádí změny tlaku vzduchu v hlavním potrubí na každém voze, čímž je zajištěno současné změny tlaku vzduchu v hlavním potrubí jak na začátku vlaku, tak na jeho konci. Elektrický impuls k elektropneumatickému ventilu je ukončen, pokud elektrické ovládací ústrojí zjistí, že nastala rovnováha mezi skutečným tlakem vzduchu v hlavním brzdovém potrubí a tlakem, který byl nastaven brzdičem samočinné tlakové brzdy. [1]

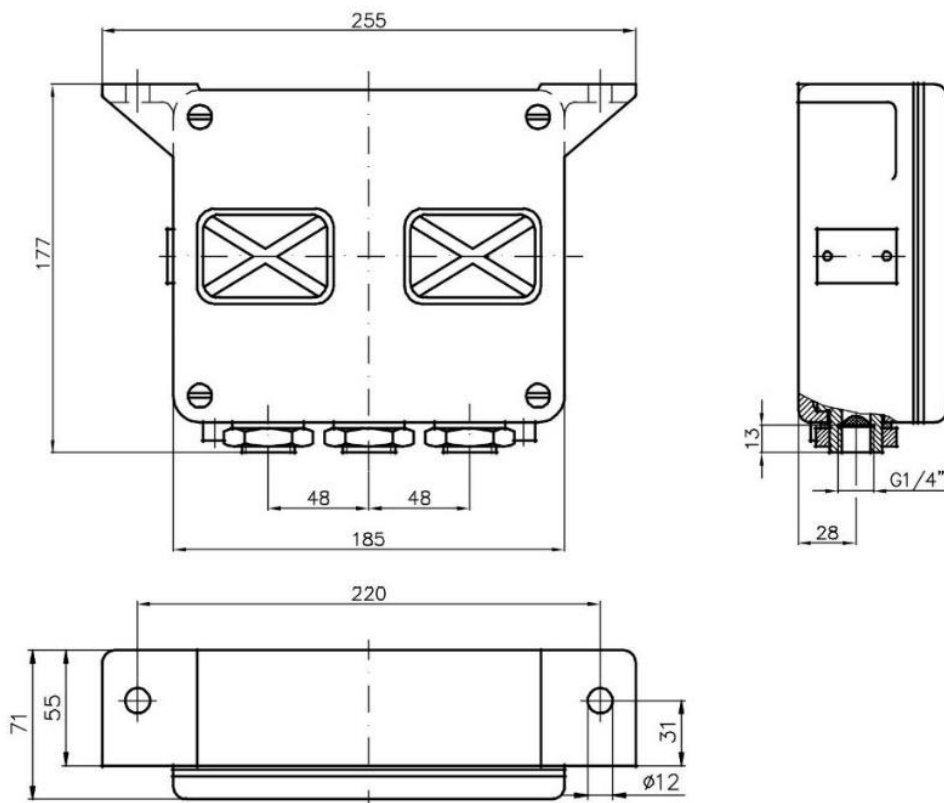
Každé vozidlo, které je vybaveno elektropneumatickou brzdou, má připojené dva elektropneumatické ventily, kde brzdicí ventil odvětrává hlavní potrubí a druhý odbrzdovací ventil vpouští stlačený vzduch do hlavního potrubí z druhého napájecího potrubí. Důsledkem toho je pro činnost samočinné elektropneumatické brzdy potřeba bezpodmínečně, kromě hlavního potrubí, i napájecí potrubí. Proto je samočinná elektropneumatická brzda také nazývána jako dvou potrubní brzda. [1]

3.2.6. Ukazatel brzdění

Ukazatel brzdění je zařízení, které slouží ke kontrole stavu zabrzdění vozu, jenž je umístěno pod podélníky skříně vozu. Pomocí barevných okének je na ukazateli signalizováno, zdali je brzda zabrzděna nebo odbrzděna. Ukazatele brzdění mají obvykle dvě okénka, kde pro každý podvozek vozu je jedno okénko a zároveň mohou také signalizovat stav zabrzdění ruční brzdy. Každý podvozek vozu je vždy vybaven jedním brzdovým válcem se snímačem signalizace, který je umístěn na dně válce a reaguje na pohyb pístu. Na ukazateli brzdění mohou být signalizovány tři stavy brzdy pomocí barevných terčů, kdy červený terč, který bývá doplněn černým kruhem, znázorňuje zabrzděno, zelený terč odbrzděno a bílý terč s černým křížem znázorňuje, že v pomocném vzduchojemu není žádný tlakový vzduch. [7]

Při plnění tlakové brzdy je stlačený vzduch přiváděn pomocí signalizační trubičky z pomocného vzduchojemu na píst ukazatele stavu brzdy, jenž je spojen s bílými stínítky s černými kříži, které se zvednou, a odhalí zelené pole, které signalizuje, že brzda je odbrzděna. Toto odhalené zelené pole je ve skutečnosti pouze polovina jednoho terčů, jenž je natřen napůl zeleně a napůl červeně. Jestliže bude na voze zabrzděna ruční brzda, budou terčůky zvednuty, a v okénku budou odhaleny červené části terčů, která signalizují, že je brzda zabrzděna. [7]

Pokud dojde k zabrzdění tlakové brzdy, píst brzdového válce sepne snímač signalizace, čímž se otevře přívod stlačeného vzduchu na píst ukazatele stavu brzdy, jenž je spojen s terčem, a odhalí jeho červenou část. Zatímco při odbrzdění brzdy, se píst brzdového válce vrátí zpět k jeho dnu, přepne spínač signalizace, a tím odvětrává přívod vzduchu na píst ukazatele stavu brzdy pro terč, jenž se pomocí pružiny sklopí, a odhalí tak zelenou část terčů. [7]

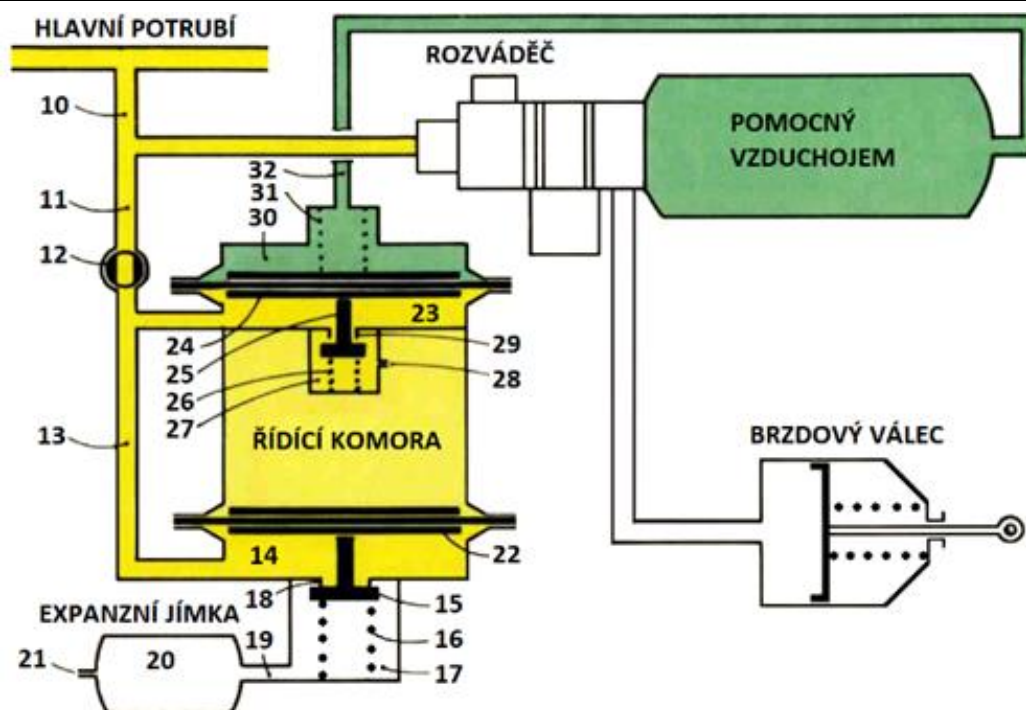


Obr. 19: Ukazatel brzdění [12]

3.2.7. Potrubní zrychlovač DAKO Z2

U soupravy vlaku, kde vozy jsou vybaveny potrubními zrychlovači, je při rychločinném brzdění odvětráváno hlavní brzdové potrubí nejen pomocí brzdiče samočinné brzdy, ale také potrubními zrychlovači na jednotlivých vozidlech. Důsledkem toho je zábrzdňá dráha vlaku zkrácena, oproti vlaku stejné délky, jehož vozy nejsou vybaveny potrubním zrychlovačem, obzvláště u delší vlaků. Z tohoto důvodu dosahují vozy s potrubními zrychlovači vyšší brzdící váhy, za jinak shodných podmínek. Pro zajištění rychlého šíření poklesu tlaku, až na konec vlaku, musí být všechny vozy vybaveny potrubním zrychlovačem, avšak jejich účinkování je zajištěno ještě tehdy, jestliže jsou ve vlaku dva vozy bez potrubního zrychlovače, nebo jsou na nich potrubní zrychlovače vypnuty. Na voze, jenž je vybaven potrubním zrychlovačem, je červeně vyznačena hodnota brzdící váhy při zapnutém potrubním zrychlovači. [3] [7]

Potrubní zrychlovač je montován na nosič, jenž je trubkami spojen s hlavním brzdovým potrubím, s jímkou urychlovače a s pomocným vzduchojemem. Pomocí uzavíracího kohoutu je možné přerušit spojení potrubního zrychlovače s hlavním brzdovým potrubím. [3] [7]



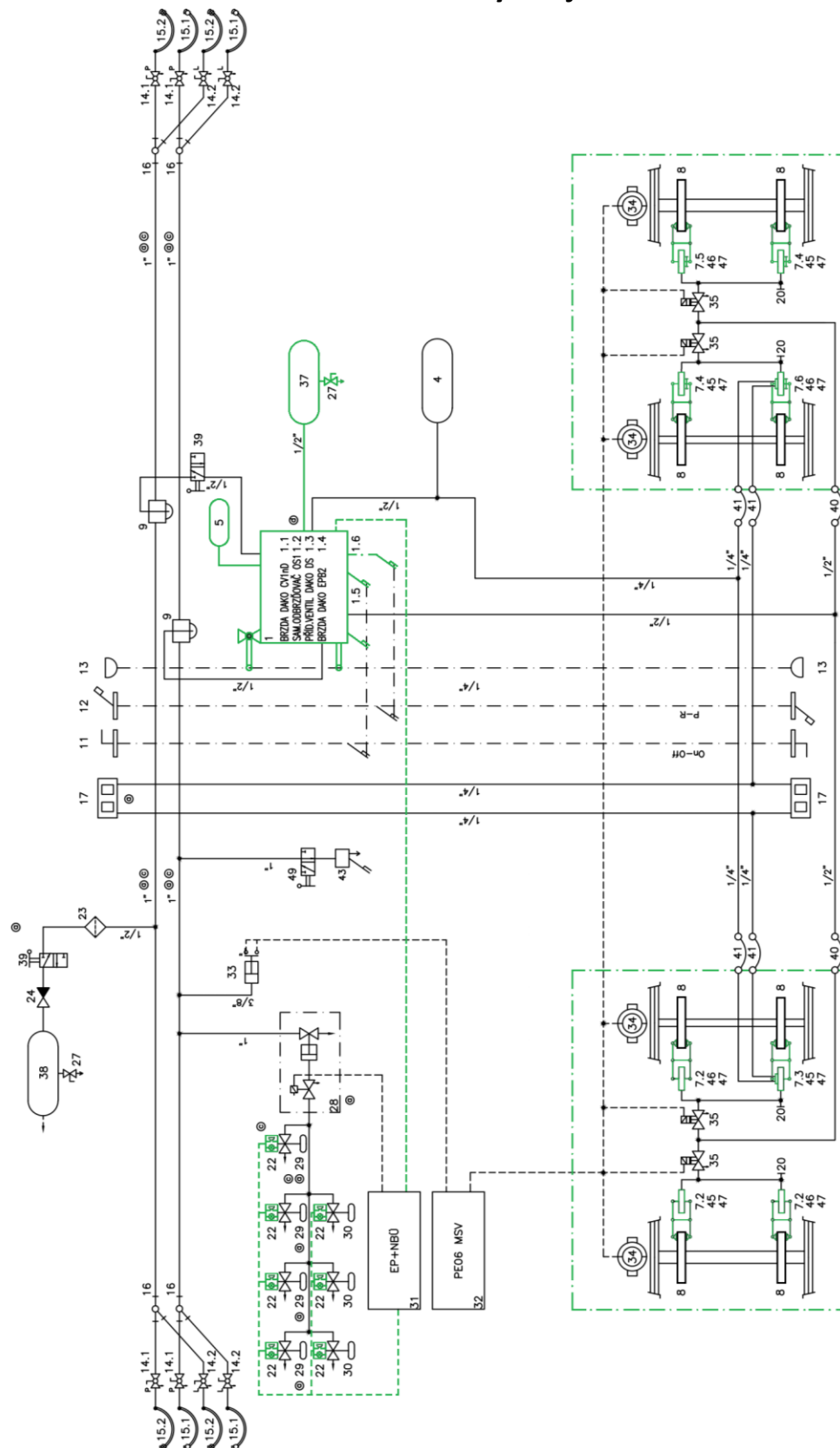
Obr. 20: Schéma potrubního zrychlovače [3]

Při plnění tlakové brzdy na provozní tlak je prostor 30 nad horním pístem 24 plněn stlačeným vzduchem z pomocného vzduchojemu, a prostor 23, jenž se nachází pod horním pístem 24 je spojen s hlavním brzdovým potrubím. Pomocí otevřeného ventilu 35, proudí stlačený vzduch z prostoru 23, přes kalibrovaný otvor 28, do řídicí komory, která se nachází nad dolním pístem 22. Prostor 14 pod dolním pístem 22 je také spojen s hlavním brzdovým potrubím, stejně jako prostor 23. Ventil 15 je při plnění tlakové brzdy uzavřen pomocí pružiny 16, a expanzní jímka 20 je odvětrávána kalibrovaným otvorem 21. [3]

Pokud je snižování tlaku vzduchu v hlavním brzdovém potrubí povolné, nedojde ke spuštění potrubního zrychlovače, protože stlačený vzduch, jenž se nachází v řídicí komoře, stačí unikat kalibrovaným otvorem 28 do hlavního brzdového potrubí, a tlak vzduchu je na obou stranách dolního pístu 22 stejný. Na rozdíl od rychlého zabrzdění, kdy je náhlý pokles tlaku vzduchu v hlavním brzdovém potrubí. Stlačený vzduch z řídicí komory nestačí unikat kalibrovaným otvorem 28, což způsobí, že tlak v řídicí komoře je vyšší než v hlavním brzdovém potrubí. Vzniklé přetlak, jenž působí na horní plochu dolního pístu 22, otevře ventil 15 a stlačený vzduch z hlavního brzdového potrubí vnikne do expanzní jímky 20, čímž se docílí náhlému snížení tlaku vzduchu v hlavním brzdovém potrubí z 5 barů na přibližně 3 bary. [3]

3.3. Popis funkce brzdové výstroje v = 160 km/h

3.3.1. Schéma a kusovník brzdové výstroje



Obr. 21: Blokové schéma pneumatické výstroje pro rychlost do v = 160 km/h [12]

Pozice	Číslo výkresu	Počet	Název	Typové značení	Hmotnost [kg]
1	90700-191/012/4	1	Brzda kompaktní DAKO	DAKO	125
1.1	90042-163/2350	(1)	Rozváděč	DAKO CV1nD 23-R1	27
1.2	90035-118/002	(1)	Samočinný odbrzdřovač	DAKO OS1	6
1.3	90040-901/N	(1)	Přídavný ventil	DAKO DSV	18
1.4	60300-339/1	(1)	Modul EP brzdy	DAKO	5,1
1.5	96405-192/2	(2)	Kohout Z-V	DAKO	1
1.6	96405-191, 96405-197	(2)	Kohout P-R	DAKO	1
1.7	ZM004890	(1)	Vzduchojem	0,6 l	0,5
1.8	60200-995	(1)	Nosič	DAKO	42
4	91655-405	1	Pomocný vzduchojem	120 l	57,7
5	91655-686	1	Rozvodový vzduchojem	9 l	8,7
7.2	90025-146/2012/22	3	Brzdový válec	DAKO BL 10 J 18	20
7.3	90025-147/2112/22	1	Brzdový válec	DAKO BL 10 JS 18	20
7.4	90025-148/2112/22	2	Brzdový válec	DAKO BL 10 R 18	24
7.5	90025-148/2212/22	1	Brzdový válec	DAKO BL 10 R 18	24
7.6	90025-149/2312/22	1	Brzdový válec	DAKO BL 10 RS 18	24
8		8	Brzdový kotouč	KOVIS 590 mm	
9	90090-105	2	Prachojem	DAKO 1"	4
11	90130-164/10/14	1	Přestavovač "Z-V"	DAKO "..."	3,7
12	90130-162/11/14	1	Přestavovač "O-R"	DAKO	
13	02010-127	2	Oko táhla	(AUTOM)	0,1
14.1	90146-003	4	Spojkový kohout pravý	DAKO KK 1"	4
14.2	90146-004	4	Spojkový kohout levý	DAKO KK 1"	4
15.1	90150-133/13	4	Brzdová spojka	UIC 620	2,35
15.2	90150-140/13	4	Brzdová spojka zrcadlová	UIC 620	2,35
16	06368-101	4	Odbočnice 120°	DAKO 1"	3,2
17	90130-132/22F	2	Ukazatel brzdění	DAKO UB-1F	4
20	96780-103/2	2	Diagnostická přípojka	DAKO DP 1/2"	0,8
22	ZO000714	7	Modul signalizace záklopky MSZ01	Regonik MSZ01	
23	90085-100	1	Vzduchový filtr	DAKO 1/2"	2,2
24	96430-140/1	1	Jednosměrný ventil	DAKO JV 10	0,35
27	96400-158	2	Odvodňovací kohout	DAKO G1/2	3,26
28	96437-129/21	1	Ventil záchranné brzdy	DAKO PZ4	4,7
29	96430-155/2	4	Záklopka záchranné brzdy	DAKO PZ4	0,85
30	96430-156/2	3	Záklopka záchranné brzdy	DAKO PZ4	0,85
31		1	Modul EPB EOB01 - UIC + DB	Regonik	0,27
32	ZO000623	1	Elektronický blok protismyku	DAKO PE06 MSV	
33	90500-120/8125	1	Tlakový spínač	DAKO TSM1	0,2
34	90550-133/1213	4	Generátor protismyku DAKO FE1.4	DAKO	13,6
35	90030-359/009	4	Vypouštěcí ventil DAKO N8.1	DAKO N8.1	3,4
37	91655-687	1	Vzduchojem	75 l	35,5
38	91655-102	1	Vzduchojem	200 l	15,8
39	96405-110	2	Uzavírací kohout	DAKO KZ 1/2"	0,85
40	96380-140	2	Hadice	DAKO 1/2"	1,8
41	96385-304	4	Hadice	DAKO BH	0,6
43	90030-190/1	1	Potrubní zrychlovač	DAKO Z2	
45	60300-039/170/1/22	4	Sada pákových	DAKO	46
46	60300-039/170/2/22	4	Sada pákových	DAKO	46
47	90400-104/22	8	Držáky obložení	DAKO DK 350 A	16
49	96405-102	1	Uzavírací kohout	DAKO KZ 1"	1,9
Název BRZDOVÁ VÝSTROJ DAKO				Číslo výkresu 97001-314	Os. Vůz

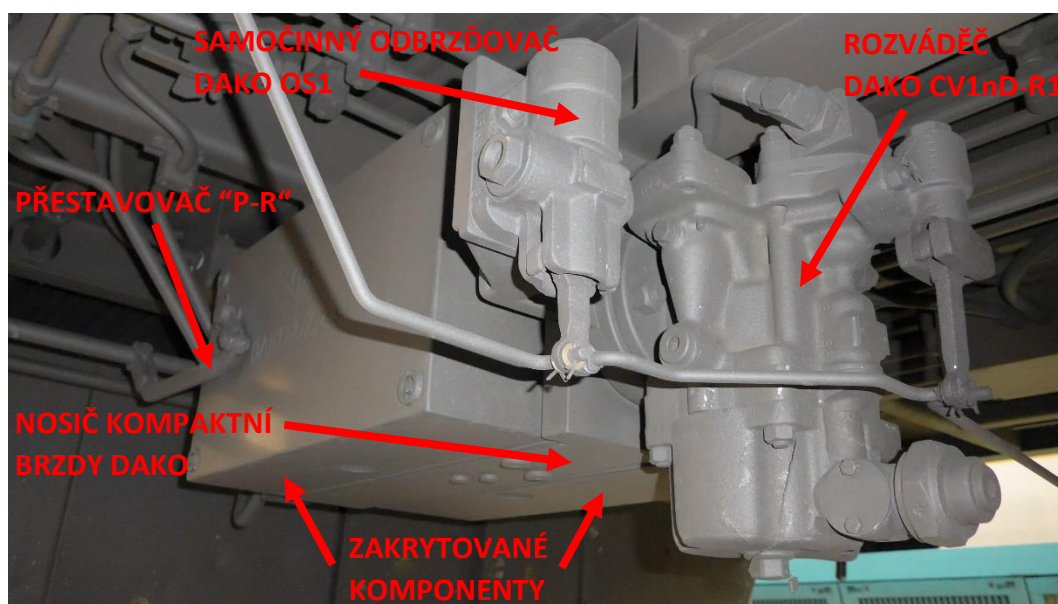
Tab. 3: Kusovník pneumatické výstroje pro rychlost do $v = 160$ km/h [12]

3.3.2. Podobnost s brzdou výstrojí v = 140 km/h

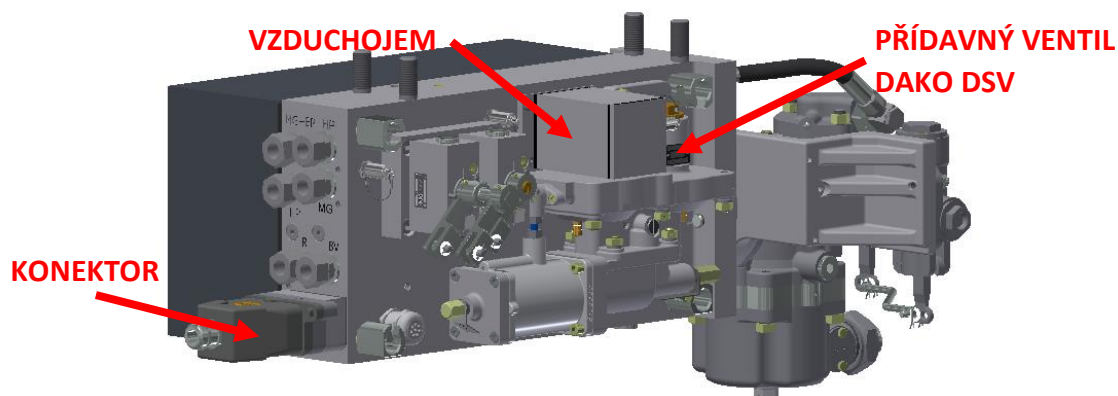
Stejně jako konstrukce brzdové výstroje v = 140 km/h, obsahuje brzdová výstroj v = 160 km/h část společných komponentů, které jsou podobné a pracují na stejném principu jako u brzdové výstroje v = 120 km/h. Mezi tyto prvky můžeme zařadit hlavní a napájecí potrubí, spojkové kohouty, brzdové spojky, prachojemy a vzduchojemy. Mezi další komponenty, jež jsou naopak společné s brzdovou výstrojí v = 140 km/h, patří záchranná brzda DAKO PZ4, ukazatel brzdění a potrubní zrychlovač DAKO Z2. Dále v popisu brzdové výstroje v = 160 km/h budou popisovány pouze nové komponenty nebo odlišnosti již stávajících.

3.3.3. Kompaktní brzda DAKO

Konstrukce kompaktní brzdy DAKO pro brzdovou výstroj v = 160 km/h je komplexnější, a proto také komplikovanější než kompaktní brzda pro brzdovou výstroj v = 140 km/h. Důvodem komplikovanější konstrukce brzdy, je sdružení více komponent samočinné tlakové brzdy do jednoho celistvého celku. Na rozdíl od brzdové výstroje v = 140 km/h, je součástí kompaktní brzdy jak modul elektropneumatické brzdy, tak i přestavné kohouty „zapnuto-vypnuto“ Z-V a „osobní-rychlík“ P-R, jež jsou nyní samostatně odděleny od rozváděče a přidavného ventilu, ale zároveň jsou součástí celku kompaktní brzdy. Uspořádání kompaktní brzdy DAKO je složeno z několika komponent, jež jsou připojeny ke společnému nosiči brzdy. Na vnějšku kompaktní brzdy v přední části, je uložen rozváděč DAKO CV1nD-R1 a samočinný odbrzdovač DAKO OS1, zatímco v zadní části je vyveden elektrický konektor a většina pneumatických šroubení. Vnitřní část kompaktní brzdy se skládá ze dvou zakrytovaných částí, jež jsou uloženy po stranách nosiče, kde je uvnitř připojen jak přidavný ventil DAKO DSV, modul elektropneumatické brzdy nebo řídicí vzduchojem, tak i přestavné kohouty Z-V a P-R. [12]



Obr. 22: Kompaktní brzda DAKO (Rozváděč DAKO CV1nD-R1; přidavný ventil DAKO DSV)



Obr. 23: Odkrytá část kompaktní brzdy DAKO [12]

3.3.3.1. Rozváděč DAKO CV1nD-R1

Popis funkce rozváděče DAKO CV1nD je již popsán v kapitole 3.1.6.1, u popisu funkce brzdové výstroje vozu $v = 120$ km/h.

Rozváděč DAKO CV1nD-R1 se od rozváděče CV1nD liší pouze tím, že není vybaven přestavným kohoutem „nákladní-osobní“ G-P. V této konfiguraci kompaktní brzdy DAKO, není rozváděč DAKO CV1nD-R1 dále vybaven přestavným kohoutem „zapnuto-vypnuto“ Z-V. [4] [12]

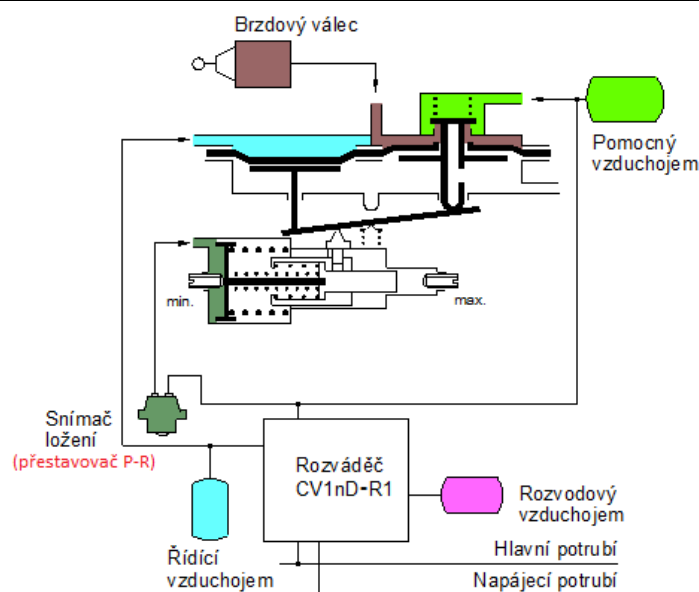
3.3.3.2. Přídavný ventil DAKO DSV

Z důvodu potřeby měnit brzdový výkon, mění přídavný ventil DAKO DSV tlak v brzdových válcích stejným způsobem, jako přídavný ventil DAKO D1, což je již popsáno v kapitole 3.2.3.2., u popisu funkce brzdové výstroje vozu $v = 140$ km/h.

Zatímco u přídavného ventilu DAKO D1 je možné nastavit převod tlaku vzduchu v rozváděči a tlaku v brzdovém válci pouze pro režim osobní nebo rychlík, tak přídavný ventil DAKO DSV umožňuje plynulé nastavení převodu, a zajišťuje napájení brzdového válce stlačeným vzduchem v závislosti na tlaku vzduchu od vzduchového vypružení. Plynulé nastavení převodu je automaticky realizováno pomocí přestavení pneumatického pístu v závislosti na výši řídicího tlaku, jenž je řízen vzduchovým vypružením dle obsazenosti vozu. [2] [8]

Při použití přídavného ventilu DAKO DSV pro osobní vůz pro rychlost do $v = 140$ km/h, jenž není vybaven pneumatickým vypružením, slouží přídavný ventil pouze ke dvoustupňovému přestavení, pro režim osobní nebo rychlík, podobně jako u přídavného ventilu DAKO D1. Rozdílem je, že přestavovač „osobní-rychlík“ P-R zapíná nebo vypíná přívod řídicího tlaku vzduchu k pneumatickému pístu, jenž provádí požadované přestavení přídavného ventilu. [12]

Úprava způsobu přestavení přídavného ventilu DAKO DSV pro osobní vůz je znázorněna červeně na Obr. 24.



Obr. 24: Schéma přidavného ventilu DAKO DSV [2]

3.3.3.3. Řídící vzduchojem

Popis řídicího vzduchojemu je již popsán v kapitole 3.1.7.3., u popisu funkce brzdové výstroje vozu $v = 120$ km/h.

Odlišností řídicího vzduchojemu je velikost objemu, jenž pro kompaktní brzdu DAKO na brzdové výstroji vozu $v = 160$ km/h je 0,6 l. Dále řídicí vzduchojem není přímo připojen k rozváděči, jak u brzdové výstroje $v = 140$ km/h, ale je s ním propojen přes nosič kompaktní brzdy DAKO, na němž je vzduchojem upevněn. [12]

3.3.3.4. Samočinný odbrzdovač DAKO OS1

Popis samočinné odbrzdovače je již popsán v kapitole 3.1.6.5., u popisu funkce brzdové výstroje vozu $v = 120$ km/h.

3.3.3.5. Modul elektropneumatické brzdy DAKO EPB2

Popis elektropneumatické brzdy DAKO EPB2 je již popsán v kapitole 3.2.5., u popisu funkce brzdové výstroje vozu $v = 140$ km/h.

Modul elektropneumatické brzdy je umístěn na nosiči kompaktní brzdy DAKO pro brzdovou výstroj vozu $v = 160$ km/h, oproti brzdové výstroji $v = 140$ km/h, kde byl modul umístěn samostatně. [12]

3.3.3.6. Přestavovač Z-V a P-R

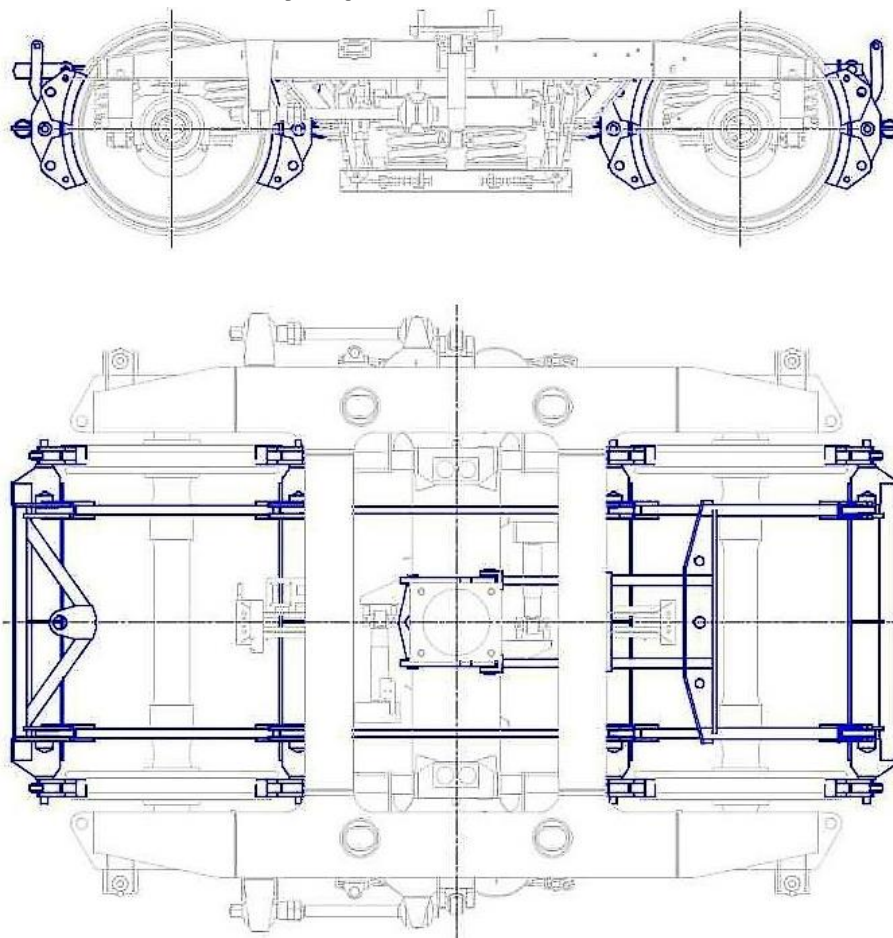
Přestavovač „zapnuto-vypnuto“ Z-V, jenž vypíná samočinnou tlakovou brzdu v případě poruchy na voze, zatímco hlavní brzdové potrubí zůstává využito pro následné vozy, není pro konfiguraci kompaktní brzdy DAKO na brzdové výstroji $v = 160$ km/h součástí rozváděče CV1nD-R1. Přestavný ventil Z-V je samostatně umístěn na nosiči kompaktní brzdy. [4]

Přestavovač „osobní-rychlík“ P-R, jenž pro brzdovou výstroj vozu $v = 140$ km/h je realizován na přidavném ventilu DAKO D1, je pro brzdovou výstroj $v = 160$ km/h proveden samostatně umístěným přestavným ventilem P-R. Umístění přestavného ventilu P-R je také na nosiči kompaktní brzdy DAKO, avšak na opačné straně nosiče, než je umístěn přestavný ventil Z-V. [12]

4. Zařízení brzdy v podvozku

U jednotlivých typů osobních železničních vozů je požadované odebírání kinetické energie prováděno určitým mechanickým způsobem, který záleží na uspořádání mechanické části brzdy, jenž je následně popsáno v této kapitole.

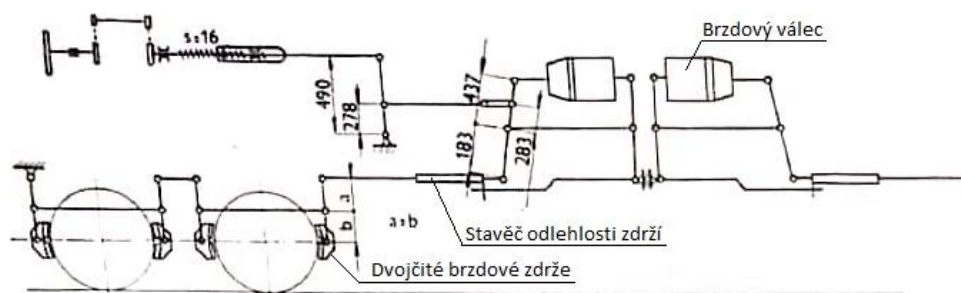
4.1. Zařízení brzdy v podvozku v = 120 km/h



Obr. 25: Zařízení brzdy v podvozku osobního vozu pro rychlost do $v = 120$ km/h [18]

4.1.1. Špalíková brzda

Brzdové válce a příslušné mechanické převody jsou společně s pneumatickou výstrojí umístěny na spodku osobního vozu. Osobní železniční vůz je vystrojen dvěma brzdovými válci, kde každý brzdový válec je určen pro jeden podvozek vozu. [9]



Obr. 26: Brzdové tyčový osobního železničního vozu [1]

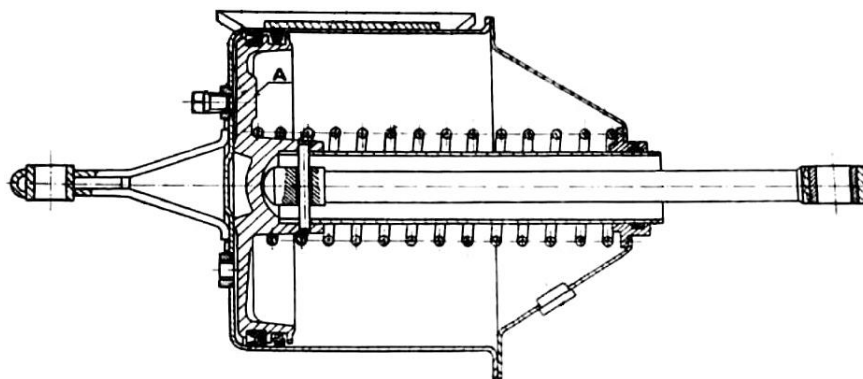
Vyvozená brzdná síla z brzdového válce je přenášena pomocí brzdového tyčového a pákoví na všechny zdrže podvozku, kde je vyvozená brzdná síla několikanásobně zvýšena převodem mechanismu a zároveň rovnoměrně přenášena tak, aby byla na všechny zdrže vyvozena stejná brzdná síla, bez ohledu na opotřebení zdrží. [10]

Brzdové tyčové a pákoví není určeno pouze pro přenos brzdné síly pneumatické brzdy, ale i pro přenos brzdné síly od ruční brzdy, avšak pro dosažení potřebného odbrzdění je použito vysokého převodového poměru mechanismu (max. 1400), z důvodu docílení přijatelné odbrzdovací síly na ovládacím kole (viz Obr. 26). [10]

4.1.1.1. Brzdové válce

Při snížení tlaku vzduchu v hlavním brzdovém potrubí, přepustí rozváděč úměrné množství vzduchu z pomocného vzduchojemu do brzdového válce, čímž stlačený vzduch působí na píst, a vzniklý pohyb pístu a pístnice se přenáší brzdovým tyčovým až na brzdové špalíky vozu, kde je vyvozen brzdový účinek. Přičemž síla z brzdového válce je násobena pákovými převody (viz Obr. 26), které se vyznačují určitou účinností, závislou na provedení kloubových spojů (třecí odpor). [1] [10]

Brzdový válec se skládá z litinové nebo plechové rotační nádoby, jenž je uzavřena pomocí víka. Uvnitř brzdového válce je umístěn píst s vodící trubkou, na které je nasazena vratná pružina, jenž zajišťuje odtažení brzdových špalíků, a vrácení pístu do výchozí polohy při odbrzdění. Utěsnění pístu je provedeno gumovou nebo koženou manžetou a otvor ve víku pro vodící trubku je opatřen ucpávkou, jenž zabraňuje přístup nečistotám. Proti vzniku přebytečných odporů ve válci, je víko opatřeno odvětrávacím ventilem a pro vyrovnávání tlaků na obou stranách pístu, při zabrzdění ruční brzdou, je v pístu zabudována zpětná záklopka. [1] [10]



Obr. 27: Brzdový válec se zabudovanou vratnou pružinou [1]

4.1.1.2. Dvojčité brzdové zdrže

Dvojčité brzdové zdrže jsou používány pro osobní nebo rychlíkové vozy. Součástí dvojčité brzdové zdrže je vahadlo, na němž jsou uloženy dvě botky pomocí spojovacích čepů, jenž umožňují potřebné nastavení botky vůči vahadlu. Proti nežádoucímu otáčení botky je zdrž opatřena vedením zdrže, které je tvořeno plochým táhlem a podélným otvorem pro čep vedení, na němž je s předpětím nasazena pružina, jenž umožňuje udržení správné polohy odbrzděné zdrže, avšak současně také umožňuje správné přilehnutí špalíků na jízdní plochu dvojkolí při brzdění. [1] [10]

Pro železniční vozy jsou používány brzdové špalíky délky 380 a 250 mm ze šedé litiny, nebo brzdové špalíky délky 320 a 250 mm z fosfornaté litiny. [1] [10]

4.1.1.3. Stavěče odlehlosti zdrží

Brzdové tyčový a pákový je vybaveno samočinným stavěčem odlehlosti zdrží, jenž zamezuje postupnému zvětšování vůle mezi zdržemi a jízdni plochou, z důvodu opotřebení zdrží. Pokud by odlehlost zdrží byla příliš velká, mohlo by dojít k vyčerpání zdvihu brzdového válce dříve, než by se zdrže přilehly na jízdni plochu kol. [10]

Z tohoto důvodu je brzdové tyčový a pákový vybaveno samočinným stavěčem zdrží, jenž dle potřeby zkracuje délku táhla mezi brzdovým válcem a brzdovými rozporami, čímž je docíleno žádaného zmenšování odlehlosti mezi zdržemi a jízdni plochou kol v odbrzděném stavu. [10]

4.1.1.4. Odstředivý regulátor DAKO K

Popis odstředivého regulátoru DAKO K je již popsán v kapitole 3.1.6.3., u popisu funkce brzdové výstroje vozu $v = 120 \text{ km/h}$.

Jak již bylo více popsáno, odstředivý regulátor sice samočinně řídí stupeň brzdění pro pneumatickou část brzdové výstroje, avšak je součástí podvozku, kde je montován na skříň ložiska nápravy místo víka skříně.

4.1.1.5. Elektronické protismykové zařízení

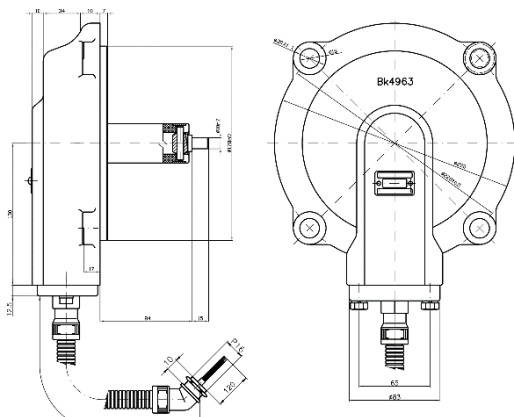
Při brzdění osobních železničních vozů je výše brzdícího účinku adhezních brzd omezena součinitelem adheze ve styku mezi kolem dvojkolí a kolejnicí, přičemž při nepříznivých povětrnostních podmínkách je součinitel adheze značně ponížen, což může mít za následek při silnějším zabrzdění osobního vozu ke smyku dvojkolí po kolejnici, kdy tento stav je nebezpečný, obzvláště při vyšších rychlostech. Smyk dvojkolí po kolejnici způsobuje prodloužení zábrzdne dráhy vozu a vznik nebezpečných plochých míst na kolech. Z tohoto důvodu je důležité tomuto smyku dvojkolí zamezit, jenž je prováděno pomocí protismykového zařízení. [1] [6]

Pro požadované zamezení smyku dvojkolí, začne protismykové zařízení od vzniku smyku odvětrávat brzdové válce pomocí vypouštěcích ventilů, čímž je docíleno uvolnění dvojkolí na nezbytně nutnou dobu z brzdění. Celý tento proces je proveden ve velmi krátkém časovém intervalu, aby nedošlo k prodloužení zábrzdne dráhy vozu. [1] [6]

Součástí elektronického protismykového zařízení je generátor protismyku, jenž je namontován na nápravě dvojkolí, kde sleduje otáčky dvojkolí, které předává pomocí elektrických impulsů do elektronického vyhodnocovacího ústrojí (elektronický blok protismyku). Pokud dojde ke vzniku smyku dvojkolí, vyšle elektrické vyhodnocovací ústrojí elektrický impuls do vypouštěcích ventilů k vypuštění stlačeného vzduchu z brzdových válců. Po odstranění smyku dvojkolí, zajistí elektrické ústrojí přerušeni impulsu, čím je docíleno k opětovnému plnění brzdových válců stlačeným vzduchem. Při tomto procesu řídicí jednotka vyhodnocuje ve velmi krátkých časových intervalech odrychlení nebo zrychlení, jakož i odchylky rychlosti jednotlivých dvojkolí. Pro určení požadovaných odchylek rychlosti, slouží jako vztažná veličina rychlost vozidla, která v zásadě odpovídá nejvyšší okamžité rychlosti jednotlivých dvojkolí. Sledovaná míra smyku dvojkolí je charakterizována a kontrolována současně jak odchylkou rychlosti, tak i zrychlením (odrychlením). Pokud jsou dosaženy nebo překročeny nastavené mezní hodnoty (stavy), brzdící síla je přizpůsobena (řízena) buď přerušeni nárůstu tlaku, stupňovitým vypouštěním, trvalým vypouštěním nebo stupňovitým, popřípadě trvalým napouštěním stlačeného vzduchu do brzdových válců. [1] [6]

4.1.1.5.1. Generátor protismyku DAKO

Generátor protismyku DAKO je montován na ložiskovou skříň nápravy místo víka ložiska, kde je připojen na nápravu dvojkolí pomocí spojky, která zajišťuje přesný přenos úhlové rychlosti dvojkolí na rotor generátoru protismyku, jenž je opatřen ozubením. Při otáčení rotoru, dochází ke změně velikost mezery mezi ozubením rotoru a sondou, což má za následek, vlivem indukce, vznik impulsů střídavého napětí na výstupu snímače, jehož frekvence je úměrná otáčkám rotoru. [1] [6]



Obr. 28: Generátor protismyku DAKO [1]



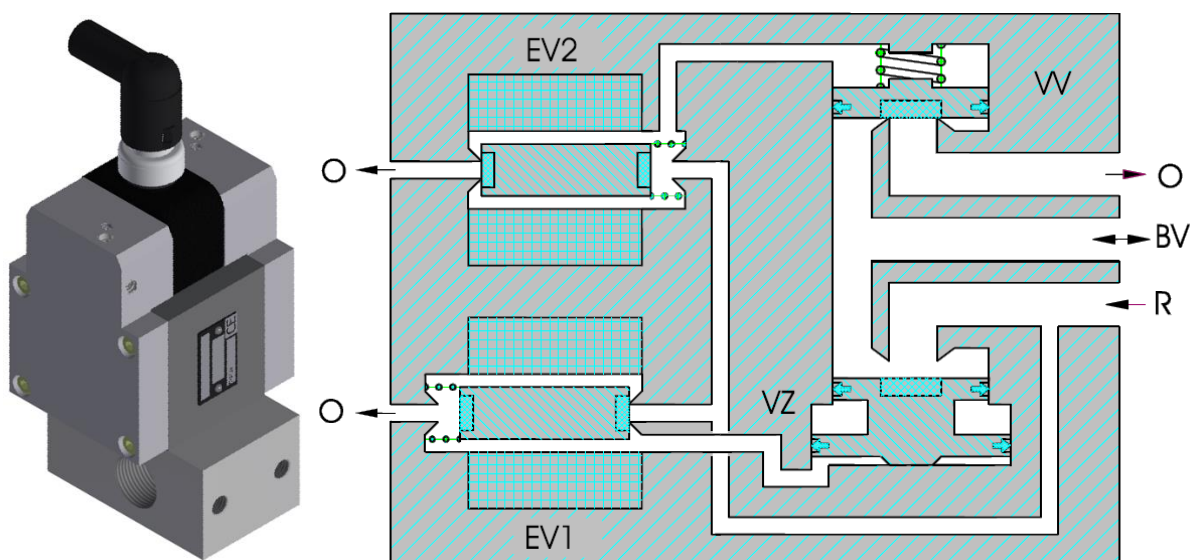
Obr. 29: Uložení generátor protismyku DAKO na nápravě vozu

4.1.1.5.2. Elektronický blok protismyku

Elektronický blok protismyku zpracovává získané informace z generátorů protismyku, kde vstupním signálem je frekvence střídavého proudu, a řídí účinkování vypouštěcích ventilů. Elektronický blok protismyku je umístěn uvnitř osobního vozu. [1] [6]

4.1.1.5.3. Vypouštěcí ventil DAKO

Vypouštěcí ventil je umístěn mezi spojení rozváděče a brzdového válce, kde reguluje tlak vzduchu v brzdovém válci v závislosti na funkci řídicí jednotky (elektronického bloku protismyku). Součástí vypouštěcího ventilu je závěrný a vypouštěcí elektromagnetický ventil, jenž ovládají písty pneumatického závěrného a vypouštěcího ventilu. [1] [6]



Obr. 30: Vypouštěcí ventil DAKO [6] [12]

EV1	EV2	
0	0	BV spojen s R
1	0	Závěr
1	1	Vypouštění

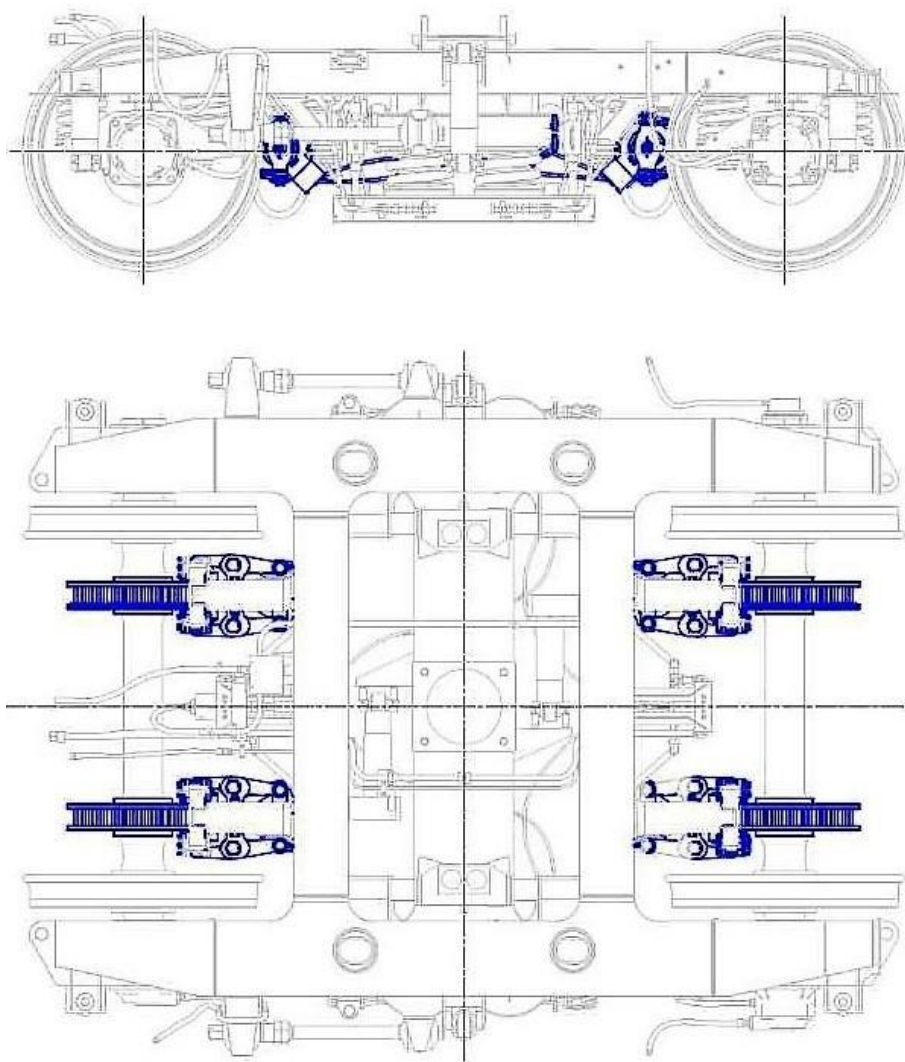
Tab. 4: Ovládání vypouštěcího ventilu

- R – Rozváděč
- BV – Brzdový válec
- O – Odvětrávání
- EV1 – Elektromagnetický ventil závěru
- EV2 – Elektromagnetický ventil vypouštění
- VZ – Pneumatický ventil závěru
- VV – Pneumatický ventil vypouštění

4.1.1.5.4. Tlakový spínač DAKO

Tlakový spínač signalizuje řídicí jednotce překročení tlaku vzduchu v hlavním brzdovém potrubí o hodnotě 2,5 bar. Pokud tlak vzduchu stoupne v hlavním brzdovém potrubí nad hodnotu 2,5 bar, dojde k vypnutí řídicí jednotky (elektronického bloku protismyku) po uplynutí určité nastavené doby (10 ÷ 60 min). [1] [6]

4.2. Zařízení brzdy v podvozku v = 140 km/h



Obr. 31: Zařízení brzdy v podvozku osobního vozu pro rychlost do v = 140 km/h [18]

4.2.1. Kotoučová brzda

Brzdový systém osobního vozu pro rychlost do $v = 140$ km/h je vstrojen kotoučovou brzdou, oproti brzdovému systému do $v = 120$ km/h, jenž je vstrojen špalíkovou brzdou. Důvodem použití kotoučové brzdy, pro požadované brzdění z vyšších rychlostí, je odstranění negativní vlastnosti špalíkové brzdy, kdy je součinitel smykového tření mezi brzdovým špalíkem a jízdni plochou kola v závislosti na rychlosti vozidla a teplotě. Podrobněji již popsáno v kapitole 3.1.6., která popisuje rychlíkovou brzdu DAKO R. [9] [10]

Brzdové čelisti kotoučové brzdy nepoužívají litinové obložení, ale speciální, které vykazuje lepší vlastnosti než litina (menší opotřebení, vyšší součinitel tření), jenomže nemůže být použito k brzdění na jízdni ploše dvojkolí, protože se její obrys s opotřebováním značně mění. Proto je obložení lepeno na rovinné čelisti, které jsou přitlačovány k rovinným bočním plochám kotoučů, jenž jsou uloženy na nápravě. [9] [10]

Konstrukčně je brzdová jednotka kotoučové brzdy provedena jako celistvý blok, jenž obsahuje brzdový válec, pákový a samočinný stavěč odlehlosti čelistí. Na každém dvojkolí jsou nalisovány dva kotouče, kde každý z nich je brzděn samostatným blokem. Přítlak čelistí kotoučové brzdy je řízen pomocí rozváděče DAKO CV1nD-P a přídatného ventilu DAKO D1 v „osobním“, nebo „rychlíkovém“ stupni. Při brzdění rychlíkových vozů, jenž jsou vstrojeny kotoučovou brzdou, je součinitel tření mezi obložení čelistí a kotoučem prakticky neměnný. Z tohoto důvodu je zvolen pouze jeden neměnný pracovní tlak ve válcích kotoučové brzdy pro jízdni režim „osobní“ a druhý neměnný pracovní tlak pro režim „rychlík“. Díky tomu odpadá, oproti špalíkové rychlíkové brzdě, odstředivý regulátor DAKO K, přídatný ventil DAKO R a stiskací záklopka. [9] [10]

Další předností kotoučové brzdy je možnost vyššího zatížení brzdovým výkonem než na běžně používané špalíkové brzdě. Kola dvojkolí nejsou tolik tepelně namáhána, protože již není brzděno o jízdni plochu dvojkolí, díky čemuž je sníženo nebezpečí vzniku trhlin, praskání a deformace. Jediné teplo vznikající při brzdění je v adhezní ploše kola s kolejnicí, které se nyní lépe vyzáří do nekryté jízdni plochy kola. Dále je brzdění, oproti špalíkové brzdě, tiché, klidné, rovnoměrné a životnost obložení kotoučové brzdy je navýšeno, přibližně o 100 000 až 140 000 km než u litinových brzdových špalíků. Konstrukčně je kotoučová brzda jednodušší a hmotnostně přijatelnější. [9] [10]

4.2.1.1. Brzdový kotouč

Brzdové kotouče jsou vyráběny ze speciální litiny, kdy vnitřek tělesa brzdového kotouče je tvořen pomocí radiálních kanálů, jenž při rotaci působí jako radiální (odstředivý) ventilátor, čím je docíleno zlepšení chlazení brzdových kotoučů při brzdění. Nevýhodou této konstrukce kotouče jsou ventilační ztráty, které vznikají při jízdě bez ohledu na to, zda je chlazení brzdového kotouče potřebné. [10]

Pro normalizované litinové brzdové kotouče do 200 km/h, odpovídající vyhlášce UIC 541-3, jsou doporučeny limitní hodnoty rozložení hmotnosti vozu na brzdový kotouč (viz Tab. 5). [12]

Typ brzdového kotouče	Rozměry brzdového kotouče	Zatížení na brzdový kotouč
Nápravový brzdový kotouč	Ø 610 mm x 110 mm	5,8 t/ks
Nápravový brzdový kotouč	Ø 640 mm x 110 mm	6,0 t/ks
Brzdový kotouč na kole	Ø 610 mm	5,8 t/ks

Tab. 5: Limitní hodnoty zatížení pro normalizované litinové brzdové kotouče [12]

V tomto případě je brzdový systém osobního vozu pro rychlost do $v = 140$ km/h vybaven dvěma brzdovými kotouči na nápravu.

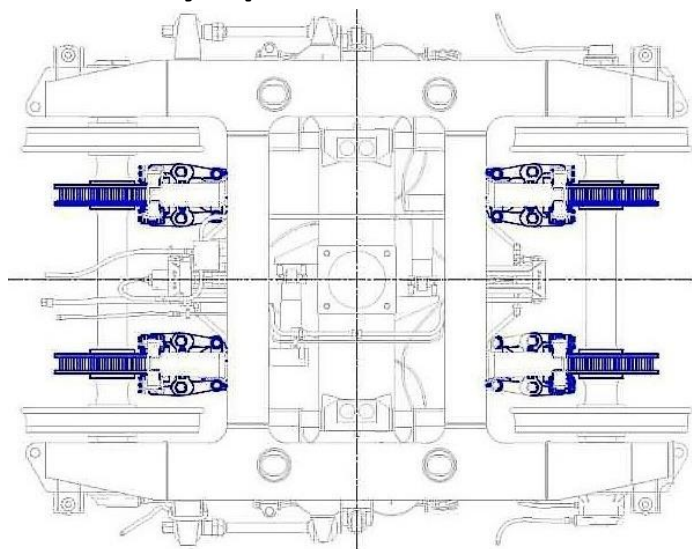


Obr. 32: Dvojkolí osobního kolejového vozu se dvěma brzdovými kotouči

4.2.1.2. Protismykové zařízení DAKO PE94 – MSV

Protismykové zařízení DAKO PE94 – MSV pracuje na stejném principu jako protismykové zařízení brzdového systému $v = 120$ km/h, jenž je již popsán v kapitole 4.1.1.5.

4.3. Zařízení brzdy v podvozku $v = 160$ km/h

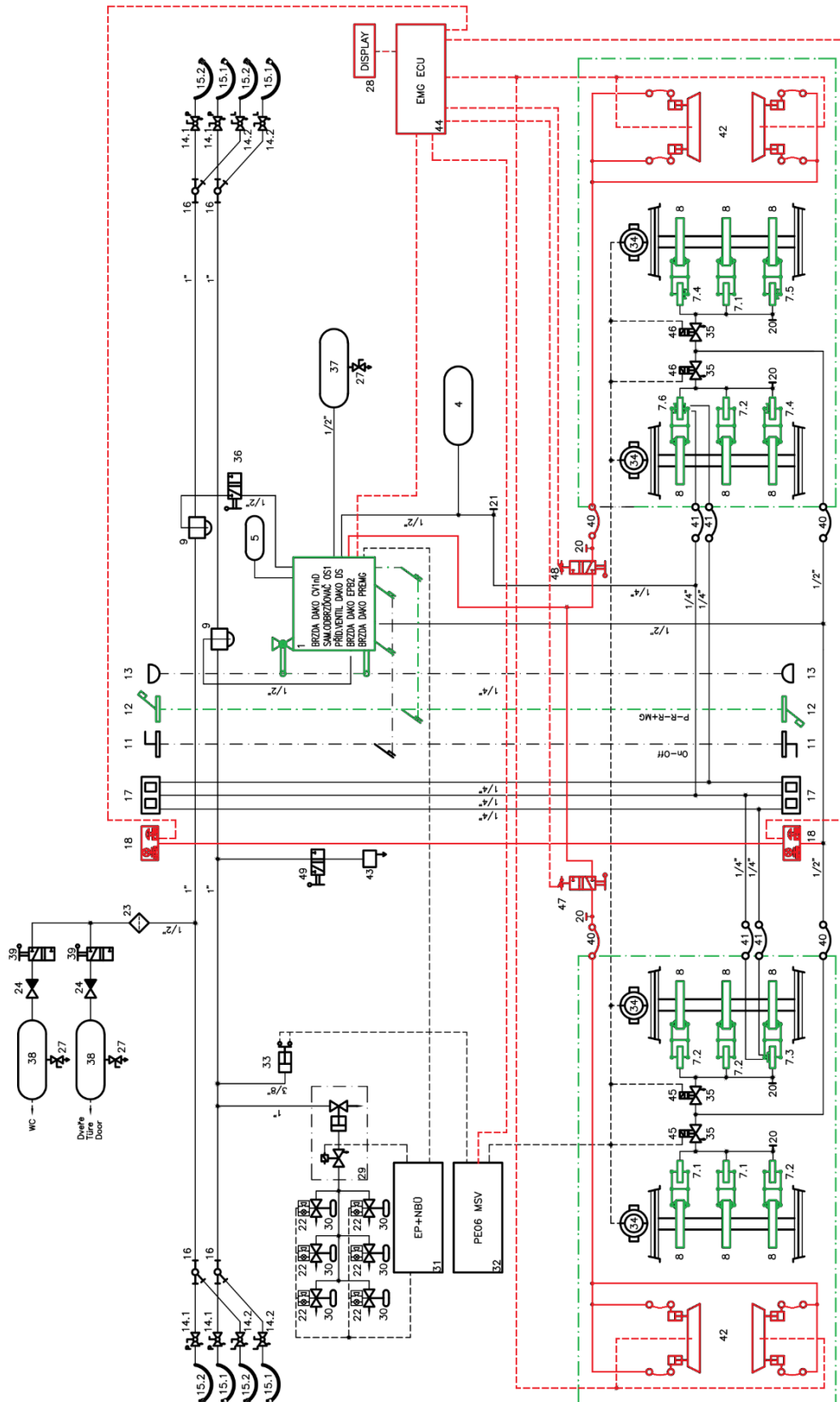


Obr. 33: Zařízení brzdy v podvozku osobního vozu pro rychlost do $v = 160$ km/h [18]

Stejně, jako konstrukce brzdy pro brzdový systém pro rychlost do $v = 140$ km/h (viz Obr. 31), je brzdový systém $v = 160$ km/h vystrojen taktéž kotoučovou brzdou (viz Obr. 33), která je velice podobná a pracuje na stejném principu jako u brzdové výstroje $v = 140$ km/h, viz kapitola 4.2.1. Jediným rozdílem je použití brzdové jednotky s větším brzdovým válcem o $\varnothing 10''$, jenž zajišťuje dosažení většího brzdného účinku při stejném provozním tlaku vzduchu. Dále může být obložení čelistí kotoučové brzdy z lepších materiálů, jenž mají za následek například lepší odvod tepla vznikajícího při brzdění nebo vyšší koeficient tření brzdového obložení. [12] Dále je brzdový systém pro rychlost do $v = 160$ km/h vybaven stejným protismykovým zařízením DAKO PE94 – MSV jako brzdový systém $v = 140$ km/h.

5. Brzdový systém DAKO rychlíkového vozu v = 200 km/h

5.1. Návrh pneumatického schéma a kusovníku



Obr. 34: Blokové schéma pneumatické výstroje pro rychlost do v = 200 km/h [12]

Pozice	Číslo výkresu	Počet	Název	Typové značení	Hmotnost [kg]
1	90700-190/xxx/x	1	Brzda kompaktní DAKO	DAKO	125
4	91655-473	1	Pomocný vzduchojem	75 l	35,5
5	91655-366	1	Rozvodový vzduchojem	9 l	8,7
7.1	90026-255/xxxx/x	3	Brzdová jednotka kotoučové brzdy	DAKO KBZ 8 J 350	72
7.2	90026-255/xxxx/x	4	Brzdová jednotka kotoučové brzdy	DAKO KBZ 8 J 350	72
7.3	90026-256/xxxx/x	1	Brzdová jednotka kotoučové brzdy	DAKO KBZ 8 JS 350	72
7.4	90026-257/xxxx/x	2	Brzdová jednotka kotoučové brzdy	DAKO KBZ 8 R 350	78
7.5	90026-257/xxxx/x	1	Brzdová jednotka kotoučové brzdy	DAKO KBZ 8 R 350	78
7.6	90026-258/xxxx/x	1	Brzdová jednotka kotoučové brzdy	DAKO KBZ 8 RS 350	78
8	1-11-71-00	12	Brzdový kotouč	KOVIS OZ610/110	
9	90090-105	2	Prachojem odstředivý DAKO	DAKO 1"	4
11	90130-164/xx	1	Přestavovač DAKO "Z-V"	DAKO Z-V	3,7
12	90130-169/x	1	Přestavovač "P-R-R+Mg" panelový	DAKO P-R-R+MG (P)	
13	02010-127	2	Oko táhla	(AUTOM)	0,1
14.1	90146-003	4	Kohout koncový DAKO KK	DAKO KK 1" pravý	4,5
14.2	90146-004	4	Kohout koncový DAKO KK	DAKO KK 1" levý	4,5
15.1	90150-133/1	4	Brzdová spojka DAKO normální	UIC 620	2,35
15.2	90150-140/1	4	Brzdová spojka DAKO	UIC 620	2,35
16	06368-101	4	Odbočnice DAKO	DAKO 1"	3,2
17	90130-132/1	2	Ukazatel brzdění DAKO UB-1	DAKO UB-1	5,6
18	90520-003/2	2	Testovací modul DAKO-TEPMG	DAKO TEPMG	
20	96780-103/2	6	Diagnostická přípojka DAKO DP 1/2	DAKO DP 1/2"	0,8
21	96780-102	1	Diagnostická přípojka DAKO DP 1/4	DAKO DP 1/4"	0,4
22	ZO000714	6	Modul signalizace záklopky MSZ01	Regonik MSZ01	0,2
23	90085-100	1	Vzduchový filtr DAKO G1/2"	DAKO 1/2"	2,2
24	96430-140/1	2	Jednosměrný ventil DAKO JV10	DAKO JV 10	0,35
27	96400-158	3	Odvodňovací kohout DAKO G1/2"	DAKO G1/2"	3,26
28	ZO000697	1	Display03_SW00125/P	DISPLAY03_SW00125/P	
29	96437-129/11	1	Ventil záchranné brzdy DAKO PZ4	DAKO PZ4	4,7
30	96430-145/2	6	Záklopka záchranné brzdy DAKO PZ4	DAKO PZ4	0,85
31		1	Modul EPB EOB01 - UIC + DB	Regonik	0,27
32	ZO000623	1	Elektronický blok protismyku	DAKO PE06 MSV	
33	90500-120/8125	1	Tlakový spínač DAKO TSM 1	DAKO TSM1	0,2
34	90550-134/xxx	4	Generátor protismyku DAKO FE 1.4	DAKO	13,6
35	90030-357xxx	4	Vypouštěcí ventil	DAKO N8.1	3,2
36	96405-110	1	Kohout přímý DAKO KZ-1/2"	DAKO KZ 1/2"	0,85
37	91655-473	1	Vzduchojem	75 l	35,5
38	91655-456	2	Vzduchojem	25 l	15,8
39	96405-110	2	Kohout přímý DAKO KZ-1/2"	DAKO KZ 1/2"	0,85
40	96380-140	4	Spojka s opletem DAKO	DAKO 1/2"	1,8
41	96385-304	4	Hadice	DAKO BH	0,6
42	90510-102/10/1	2	Magnetická kolejnicová brzda DAKO	DAKO EMG	426
43	90030-190/1	1	Potrubní zrychlovač	DAKO Z2	
44	ZO000689	1	Elektrická centrální jednotka EMG	DAKO	
45	60300-196/050/22	2	Konektor N8.1	DAKO	
46	60300-196/020/22	2	Konektor N8.1	DAKO	
47	96405-162	1	Kohout DAKO KZS 1/2" levý	DAKO KZS 1/2"	1,3
48	96405-164	1	Kohout DAKO KZS 1/2" pravý	DAKO KZS 1/2"	1,3
49	96405-102	1	Uzavírací kohout	DAKO KZ 1"	1,9
Název BRZDOVÁ VÝSTROJ DAKO vůz V200				Číslo výkresu 97001-637	Os. Vůz

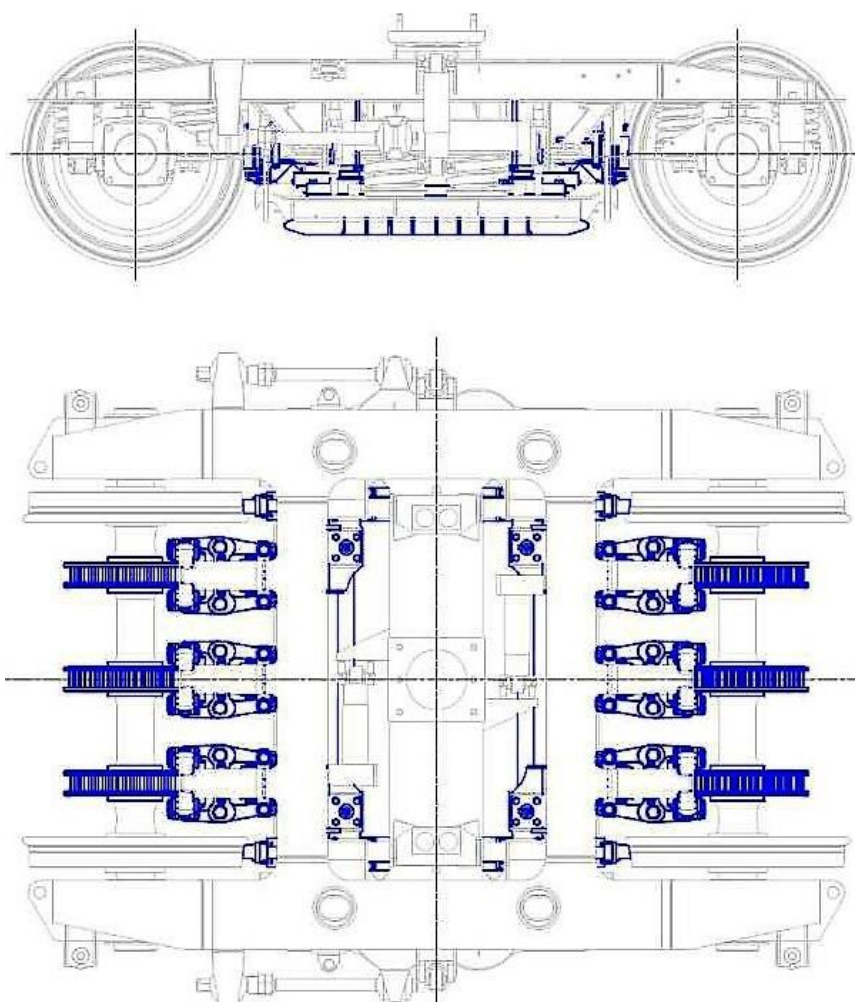
Tab. 6: Kusovník pneumatické výstroje pro rychlost do $v = 200$ km/h [12]

5.2. Odlišnosti brzdového systému od vozu $v = 160$ km/h

Konstrukce brzdového systému DAKO rychlíkového vozu $v = 200$ km/h obsahuje většinu komponentů, které jsou podobné a pracují na stejném principu, jako v předešlém brzdovém systému vozu $v = 160$ km/h.

Dále v popisu brzdového systému rychlíkového vozu budou popisovány pouze nové komponenty nebo odlišnosti již stávajících.

Jednou z hlavních odlišností je navýšení počtu brzdových kotoučů na dvojkolí vozu nebo přidání elektromagnetické kolejnicové brzdy, z důvodu navýšení brzdné síly vozu, kterého již nelze dosáhnout s použitím pouze pneumatické brzdy, jenž je omezena adhezí ve styku kola dvojkolí s kolejnicí. [12]



Obr. 35: Zařízení brzdy v podvozku osobního vozu pro rychlost do $v = 200$ km/h [18]

5.2.1. Kompaktní brzda DAKO

Konstrukce kompaktní brzdy DAKO pro brzdový systém $v = 200$ km/h je stejná, jako pro brzdový systém $v = 160$ km/h, jenž je již popsána v kapitole 3.3.3., s tím rozdílem, že je vybaven přestavným kohoutem „osobní-rychlík-rychlík+Mg P-R-R+Mg místo přestavného kohoutu „osobní-rychlík“ P-R. [12]

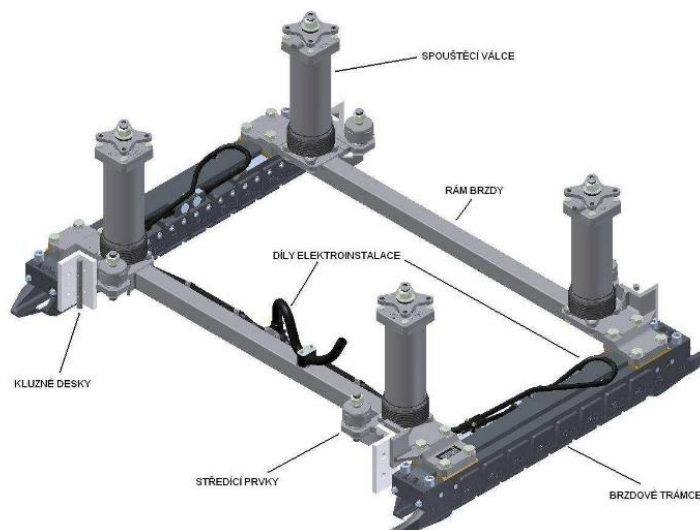
Dále je navíc vybavena modulem elektromagnetické kolejnicové brzdy DAKO PREMG, který slouží k řízení elektromagnetické kolejnicové brzdy, jenž je popsána v následující kapitole 5.2.2. [12]

5.2.2. Elektromagnetická kolejnicová brzda

Elektromagnetická kolejnicová brzda je elektro-pneumaticky ovládaná třecí brzda, která slouží jako doplňková brzda k adhezní brzdě vozu, kdy její použití je požadováno u vozů s rychlostí vyšší než 160 km/h. Při brzdění pomocí elektromagnetické kolejnicové brzdy se vytváří přídatná brzdná síla, jenž je nezávislá na adhezi mezi kolem dvojkolí a kolejnicí (neadhezní brzda), díky čemuž je navýšeno celkové zpomalení vozu. Elektromagnetická kolejnicová brzda může být dále použita jako nouzová brzda, díky čemuž jsou také používány i u vozů do rychlosti 160 km/h. [7] [11]

Části elektromagnetické kolejnicové brzdy:

- Brzdový trámec (rám trámce, cívka, izolace, naváděcí a průběžné smyky)
- Rám elektromagnetické brzdy
- Spouštěcí válce
- Vodiče elektroinstalace



Obr. 36: Elektromagnetická kolejnicová brzda DAKO [11]

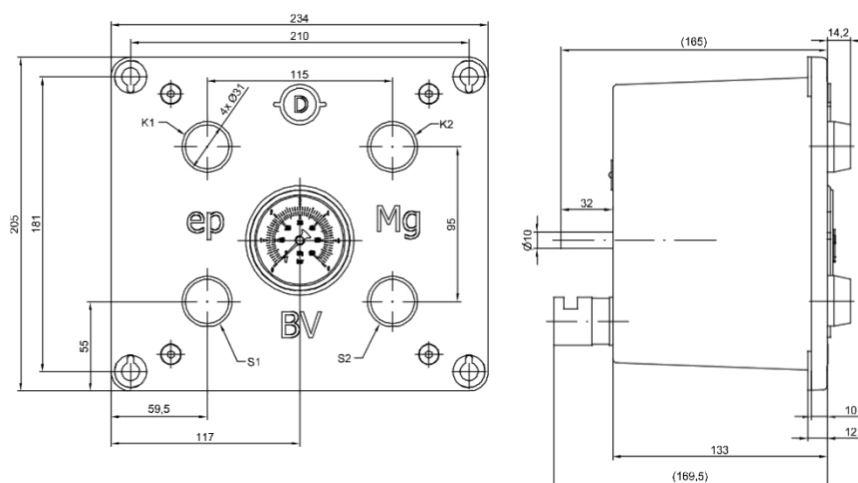
Elektromagnetická kolejnicová brzda je tvořena dvěma brzdovými trámcí, které jsou umístěny nad hlavami kolejnic a vzájemně spojeny do jednoho celku pomocí rámu elektromagnetické brzdy, jenž je zavěšen na rám podvozku vozu mezi dvě dvojkolí pomocí čtyř spouštěcích válců. V odbrzděném stavu elektromagnetické brzdy jsou brzdové trámcí umístěny přibližně 120 mm nad kolejnicí pomocí vrtných pružin, jež jsou vestavěny do spouštěcích válců. [7] [11] Při aktivaci elektromagnetické kolejnicové brzdy je přiveden stlačený vzduch do spouštěcích válců, jenž vyvolá potřebnou sílu na písty spouštěcích válců, a překoná sílu od vratných pružin, čímž dojde ke spuštění brzdových trámců na kolejnice. Při nárůstu tlaku vzduchu ve spouštěcích válcích, je zároveň přivedena elektrická energie na cívky brzdových válců, a po dosednutí trámců na hlavy kolejnic se uzavře magnetický tok přes smyky brzdy. Vyvolané třecí síly od brzdových trámců jsou následně přenášeny přes rám elektromagnetické kolejnicové brzdy do podvozku vozu, kdy vyvolaný brzdný účinek elektromagnetické brzdy není nijak regulován, a je vždy vyvozen maximální. Pro opětovné odbrzdění elektromagnetické brzdy jsou vratné válce odvětrávány, čímž dojde k odepnutí přívodu elektrické energie na cívky, a vratné pružiny vrátí elektromagnetickou brzdu zpět do pohotovostní polohy nad kolejnicí. [7] [11]

Elektromagnetická kolejnicová brzda se používá pouze v brzděném režimu vozu R+Mg, kdy řízení elektromagnetické brzdy aktivuje brzdění při poklesu tlaku vzduchu v hlavním brzdovém potrubí pod 3 bar, a zároveň musí být rychlost jízdy vyšší než 50 km/h. [7] [11]

5.2.2.1. Testovací modul DAKO – TEPM-G

Součástí brzdové výstroje vozu, vybaveného elektromagnetickou kolejnicovou brzdou, musí být také testovací modul elektromagnetické brzdy DAKO – TEPM-G, jenž je umístěn na obou stranách vozu a umožňuje testování elektromagnetické kolejnicové brzdy. [7] [11] [12]

Ověření funkčnosti elektromagnetické kolejnicové brzdy, lze provést pouze v brzděném režimu vozu R+Mg, kdy po odvětrání hlavního brzdového potrubí a stisknutí ovládacího tlačítka na testovacím modulu, dojde při správné funkčnosti brzdy ke spuštění brzdových trámců na kolejnici a k aktivaci elektromagnetů, jenž se projeví rozsvícením kontrolky na testovacím modulu. [7] [11]



Obr. 37: Testovací modul DAKO - TEPM-G [12]

5.2.3. Kotoučová brzda

Stejně, jako konstrukce brzdy pro brzdový systém pro rychlost do $v = 160$ km/h, je brzdový systém $v = 200$ km/h vystrojen taktéž kotoučovou brzdou, která je velice podobná a pracuje na stejném principu jako u brzdové výstroje $v = 160$ km/h. Jediným rozdílem je navýšení počtu brzdových kotoučů na dvojkolí, kde každé dvojkolí osobní vozu je vybaveno třemi kotouči. [12] Důvodem navýšení počtu brzdových kotoučů na nápravu, je zvýšení maximální provozní rychlosti vozu na 200 km/h, což má za následek navýšení hmotnosti na nápravu osobního vozu, jenž dle vyhlášky UIC 541-3 (viz kapitola 4.2.1.1.) již dva brzdové kotouče na nápravu nesplňují. V tomto případě, je hmotnost loženého osobního vozu $m_v = 56$ t, což odpovídá přibližně 4,7 tun na brzdový kotouč. [12]

6. Výpočet brzdy

6.1. Úvod do problematiky výpočtu

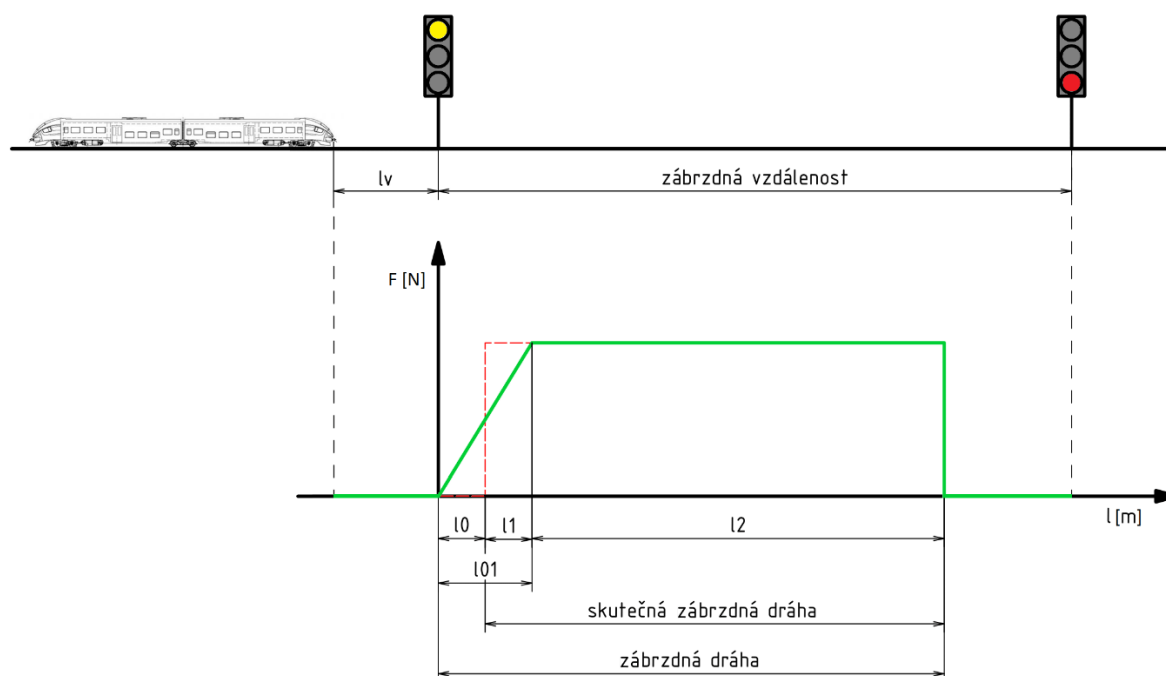
Následující část práce je zaměřena na návrh a stanovení základních parametrů provozní brzdy osobního kolejového vozu pro rychlost do $v = 200$ km/h, jenž zahrnuje součinnost pneumatické a elektromagnetické kolejnicové brzdy. Návrh a výpočet provozní brzdy bude vycházet z technických parametrů plně loženého osobního kolejového vozu, jenž je rychločinně brzděn z maximální provozní rychlosti $v = 200$ km/h na železniční trati bez převýšení. Kompletní postup řešení bude podrobně popsán od počátečního určení kinetické energie vozu, přes požadovanou brzdnu sílu a kontrolu součinitele meze adheze, až po stanovení požadovaného převodu pákovi jednotek kotoučové brzdy DAKO, kdy veškeré technické parametry komponent budou použity z brzdového systému pro osobního kolejový vůz od společnosti DAKO-CZ.

Následně bude provedena kontrola provozní brzdy dle postupu společnosti DAKO-CZ, jenž vychází z metod stanovených vyhláškou UIC 544-1. Kontrolní výpočet brzdy bude proveden pouze ukázkově pro brzdění osobního vozu z maximální provozní rychlosti $v = 200$ km/h v brzděném režimu R + Mg. Pro ostatní provozní rychlosti brzdění, ve všech brzděných režimech vozu (P, R, R + Mg), je kontrola brzdy provedena analogicky, kdy veškeré vstupní parametry a požadované výsledky jsou uvedeny v příloženém kontrolním protokolu provozní brzdy osobního vozu (viz příloha 1 a příloha 2).

V poslední části práce bude provedeno ověření funkčnosti uložení brzdového kotouče na dvojkolí osobního vozu tak, aby požadované spojení pomocí předpjatého šroubového spoje zajišťovalo přenos brzděného momentu z brzdového kotouče na dvojkolí osobního vozu.

6.1.1. Charakteristika brzdění kolejového vozidla

Z důvodu dlouhé zábrzdě dráhy vlaků, jenž je zapříčiněna velkou hmotností vozidel, vysokou dopravní rychlostí a nízkou adhezí ve styku mezi kolem a kolejnicí, kdy není možné řídit provoz na železnici jízdou na rozhled, je železniční trať rozdělena mezi dopravními (mezistaniční úsek) na dva, nebo více jednotlivých traťových oddílů. Provoz vlaku na těchto jednotlivých traťových oddílech je řízen pomocí znaků oddílových návěstidel, kdy jsou návěstidla od sebe vzdálena minimálně na zábrzdnu vzdálenost a zároveň je každé návěstidlo předvěstí návěstidla následujícího. Díky tomu, je strojvedoucí s dostatečným předstihem informován o provozu na trati před ním, a může vlak v případě potřeby bezpečně zastavit. [13]



Obr. 38: Charakteristika brzdění kolejového vozidla [13] [14] [15]

Označení v charakteristice brzdění kolejového vozidla:

- **zábrzdňá vzdálenost** – vzdálenost, kterou kolejové vozidlo potřebuje k bezpečnému zabrzdění (snížení rychlosti na 0 km/h), jeňž je určena pro každou traťovou rychlost
- **l_v** – viditelnost návěstidla, která je ve skutečnosti prodloužena na celý oddíl, což je způsobeno vlakovým zabezpečovacím zařízením, jeňž předává informaci o znaku na návěstidle přímo na ovládací pult hnacího vozidla v celé délce oddílu
- **l_{01}** – reakční dráha (doba) brzdy (pro výpočet je linearizována na části l_0 a l_1)
- **zábrzdňá dráha** – dráha, kterou kolejové vozidlo ujede od chvíle, kdy strojvedoucí začne brzdít, až do chvíle zastavení
- **skutečňá zábrzdňá dráha** – dráha, při které je kolejové vozidlo plně brzděno (ovlivněna reakční dobou brzdy)

6.1.2. Výkonnost brzd kolejových vozidel

Výkonnost a brzdňá schopnost brzdového systému kolejového vozidla je objektivně vyjádřena zábrzdňou vzdáleností, jeňž je zjištěna za specifikovaných podmínek. Pro daný typ kolejového vozidla je zábrzdňá dráha zjištěna výpočtem, a následně ověřena provozní brzdovou zkouškou dle vyhlášky UIC 544-1, jeňže v každodenním železničním provozu, je potřeba účinek brzd vyjádřit jednoduchým a jednoznačným způsobem pro celou vlakovou soupravu, jeňž je náhodně sestavena z jednotlivých vozidel s různým stavem zatížení. Z tohoto důvodu je brzdící účinek kolejového vozidla vyjádřen jako brzdící hmotnost vozidla B . Odvozeným bezrozměrným parametrem, jeňž zohledňuje hmotnost kolejového vozidla M_v , je brzdící procento λ . [12] [14] [16]

$$\lambda = \frac{B}{M_V} \cdot 100 [\%] \quad (6.1.2.1)$$

- λ – brzdící procento [%]
- B – brzdící hmotnost vozidla [t]
- M_V – hmotnost vozidla [t]

Provozní brzdou zkouškou se určuje skutečná zábrzdá dráha s_R zkušebního kolejového vozidla při rychločinném brzdění, ze všech stanovených počátečních rychlostí. Následně je empirickými digramy, jež jsou deklarovány ve vyhlášce UIC 544-1, případně matematickým vyjádřením, stanovena hodnota brzdícího procenta λ . [12] [16]

Provozní brzdá zkouška je prováděna buď s jednotlivými vozidly, nebo se soupravou vozů (zkušebním vlakem), která má předepsanou délku a je složena z identických vozidel. Při zkoušce se zkušebním vlakem je do hmotnosti vlaku také započítávána i hmotnost hnacího vozu a její brzdny účinek. [16]

Vztah pro stanovení brzdícího procenta vozidel:

$$\lambda = \frac{C}{s_B} - D [\%] \quad (6.1.2.2)$$

- s_B – zábrzdá dráha [m]
- C, D – koeficienty pro jednotlivé stanovené počáteční rychlosti a postupy zkoušek

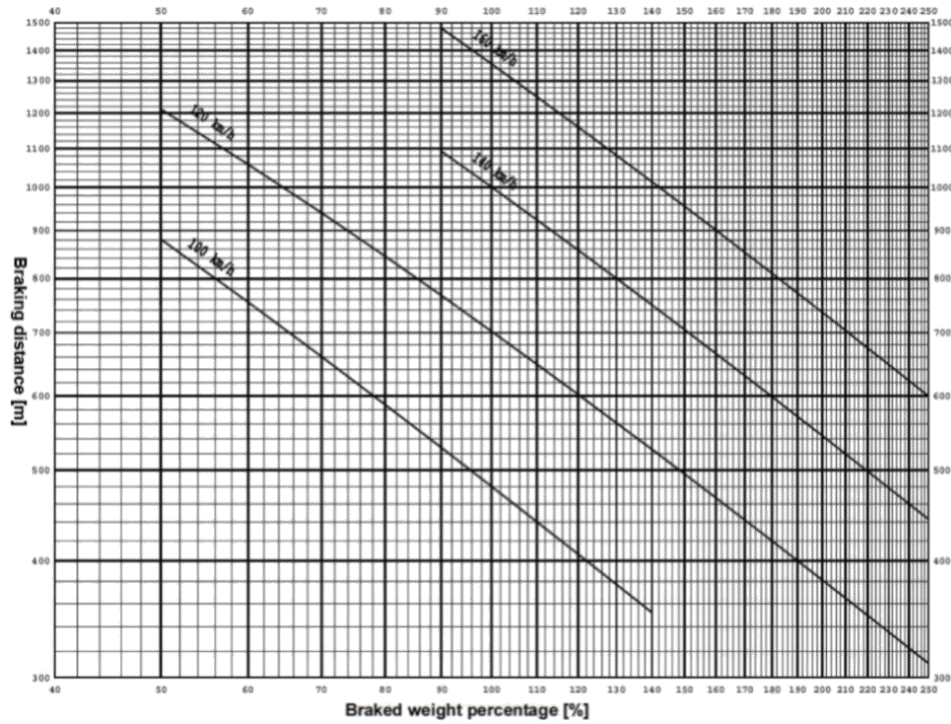
rychlost [km/h]	Zkoušky s jednotlivými vozy		Zkoušky se zkušebním vlakem	
	C	D	C	D
100	52 840	10	61 300	8,9
120	83 634	19	91 633	11,6
140	119 179	19	130 995	11,6
150			152 640	11,6
160	161 280	19	176 714	11,6
180			228 219	11,6
200			267 620	11,6

Tab. 7: Koeficienty C a D pro počáteční rychlosti při provozní brzdě zkoušce [12] [16]

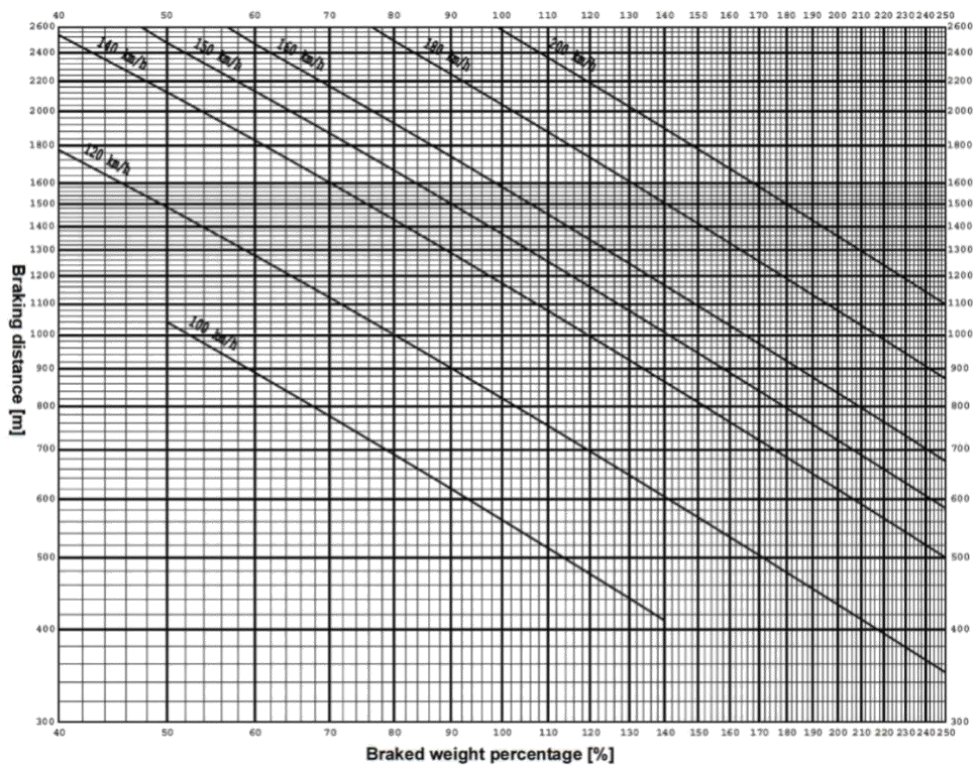
Poté se brzdící hmotnost vozidla B vypočte dle vztahu:

$$B = \lambda \cdot M_V \cdot \frac{1}{100} [t] \quad (6.1.2.3)$$

- B – brzdící hmotnost vozidla [t]
- λ – brzdící procento [%]
- M_V – hmotnost vozidla [t]



Obr. 39: Diagram pro stanovení brzdového procenta z provozní brzdě zkoušky pro jednotlivá vozidla [12]



Obr. 40: Diagram pro stanovení brzdového procenta z provozní brzdě zkoušky se zkušebním vlakem [12]

6.1.3. Požadavky na brzdou výkonost vozidel do 200 km/h

Pro kolejová vozidla, pohybující se v mezinárodním provozu, je základním požadavkem velikost brzdícího procenta, jenž je stanovena mezinárodní právní úpravou, mj. TSI. [12] [16]

Osobní vozy v režimu P:

- prázdný vůz: $\lambda_{\min} = 105 \%$
- ložený vůz: $\lambda_{\min} = 100 \%$
- $\lambda > 125 \%$: vozidla musí být vybavena zařízením pro omezení brzdné síly podle hmotnosti vozidla
- $\lambda_{\max} = 150 \%$

Vozy v režimu R:

- prázdný vůz: $\lambda_{\min} = 150 \%$
- ložený vůz: $\lambda_{\min} = 135 \%$
- $\lambda_{\max} = 170 \%$

Vozy v režimu R+Mg:

- $\lambda_{\min} = 208 \%$

6.2. Technické parametry osobního vozu do 200 km/h

Technické parametry osobního kolejového vozu pro rychlost do 200 km/h jsou popsány v následující souhrnné tabulce (viz Tab. 8). Souhrnná tabulka obsahuje nejen parametry brzd osobního vozu, ale také parametry osobního kolejového vozu a železniční tratě.

Hmotnost vozu	prázdný	m_0	50 t
	ložený	m_v	56 t
Maximální rychlost		v_{\max}	200 km/h
Průměr kola	nové	D_0	920 mm
	opotřeбенé	D_1	860 mm
Brzdové kotouče	počet na vůz	n_K	12 ks
	průměr	d	610 mm
	střední třecí poloměr	$r_{BKstř}$	233 mm
Brzdové obložení	plocha	S_{BO}	2x175 cm ²
	součinitel tření	f_B	0,35
Brzdové jednotky	účinnost	η	0,94
	Celková délka ramen	l_p	343 mm
Součinitel rotujících hmot		δ	1,05
Měrný jízdní odpor		w	0,01
Plnicí doba brzdových válců		t_{BV}	4 s
Přítlak jedné Mg brzdy		p_{PMg}	84 kN

Tab. 8: Technické parametry osobního kolejového vozu pro rychlost do 200 km/h [12]

6.3. Výpočet základních parametrů brzdy

Při brzdění osobního kolejového vozu, je výše brzdícího účinku adhezních brzd omezena součinitelem adheze ve styku mezi kolem dvojkolí a kolejnicí, což může mít za následek, při rychločinném zabrzdění osobního vozu, smýkání dvojkolí po kolejnici (viz kapitola 4.1.1.5.). Tomuto smýkání dvojkolí je zamezeno použitím protismykového zařízení, čímž je docíleno tzv. brzdění pod mezí adheze. Z tohoto důvodu je nutné při výpočtu celkové brzděné hmotnosti vozu uvažovat hmotnost rotujících součástí, jimiž jsou například dvojkolí nebo brzdové kotouče vozu. Toho lze docílit uvažováním součinitele rotačních hmot δ , díky čemuž lze zjistit redukovanou hmotnost vozu m_{red} , jenž zahrnuje hmotnost rotačních i nerotačních hmot.

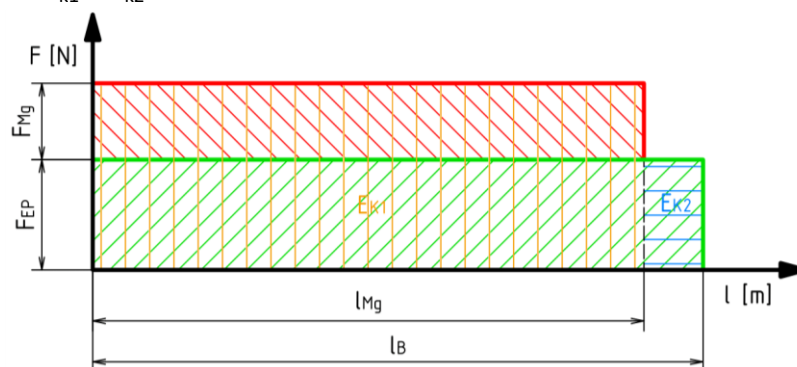
$$m_{red} = m_v \cdot \delta = 56 \cdot 10^3 \cdot 1,05 = 58\,800 \text{ kg} \quad (6.3.1)$$

Následně je možné stanovit celkovou kinetickou energii osobního vozu E_k , kterou pohybující se osobní vůz maximální provozní rychlostí $v_2 = v_{max} = 200 \text{ km/h}$ disponuje, a kterou je nutno při požadovaném rychločinném zabrzdění vozu odebrat ($v_1 = 0 \text{ km/h}$).

$$E_k = \int_{v_1}^{v_2} p \cdot dv = \int_{v_1}^{v_2} m_{red} \cdot v \cdot dv = \frac{1}{2} \cdot m_{red} \cdot (v_2^2 - v_1^2) \quad (6.3.2)$$

Při rychločinném zabrzdění z maximální provozní rychlosti $v_{max} = 200 \text{ km/h}$, je osobní vůz nejprve brzděn adhezní kotoučovou brzdou (pneumatickou brzdou) a zároveň neadhezní elektromagnetickou kolejnicovou brzdou, až do rychlosti $v_{ad} = 50 \text{ km/h}$. Poté je osobní vůz dobrzděn pouze adhezní kotoučovou brzdou (viz Obr. 41).

Z tohoto důvodu je celková kinetická energie osobního vozu E_k rozdělena do dvou fází brzdění osobního vozu na E_{k1} a E_{k2} .



Obr. 41: Průběh brzdících sil při brzdění osobního vozu

V 1. fázi brzdění, kdy je zapotřebí odebrat 1. část kinetické energie osobního vozu E_{k1} , je brzděno současně pneumatickou a elektromagnetickou kolejnicovou brzdou, v rozsahu rychlosti vozu od $v_{max} = 200 \text{ km/h}$ do $v_{ad} = 50 \text{ km/h}$ na zábrzděné dráze l_{Mg} .

$$E_{k1} = \frac{1}{2} \cdot m_{red} \cdot (v_{max}^2 - v_{ad}^2) \quad (6.3.3)$$

$$E_{k1} = \frac{1}{2} \cdot 58800 \cdot \left(\left(\frac{200}{3,6} \right)^2 - \left(\frac{50}{3,6} \right)^2 \right) = 85\,069\,444 \text{ J}$$

Poté je v 2. fázi brzdění odebrána zbývající část celkové kinetické energie osobního vozu E_{k2} , kdy je vůz brzděn pouze pneumatickou brzdou, z rychlosti $v_{ad} = 50$ km/h do zastavení na zábrzdne dráze l_{ad} .

$$E_{k2} = \frac{1}{2} \cdot m_{red} \cdot (v_{ad}^2 - 0) = \frac{1}{2} \cdot 58800 \cdot \left(\frac{50}{3,6}\right)^2 = 5\,671\,292 \text{ J} \quad (6.3.4)$$

6.4. Výpočet zábrzdne dráhy

Maximální dovolená zábrzdne vzdálenost pro osobní kolejový vůz, z maximální provozní rychlosti 200 km/h, je předepsána brzdícím procentem $\lambda_{min} \geq 208$ % (viz (6.1.2.3)), jenž je dle vyhlášky UIC 544-1 přepočteno matematickým vyjádřením (viz (6.1.2.2)) na zábrzdne dráhu osobního vozu l_{UIC} . Koeficienty C a D jsou pro výpočet zábrzdne dráhy určeny dle Tab. 7, jenž jsou stanoveny z provozní brzdne zkoušky pro zkušební vlak.

Důvodem použití těchto koeficientů, je že vyhláška UIC 544-1 neuvádí jejich hodnotu při rychlosti vozidla 200 km/h pro provozní brzdne zkoušku pro jednotlivá vozidla, proto je předpokládán provoz osobního vozu, jako součást uceleného vlaku, kdy je souprava vozů zpravidla nedělitelná a při provozu nedochází k žádné manipulaci s vozy.

$$l_{UIC} = \frac{C}{\lambda_{min} + D} = \frac{267620}{208 + 11,6} = 1218,7 \text{ m} \quad (6.4.1)$$

Skutečná zábrzdne vzdálenost osobního vozu l_B , jenž je zkrácena o reakční dobu brzdy t_{BV} , kdy prodleva účinkování brzdy je způsobena plnicí dobou brzdové válce $t_{BV} = 4$ s, která je pro zjednodušení výpočtu rozdělena na dvě části, kdy se 2 sekundy nebrzdí vůbec, a poté se 2 sekundy brzdí plným tlakem vzduchu v brzdových válcích (viz Obr. 38.)

$$l_B = l_{UIC} - v \cdot \frac{t_{BV}}{2} = 1218,7 - \frac{200}{3,6} \cdot \frac{4}{2} = 1107,6 \text{ m} \quad (6.4.2)$$

6.5. Výpočet potřebné brzdne síly

Celkovou brzdne sílu F_B potřebnou pro zastavení osobního vozu, je možné zjistit z brzdne práce vozu A_B , kterou je možno položit rovno celkové kinetické energii osobního vozu E_k , kdy je brzdne práce A_B definována, jako celková brzdne síla F_B působící po určité brzdne dráze s_B .

$$E_k = A_B = \int_{l_1}^{l_2} F_B \cdot ds_B = F_B \cdot (l_1 - l_2) \quad (6.5.1)$$

Jenže z důvodu dvoufázového brzdění (viz (6.3.3) a (6.3.4)), je velikost potřebné brzdne síly pro každou fázi odlišná. Proto je hledaná brzdne síla F_{B1} pro 1. fázi brzdění definována jako celková brzdne síla F_B , což je suma jízdního odporu osobního vozu O_v a brzdících sil pneumatické brzdy F_P a elektromagnetické kolejnicové brzdy F_{Mg} .

$$F_{B1} = F_B = F_P + F_{Mg} + O_v \quad (6.5.2)$$

Výsledná brzdná práce A_{B1} pro 1. fázi brzdění osobního vozu je vyjádřena celkovou brzdou silou F_B na zábrzdě dráze l_{Mg} .

$$E_{k1} = A_{B1} = F_{B1} \cdot l_{Mg} = F_B \cdot l_{Mg} \quad (6.5.3)$$

Namísto toho hledaná brzdná síla F_{B2} pro 2. fázi brzdění, je ponížena o brzdou sílu elektromagnetické kolejnicové brzdy F_{Mg} , oproti předešlé brzdě síle F_{B1} , z důvodu brzdění osobního vozu pouze pneumatickou brzdou F_P .

$$F_{B1} = F_P + O_v = F_B - F_{Mg} \quad (6.5.4)$$

Výsledná brzdá práce pro 2. fázi brzdění osobního vozu je vyjádřena rozdílem celkové brzdě síly F_B a elektromagnetické brzdě síly F_{Mg} na zábrzdě dráze l_{ad} , jenž je rozdílem celkové zábrzdě vzdálenosti l_B a zábrzdě dráhy z 1. fáze brzdění l_{Mg} .

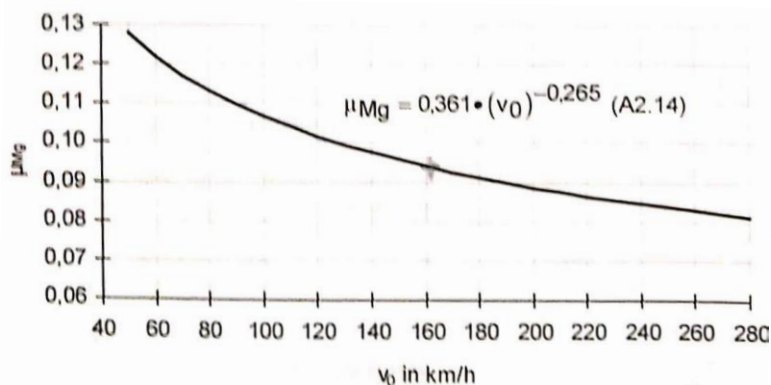
$$E_{k2} = A_{B2} = F_{B2} \cdot (l_B - l_{Mg}) = (F_B - F_{Mg}) \cdot (l_B - l_{Mg}) \quad (6.5.5)$$

Před samotným řešením kompletního popisu průběhu brzdění osobního vozu, jenž je popsán rovnicemi (6.5.3) a (6.5.5), musíme nejprve stanovit hodnotu odporu osobní vozu O_v a brzdě síly elektromagnetické kolejnicové brzdy F_{Mg} .

Hledaný jízdní odpor osobní vozu O_v je zjednodušený výpočet jízdního odporu vozu, jenž se obecně skládá z více složek (odpor z valení, odpor z ložisek a odpor vzduchu), kdy některé složky jsou konstantní, nebo závislé na rychlosti (lineárně, nebo kvadraticky).

$$O_v = w \cdot m_v \cdot g = 0,01 \cdot 56 \cdot 10^3 \cdot 9,81 = 5\,494\,N \quad (6.5.6)$$

Neadhezní elektromagnetické kolejnicové brzdy osobního vozu, jsou používány pouze při rychločinném brzdění vozu, kdy rychlost osobního vozu je vyšší než 50 km/h a tlak vzduchu v hlavním brzdovém potrubí je nižší než 3 bary. Brzdové trámce jsou následně spuštěny na kolejnice spouštěcími válci, tlakem vzduchu p_{PMg} , kdy je střední součinitel tření elektromagnetické kolejnicové brzdy určen podle počáteční brzdě rychlosti osobního vozu (viz Obr. 42).



Obr. 42: Střední součinitel tření Mg brzdy [17]

$$\mu_{PMg-200} = 0,361 \cdot v_{max}^{-0,265} = 0,361 \cdot 200^{-0,265} = 0,089 \quad (6.5.7)$$

Celková brzdná síla elektromagnetické kolejnicové brzdy F_{Mg} je vyvozena celkem čtyřmi brzdovými trámci, kdy každá elektromagnetická kolejnicová brzda je vybavena dvěma brzdovými trámci.

$$F_{Mg} = \mu_{PMg-200} \cdot p_{PMg} \cdot n_{Mg} = 0,089 \cdot 84 \cdot 10^3 \cdot 4 = 29\,904\, N \quad (6.5.8)$$

Kompletní popis průběhu brzdění osobního vozu, jenž je popsán rovnicemi (6.5.3) a (6.5.5), obsahuje nejen neznámou hodnotu celkové brzdné síly F_B , ale i zábrzdě dráhy s elektromagnetickou kolejnicovou brzdou l_{Mg} (zábrzdě dráha 1. fáze brzdění). Proto z rovnice (6.5.3), pro 1. fázi brzdění, vyjádříme brzdnu dráhu l_{Mg} .

$$l_{Mg} = \frac{E_{K1}}{F_B} \quad (6.5.9)$$

Kterou následně dosadíme do rovnice (6.5.5) pro 2. fázi brzdění osobního vozu.

$$E_{K2} = (F_B - F_{Mg}) \cdot (l_B - l_{Mg}) = (F_B - F_{Mg}) \cdot \left(l_B - \frac{E_{K1}}{F_B} \right) \quad (6.5.10)$$

Výslednou rovnici (6.5.10) upravíme do tvaru kvadratické rovnice (6.5.11) pro výpočet celkové brzdné síly F_B .

$$\bar{a} \cdot F_B^2 + \bar{b} \cdot F_B + \bar{c} = 0 \quad (6.5.11)$$

Výsledná rovnice (6.5.10) ve tvaru kvadratické rovnice (6.5.11) s určenými koeficienty $(\bar{a}, \bar{b}, \bar{c})$.

$$l_B \cdot F_B^2 + (E_{K1} + E_{K2} + F_{Mg} \cdot l_B) \cdot F_B + F_{Mg} \cdot E_{K1} = 0 \quad (6.5.12)$$

Vypočtené konstanty $(\bar{a}, \bar{b}, \bar{c})$ kvadratické rovnice (6.5.12) dosadíme do rovnice (6.5.16) pro výpočet kořenů kvadratické rovnice F_{B_I} (6.5.17) a $F_{B_{II}}$ (6.5.18).

$$\bar{a} = l_B = 1107,6 \quad (6.5.13)$$

$$\begin{aligned} \bar{b} &= (E_{K1} + E_{K2} + F_{Mg} \cdot l_B) \\ \bar{b} &= (85069444 + 5671292 + 29904 \cdot 1107,6) = -123\,862\,079 \end{aligned} \quad (6.5.14)$$

$$\bar{c} = F_{Mg} \cdot E_{K1} = 29904 \cdot 85069444 = 2\,543\,916\,666\,667 \quad (6.5.15)$$

$$F_{B_{I,II}} = \frac{-\bar{b} \pm \sqrt{\bar{b}^2 - 4 \cdot \bar{a} \cdot \bar{c}}}{2 \cdot \bar{a}} \quad (6.5.16)$$

$$F_{B_I} = 84\,720\, N \quad (6.5.17)$$

$$F_{B_{II}} = 27\,111\, N \quad (6.5.18)$$

Výsledná hledaná celková brzdná síla F_B je rovna hodnotě kořenu F_{B_I} kvadratické rovnice (6.5.12), protože hodnota kořenu $F_{B_{II}}$ je menší než součet odporu osobní vozu O_v a brzdné síly elektromagnetické kolejnicové brzdy F_{Mg} , čímž by dle rovnice (6.5.2) vycházela brzdná síla pneumatické brzdy F_P záporně.

$$F_{B_I} = F_B = 84\,720\text{ N} \quad (6.5.19)$$

Poslední neznámou složkou celkové brzdné síly F_B je hledaná brzdná síla pneumatické brzdy F_P , jenž je vyjádřena dle rovnice (6.5.2).

$$F_P = F_B - F_{Mg} - O_v = 84\,720 - 29\,904 - 5\,494 = 49\,322\text{ N} \quad (6.5.20)$$

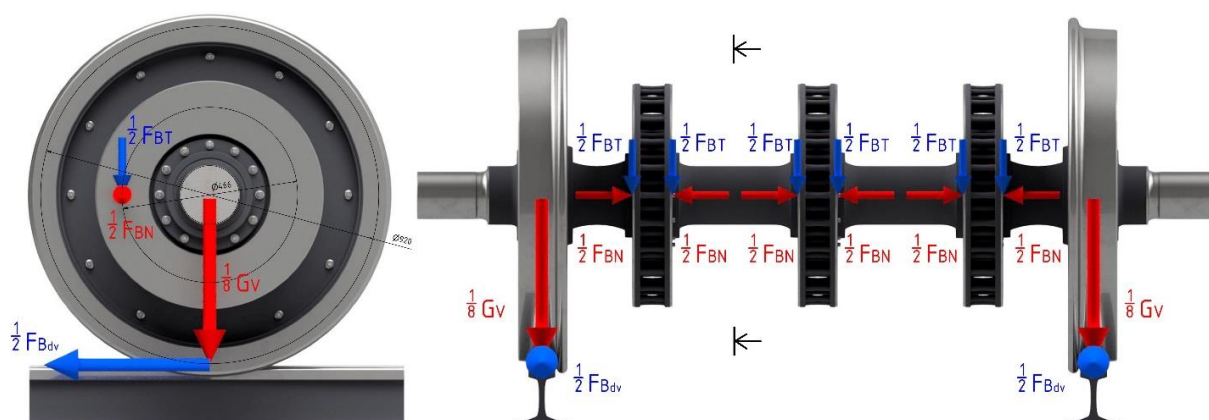
6.6. Kontrola součinitele meze adheze

Jak již bylo zmíněno dříve, při brzdění osobního vozu nesmí dojít ke smyku dvojkolí po kolejnici, jenž nastane, pokud je překročena mez adheze. Z tohoto důvodu se zjišťuje požadovaný součinitel meze adheze μ_B , který je pro brzdění osobního vozu stanoven na $\mu = 0,15$.

$$\mu_B = \frac{F_P}{G_v} = \frac{F_P}{m_v \cdot g} = \frac{49\,322}{56 \cdot 10^3 \cdot 9,81} = 0,09 \quad (6.6.1)$$

$$\mu_B = 0,09 < \mu = 0,15 \quad (6.6.2)$$

6.7. Rozbor silových účinků při brzdění kotoučovou brzdou



Obr. 43: Rozbor silových účinků působících při brzdění kotoučovou brzdou na dvojkolí

- G_v – tíhová síla vozu [N]
 - F_{Bdv} – brzdná síla na dvojkolí [N]
 - F_{BN} – normálová brzdná síla [N]
 - F_{BT} – tečná brzdná síla [N]
-
- $d_k = 920\text{ mm}$ – průměr kola dvojkolí [mm]
 - $d_{BKstř} = 466\text{ mm}$ – Střední třecí průměr kotoučové brzdy [mm]

6.8. Výpočet sil působících na brzdový kotouč a dvojkolí

Výsledná celková brzdná síla F_P , jenž je vyvozena pneumatickou brzdou, je rovnoměrně rozdělena na čtyři dvojkolí osobního vozu F_{Bdv} , a následně přepočtena na brzdný moment dvojkolí M_{Bdv} , který je dán součinem brzdné síly F_{Bdv} a poloměrem kola dvojkolí $r_K = d_K/2$.

$$M_{Bdv} = F_{Bdv} \cdot \frac{d_K}{2} = \frac{F_P}{4} \cdot \frac{d_K}{2} = \frac{49322}{4} \cdot \frac{0,92}{2} = 5\,672 \text{ Nm} \quad (6.8.1)$$

Každé dvojkolí vozu je brzděno třemi brzdovými jednotkami kotoučové brzdy DAKO, díky čemuž je brzdý moment dvojkolí M_{Bdv} rovnoměrně rozdělen na tři brzdové kotouče KOVIS OZ610/110 jako brzdý moment na kotouč M_{B1} .

$$M_{B1} = \frac{M_{Bdv}}{n_{Kdv}} = \frac{5672}{3} = 1\,891 \text{ Nm} \quad (6.8.2)$$

Brzdý moment kotouče M_{B1} je přepočten na dvojici tečných sil F_{BT} na středním třecím poloměru kotoučové brzdy $r_{BKstř}$, jenž je vyvozena přitlačováním brzdových čelistí na brzdový kotouč normálovou silou F_{BN} .

$$F_{BT} = \frac{M_{B1}}{r_{BKstř}} \quad (6.8.3)$$

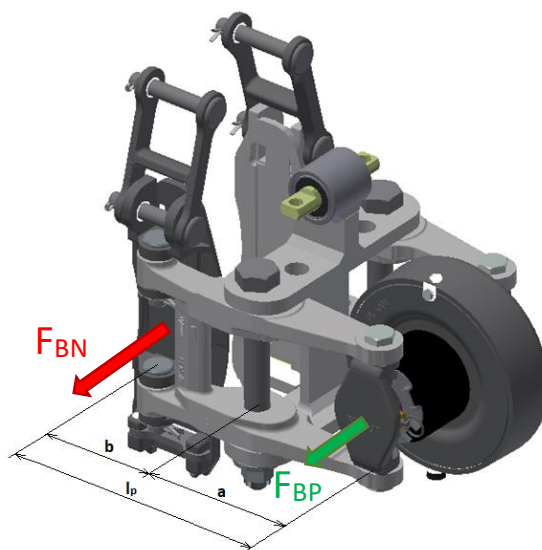
Přitlačováním dvojicí brzdových čelistí ($i_{Bč} = 2$) na brzdový kotouč normálovou silou F_{BN} , je vyvozen třecí brzdý moment M_{B1} , který je dán součinem tečné síly F_{BT} a středního třecího poloměru $r_{BKstř} = 233 \text{ mm}$.

$$F_{BT} = F_{BN} \cdot f_B \cdot i_{Bč} = \frac{M_{B1}}{r_{BKstř}} \quad (6.8.4)$$

$$F_{BN} = \frac{M_{B1}}{r_{BKstř} \cdot f_B \cdot i_B} = \frac{1891}{0,233 \cdot 0,35 \cdot 2} = 11\,594 \text{ N} \quad (6.8.5)$$

6.9. Výpočet převodu pákové brzdových jednotek

Síla tlakového vzduchu F_{BP} , která působí na ramena brzdové jednotky kotoučové brzdy, je pomocí mechanismu s dvojicí pák přenášena na brzdové čelisti, jenž je vyjádřena z momentové rovnice rovnováhy.



Obr. 44: Rozbor silových účinků působících při brzdění na brzdovou jednotku kotoučové brzdy [12]

$$F_{BN} \cdot b - F_{BP} \cdot a = 0 \quad (6.9.1)$$

Výsledný přítlak na čelisti F_{BN} je přepočten převodem pákové i_P brzdové jednotky DAKO ze síly tlakového vzduchu na píst brzdového válce F_{BP} . Zároveň je zahrnuta účinnost převodu brzdové jednotky, jenž je stanovena výrobcem na $\eta = 0,94$, čímž je síla na píst F_{BP} přepočtena na skutečnou brzdou sílu na píst F_{BPskut} .

$$F_{BN} = \frac{F_{BP} \cdot a}{b} = F_{BP} \cdot i_P = F_{BPskut} \cdot \eta \cdot i_P \quad (6.9.2)$$

Výsledná pracovní síla pístu F_{BPskut} je zvýšena o sílu od vratné pružiny v brzdovém válci, která je tlakem vzduchu p_{BV} při brzdění osobního vozu překonávána.

$$p_{BV} \cdot S_V = F_{BPskut} + F_F \quad (6.9.3)$$

Činná plocha válce brzdové jednotky kotoučové brzdy DAKO je $S_V = 3,243 \text{ dm}^2$ a maximální pracovní přetlak vzduchu v brzdovém válci je $p_{BV} = 3,8 \text{ bar} = 0,38 \text{ MPa}$.

$$F_{BPskut} = p_{BV} \cdot S_V - F_F = 0,38 \cdot 3,243 \cdot 10^4 - 1300 = 11\,023 \text{ N} \quad (6.9.4)$$

Výsledná hodnota převodu pákovi i_p musí být taková, aby při vyvození maximálního pracovního přetlaku v brzdovém válci $F_{BP_{skut}}$ jednotky kotoučové brzdy, při rychločinném brzdění osobního vozu, docílilo požadovaného přitlaku na čelisti F_{BN} .

$$i_p = \frac{F_{BN}}{F_{BP_{skut}} \cdot \eta} = \frac{11594}{11023 \cdot 0,94} = 1,119 \quad (6.9.5)$$

Volba vzdálenosti ramene brzdové jednotky k brzdové čelisti „a“ a k brzdovému válci „b“, je omezena celkovou délkou ramene $l_p = 343$ mm.

$$i_p = \frac{a}{b} = \frac{l_p - b}{b} = \frac{l_p}{b} - 1 \quad (6.9.6)$$

$$b = \frac{l_p}{i_p + 1} = \frac{343}{1,119 + 1} = 162 \text{ mm} \quad (6.9.7)$$

$$a = l_p - b = 343 - 162 = 181 \text{ mm} \quad (6.9.8)$$

Výsledná délka ramene brzdové jednotky k brzdové čelisti je $a = 181$ mm a délka ramene k brzdovému válci je $b = 161$ mm.

7. Kontrola brzdy

Daný kontrolní výpočet je proveden dle postupu společnosti DAKO-CZ, jenž vychází z metod stanovených vyhláškou UIC 544-1. Veškeré technické parametry osobního kolejového vozu jsou již popsány dle souhrnné tabulky Tab. 8 (viz kapitola 6.2) a stanoveny v předešlé kapitole (viz kapitola 6).

Při kontrolním výpočtu je vycházeno z maximálního provozního tlaku v brzdové válci pro jednotlivé brzdící režimy vozu, kdy následně je stanovena celková brzdná síla, a její jednotlivé složky. Následně je provedena kontrola hodnoty požadovaných brzdících procent a konečné stanovení brzdící váhy B osobního vozu, pro jednotlivé rychlosti v různých režimech brzdění. Kontrolní výpočet bude ukázkově proveden pouze pro rychlost $v = 200 \text{ km/h}$ v brzdícím režimu vozu R + Mg. Dále je analogicky proveden výpočet i pro ostatní rychlosti a brzdící režimy. Výsledky jsou uvedeny v příložených protokolech (příloha 1 a 2), kde jsou uvedeny veškeré vstupní i výstupní parametry kontrolního výpočtu.

Efektivní síla na píst

Maximální vyvozená síla tlakového vzduchu na píst $F_t = F_{BPskut}$ při působení maximálního přetlaku v brzdovém válci (viz (6.9.3)).

$$F_t = p_{BV_{max}} \cdot S_V - F_F = 0,38 \cdot 3,243 \cdot 10^4 - 1300 = 11\,023 \text{ N} \quad (7.1)$$

Přítlak na čelisti

Maximální vyvozená síla F_{dyn} na brzdové čelisti kotoučové brzdy, jenž je vyvozena přes ramena brzdové jednotky kotoučové brzdy, pomocí mechanismu pákové (viz (6.9.2)).

$$F_{dyn} = F_t \cdot \eta \cdot i_p = F_t \cdot \eta \cdot \frac{a}{b} = 11023 \cdot 0,94 \cdot \frac{181}{162} = 11\,577 \text{ N} \quad (7.2)$$

Měrný tlak na čelist

Velikost tlaku, kterým je brzdové obložení přitlačováno na brzdový kotouč.

$$p_{B\check{c}} = \frac{F_{dyn}}{2 \cdot S_{BO}} = \frac{11577}{2 \cdot 175} = 33,1 \text{ N/cm}^2 \quad (7.3)$$

Celkový přítlak

Celková maximální brzdná síla ΣF_{dyn} , která je vyvozena působením přítlaku na čelist F_{dyn} pomocí všech dvanácti brzdových jednotek kotoučové brzdy na osobním kolejovém voze.

$$\sum F_{dyn} = 2 \cdot F_{dyn} \cdot n_K = 2 \cdot 11577 \cdot 12 = 277\,848 \text{ N} \quad (7.4)$$

Jízdní odpor vozu

Jízdní odpor osobní vozu O_v je zjednodušený výpočet jízdního odporu vozu, jenž se obecně skládá z více složek (odpor z valení, odpor z ložisek a odpor vzduchu) (viz (6.5.6)).

$$O_v = w \cdot m_v \cdot g = 0,01 \cdot 56 \cdot 10^3 \cdot 9,81 = 5\,494 \text{ N} \quad (7.5)$$

Brzdná síla elektromagnetické brzdy

Neadhezní elektromagnetická kolejnicová brzda vytváří, při rychločinném brzdění vozu, brzdou sílu F_{Mg} , jenž je vyvozena všemi brzdovými trámci na osobní voze (viz (6.5.8)).

$$F_{Mg} = \mu_{PMg-200} \cdot p_{PMg} \cdot n_{Mg} = 0,089 \cdot 84 \cdot 10^3 \cdot 4 = 29\,904\,N \quad (7.6)$$

Celkový jízdní odpor

Celková brzdná síla F_j , která vytváří celkový brzdový účinek, zahrnuje jízdní odpor osobní vozu O_v , brzdnou sílu adhezní brzdy ΣF_{dyn} , jenž je přepočtena z brzdových kotoučů na kola dvojkolí a brzdnou sílu od elektromagnetické kolejnicové brzdy F_{Mg} (viz (6.5.2)).

$$F_j = \frac{\sum F_{dyn} \cdot \mu \cdot d_{BKstř}}{D_{BK}} + O_v + F_{Mg} \quad (7.7)$$

$$F_j = \frac{277848 \cdot 0,35 \cdot 466}{920} + 5494 + 29904 = 84\,656\,N = 84,656\,kN \quad (7.8)$$

Teoretická zábrzdná dráha

Zábrzdná dráha osobního vozu l_t , kterou vůz potřebuje při brzdění maximální brzdnou silou F_j .

$$l_t = \frac{m_v \cdot \delta \cdot v^2}{2 \cdot F_j} = \frac{56 \cdot 1,05 \cdot \left(\frac{200}{3,6}\right)^2}{2 \cdot 84,656} = 1\,072\,m \quad (7.9)$$

Skutečná zábrzdná dráha

Zábrzdná dráha osobního vozu l_r je prodloužena o vzdálenost, kterou osobní vůz urazí, než dojde k reakci brzdy osobního vozu.

$$l_r = l_t + v \cdot \frac{t_{BV}}{2} = 1072 + \frac{200}{3,6} \cdot \frac{4}{2} = 1\,183\,m \quad (7.10)$$

Brzdící procento

Výsledná maximální hodnota brzdícího procenta při brzdění z provozní rychlosti $v = 200\,km/h$ pro stanovený brzdící režim R + Mg. Požadovaná hodnota brzdícího procenta je dle vyhlášky splněna pro provozní rychlost v daném brzděném režimu.

$$\lambda_B = \frac{C}{l_r} - D = \frac{267620}{1183} - 11,6 = 215\% \quad (7.11)$$

$$\lambda_B = 215\% > \lambda_{min} \geq 208\% \quad (7.12)$$

Brzdící váha

Brzdící hmotnost vozidla B je vyjádřena odvozením z bezrozměrného parametru, vzhledem ke hmotnosti kolejového vozidla m_v .

$$B = m_v \cdot \frac{\lambda_B}{100} = 56 \cdot \frac{215}{100} = 120 \text{ t} \quad (7.13)$$

Zpomalení vozu

Brzdové zpomalení osobního kolejového vozu a_v za stanovený rychlostní interval.

$$l_r = \frac{1}{2} \cdot a_v \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot a_v \cdot \left(\frac{v_2 - v_1}{a_v} \right)^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{(v_2 - v_1)^2}{a_v} \quad (7.14)$$

$$a_v = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0 - v_{max})^2}{l_r} = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_{max}^2}{l_r} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\left(\frac{200}{3,6} \right)^2}{1183} = 1,304 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Výsledná kontrola hodnoty požadovaných brzdících procent λ , při brzdění osobního kolejového vozu z provozní rychlosti $v = 200 \text{ km/h}$, a v brzdícím režimu R + Mg, vyhovuje předepsaným požadavkům.

Při kontrole pro ostatní rychlosti a brzdící režimy bylo zjištěno, že v některých případech není navržený převod pákovi vyhovující (viz Tab. 9 a příloha 1). Z tohoto důvodu je převod pákovi brzdových jednotek kotoučové brzdy upraven na $i_p = 1,450$ (viz Tab. 10 a příloha 2).

Režim		P			R				R + Mg			
Rychlost	v	100	120	100	120	140	160	120	140	160	200	km/h
Hmotnost vozu	m	50	50	56	50	50	50	56	56	56	56	t
Brzdící procento	λ	89	92	81	119	128	135	107	184	194	215	%
Požadavek UIC		105-125		≥ 100	150-170			≥ 135	≥ 208			%

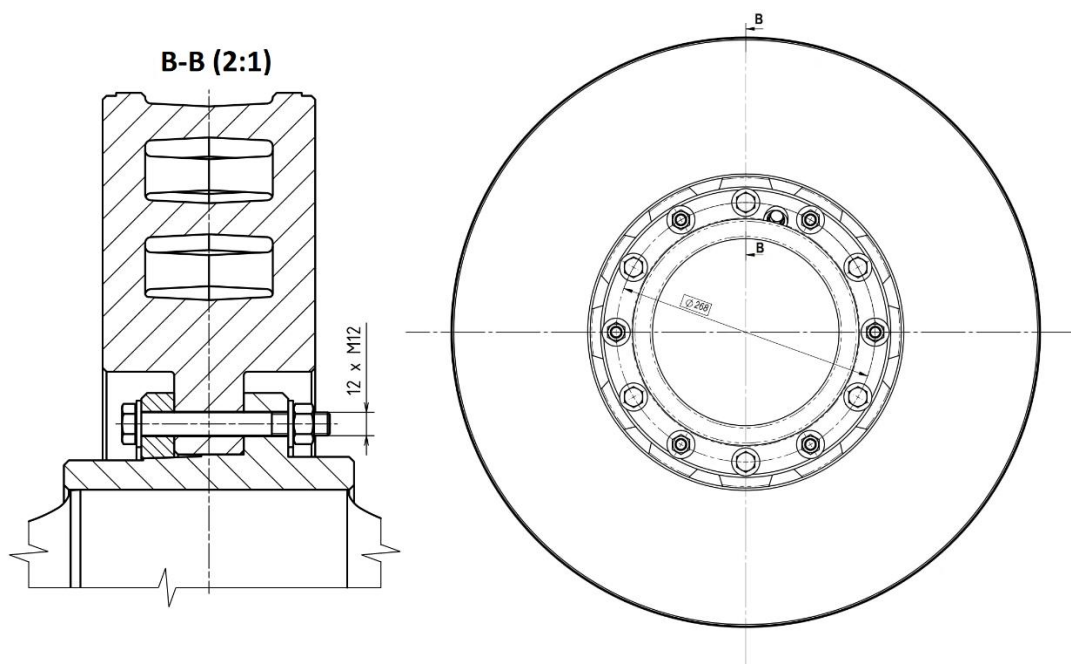
Tab. 9: Výsledné hodnoty brzdícího procenta kontroly brzdy ($i_p = 1,117$)

Režim		P			R				R + Mg			
Rychlost	v	100	120	100	120	140	160	120	140	160	200	km/h
Hmotnost vozu	m	50	50	56	50	50	50	56	56	56	56	t
Brzdící procento	λ	112	118	102	152	163	172	137	213	225	250	%
Požadavek UIC		105-125		≥ 100	150-170			≥ 135	≥ 208			%

Tab. 10: Výsledné hodnoty brzdícího procenta kontroly brzdy ($i_p = 1,450$)

8. Kontrola šroubového spoje brzdového kotouče

Uložení každého brzdové kotouče KOVIS OZ610/110 na dvojkolí kolejového osobního vozu je realizováno pomocí předpjatého svěrného spoje, kde každý brzdový kotouč je spojen s nábojem brzdového kotouče dvanácti šroubovými spoji na poloměru roztečné kružnice $r_{K\zeta}$ (viz Obr. 45).



Obr. 45: Uložení brzdového kotouče KOVIS OZ610/110 [12]

Předpjaté šroubové pole zajišťuje potřebnou silovou vazbu stykových třecích ploch mezi brzdovým kotoučem, nábojem brzdového kotouče a příložkou tak, aby požadované spojení zajistilo přenos brzdného momentu M_{b1} z brzdového kotouče na dvojkolí kolejového osobního vozu. Předpnutí šroubového spoje je zajištěno pomocí utahovacího momentu M_U , jenž vyvolá normálovou sílu $F_{N\zeta}$, která přitlačováním stykových třecích ploch vytváří požadovanou třecí sílu $F_{T\zeta}$ na poloměru roztečné kružnice $r_{K\zeta}$.

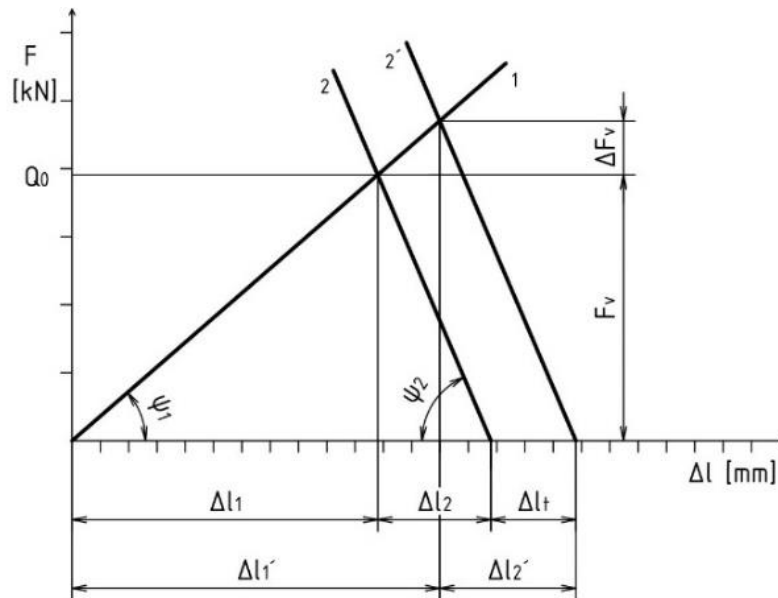
Během provozu kolejového osobního vozu jsou šroubové spoje dále zatěžovány přídatným zatížením ΔF_v , jenž je způsobeno teplotní dilatací brzdového kotouče Δl_T , která je zapříčiněna vznikem tepla při brzdění osobního vozu, obzvláště při rychločinném brzdění.

Pro různé součinitele teplotní roztažnosti, kdy u šroubu α_1 a spojených součástí α_2 bude rozdíl teplotního roztažení Δl_T při ohřevu na stejnou provozní teplotu T z montážní teploty T_0 , je-li $\alpha_1 < \alpha_2$.

$$\Delta l_T = \alpha \cdot l_\zeta \cdot \Delta T = (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot l_\zeta \cdot (T - T_0) \quad (8.1)$$

V případě, že bude mít šroub nižší teplotu o ΔT_ζ než spojené součásti, bude rozdíl teplotního roztažení Δl_T (8.1) upraveno dle (8.2).

$$\Delta l_T = l_\zeta \cdot [(\alpha_1 - \alpha_2) \cdot (T - T_0) + \alpha_1 \cdot \Delta T_\zeta] \quad (8.2)$$



Obr. 46: Diagram předpjatého šroubového spoje

V rámci kontrolního výpočtu šroubového spoje je zahrnuto pouze stanovení požadovaného utahovacího momentu pro šroub M_U a kontrola na statické zatížení, jenž je vzniklé od předpětí šroubů.

Zahrnutí teplotní vlivu při brzdění vozu na předpnutý šroubový spoj, by vyžadovalo konstrukci MKP modelu, což by již vyžadovalo přesáhnutí rámce této práce, a proto nebude teplotní vliv při kontrolním výpočtu uvažován.

8.1. Výpočet parametrů šroubu

Předpjaté šroubové pole je tvořeno dvanácti svěrnými šroubovými spoji se závitem M12, jehož hrubé stoupání závitu je $p_z = 1,75$ mm a pevnostní třída šroubů je 8.8.

Potřebné parametry metrického závitu šroubového spoje pro výpočet požadovaného utahovacího momentu M_U je úhel stoupání závitu γ , na středním průměru závitu d_2 při dané rozteči p_z , a upravený třecí úhel závitu φ' , jenž je vázaný se součinitelem tření f_z mezi závity šroubu a matice, kde vrcholový úhel profilu metrického závitu je $\beta = 60^\circ$.

Úhel stoupání závitu:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma &= \frac{p_z}{\pi \cdot d_2} & (8.1.1) \\ \gamma &= \operatorname{arctg} \left(\frac{p_z}{\pi \cdot d_2} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{1,75}{\pi \cdot 10,026} \right) = 3,18^\circ \end{aligned}$$

Třecí úhel závitu:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi' &= \frac{f_z}{\cos \left(\frac{\beta}{2} \right)} & (8.1.2) \\ \varphi' &= \operatorname{arctg} \left(\frac{f_z}{\cos \left(\frac{\beta}{2} \right)} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{0,14}{\cos 30} \right) = 9,182^\circ \end{aligned}$$

8.2. Výpočet sil působících na šrouby

Požadované spojení předpjatým šroubovým spojem musí zajistit přenos brzdného momentu M_{b1} z brzdového kotouče na dvojkolí kolejového osobního vozu, jenž je vyvozen přítlakem na čelisti F_{dyn} při rychločinném brzdění osobního vozu (viz (6.8.4) a (7.2)).

Převod pákovi jednotky kotoučové brzdy je použito dle kontroly brzdy (viz kapitola 7), kde byl převod upraven na $i_p = 1,450$ ($a = 203$ mm, $b = 140$ mm).

$$\begin{aligned} M_{B_1} &= F_{dyn} \cdot f_B \cdot i_{B\check{C}} \cdot r_{BK_{st\check{r}}} = F_t \cdot \eta \cdot i_p \cdot f_B \cdot i_{B\check{C}} \cdot r_{BK_{st\check{r}}} \\ M_{B_1} &= 11023 \cdot 0,94 \cdot 1,450 \cdot 0,35 \cdot 2 \cdot 0,233 = 2\,450 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (8.2.1)$$

Brzdný moment kotouče M_{B_1} je rovnoměrně rozdělen na dvanáct šroubových spojů, a přečten na tečnou třecí sílu jednoho šroubu $F_{\check{S}T}$ na poloměru roztečné kružnice $r_{K\check{S}}$, jenž je vyvozena normálovou silou $F_{\check{S}N}$ na stykových třecích plochách od předpnutí šroubového spoje.

$$F_{\check{S}T} = \frac{M_{B_1}}{n_{\check{S}} \cdot r_{K\check{S}}} = \frac{2450}{12 \cdot 134 \cdot 10^{-3}} = 1\,524 \text{ N} \quad (8.2.2)$$

Předpnutím šroubového spoje požadovaným utahovacím momentem M_U , vzniká osová normálová síla ve šroubu $F_{\check{S}N}$, která vytváří potřebnou třecí sílu $F_{\check{S}T}$ ve stykových třecích plochách mezi brzdovým kotoučem a nábojem brzdového kotouče.

$$F_{\check{S}N} = \frac{F_{\check{S}T}}{f_K} = \frac{1524}{0,2} = 7\,620 \text{ N} \quad (8.2.3)$$

8.3. Výpočet utahovacího momentu

Předpnutím šroubového spoje utahovacím momentem M_U je vyvozena normálová síla $F_{\check{S}N}$, která vytváří požadovanou třecí sílu $F_{\check{S}T}$ na poloměru roztečné kružnice $r_{K\check{S}}$, pro zajištění přenosu brzdného momentu M_{b1} . Požadovaný utahovací moment M_U šroubového spoje je součtem momentu v závitech M_Z a třecího momentu pod maticí M_{TM} .

$$M_U = M_Z + M_{TM} \quad (8.3.1)$$

Třecí moment pod maticí M_{TM} je vyvozen osovou normálovou silou šroubu $F_{\check{S}N}$, působící na třecím poloměru matice ρ_M , jenž je roven $\frac{3}{4}$ rozměru pro klíč s_M .

$$\begin{aligned} M_U &= F_{\check{S}N} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot tg(\gamma + \varphi') + F_{\check{S}N} \cdot f_M \cdot \rho_M \\ M_U &= F_{\check{S}N} \cdot \left(\frac{d_2}{2} \cdot tg(\gamma + \varphi') + f_M \cdot \frac{3}{4} \cdot s_M \right) \\ M_U &= 7620 \cdot \left(\frac{10,026}{2} \cdot tg(3,18 + 9,182) + 0,2 \cdot \frac{3}{4} \cdot 18 \right) = 28\,946 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (8.3.2)$$

8.4. Kontrola šroubů na statické zatížení

Tahové napětí σ_t v jádře šroubu S_3 , vyvolané osovou normálovou silou šroubu $F_{\xi N}$, při dosažení požadovaného předpětí utahovacím momentem M_U , kde d_3 je průměr jádra šroubu.

$$\sigma_t = \frac{F_{\xi N}}{S_3} = \frac{F_{\xi N}}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{7620}{\frac{\pi \cdot 9,853^2}{4}} = 99,94 \text{ Nmm}^{-2} \quad (8.4.1)$$

Napětí v krutu τ_k v jádře šroubu, vyvolané momentem v závitech M_Z , při dosažení požadovaného předpětí utahovacím momentem M_U , kde W_K je průřezový modul v krutu.

$$\tau_K = \frac{M_Z}{W_K} = \frac{F_{\xi N} \cdot \left(\frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\gamma + \varphi') \right)}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} \quad (8.4.2)$$

$$\tau_K = \frac{7620 \cdot \left(\frac{10,026}{2} \cdot \text{tg}(3,18 + 9,182) \right)}{\frac{\pi \cdot 9,853^3}{16}} = 44,58 \text{ Nmm}^{-2}$$

Redukované napětí σ_{red} je celkové vyvozené napětí v jádře šroubu, při dosažení požadovaného předpětí utahovacím momentem M_U . Redukované napětí σ_{red} je sdružení tahového napětí σ_t a napětí v krutu τ_k , kde ve výpočtu dle hypotézy τ_{max} je $\alpha_{\tau_{max}} = 2$.

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + \alpha_{\tau_{max}}^2 \cdot \tau_K^2} = \sqrt{99,94^2 + 2^2 \cdot 44,58^2} = 133,93 \text{ Nmm}^{-2} \quad (8.4.3)$$

Statická bezpečnost pro redukované napětí σ_{red} při dosažení požadovaného předpětí utahovacím momentem M_U , kde statická bezpečnost je dána podílem meze kluzu v tahu σ_{kt} a redukovaného napětí σ_{red} . Pro pevnostní třídu šroubů 8.8 je mez kluzu rovna $\sigma_{kt} = 640$ MPa.

$$k = \frac{\sigma_{kt}}{\sigma_{red}} = \frac{640}{133,93} = 4,78 \quad (8.4.4)$$

Výsledný předpjatý šroubový spoj je dostatečně dimenzován, aby zajišťoval požadované spojení pro přenos brzdového momentu M_{b1} z brzdového kotouče na dvojkolí kolejového osobního vozu.

9. Závěr

V této práci byl řešen návrh a výpočet provozní brzdy plně loženého osobního kolejového vozu, jenž je rychločinně brzděn z maximální provozní rychlosti $v = 200$ km/h.

Nejprve byla provedena rešerše, v které byla popsána teorie brzdění soupravy vlaku, rozdělení jednotlivých druhů brzd a následně popsány jednotlivé brzdové systémy pro osobní kolejové vozy DAKO, jenž zahrnovalo popis klíčových komponent, a jejich modifikací pro jednotlivé brzdové systémy.

Hlavním cílem výpočtové části práce byl návrh a výpočet provozní brzdy osobní vozu pro rychlost do 200 km/h, jenž se zaměřovala na kontrolu adhezní kotoučové brzdy, která při brzdění osobního vozu pracovala v součinnosti s neadhezní elektromagnetickou kolejnicovou brzdou. Kontrolovanými parametry pro správnou funkci adhezní brzdy byla kontrola součinitele meze adheze ve styku kola dvojkolí s kolejnicí a navržení vyhovujícího převodu pákovi jednotek kotoučové brzdy.

Při výpočtech brzdy osobního vozu bylo zjištěno, že navržená konstrukce brzdového systému DAKO, s použitím tří brzdových kotoučů na nápravu, je vyhovující pro použití při provozních rychlostech do 200 km/h, kdy je osobní vůz rychločinně zabrzděn na požadované zábrzdě vzdálenosti $l_{UIC} = 1218,7$ m, s vynaložením maximálního provozního přetlaku $p_{BV} = 3,8$ bar pro plně ložený osobní vůz s převodem pákovi jednotek kotoučových brzd $i_p = 1,450$.

Při kontrole dosahuje požadovaná hodnota součinitele meze adheze dostatečné rezervy oproti mezní hodnotě, důsledkem čehož je správný provoz brzdy osobního vozu zajištěn, i při zhoršených povětrnostních podmínkách.

Pokud by bylo vyžadováno, že osobní kolejový vůz bude z provozní rychlosti $v = 200$ km/h brzděn pouze s využitím adhezní brzdy, byl by vůz sice schopen adhezně zabrzdit na požadované zábrzdě vzdálenosti $l_{UIC} = 1218,7$ m, jenže požadovaný převod pákovi jednotek kotoučové brzdy $i_p = 1,734$ by přesahoval dovolený rozsah převodu $i_p = 1 \div 1,55$. Možným řešením problému, by bylo navýšení počtu brzdových kotoučů na dvojkolí vozu, nebo použití kvalitnějšího brzdového obložení, jenž by mělo koeficient tření vyšší než 0,4. Pokud by bylo dvojkolí osobního vozu osazeno čtyřmi brzdovými kotouči na dvojkolí, požadovaný převod pákovi jednotek kotoučové brzdy by byl ponížěn na $i_p = 1,3$.

Jedním ze způsobů dalšího rozvinutí této práce, by byla možnost se zaměřit na tepelné ovlivnění svěrného šroubového spoje, kdy je brzdový kotouč zahříván při brzdění vozu. V rámci této práce je šroubový spoj pouze kontrolován na statické zatížení, jenž je způsobeno požadovaným předpětím pomocí utahovacího momentu. Pro požadovaný výpočet přídatného zatížení od teplotní dilatace brzdového kotouče, by bylo zapotřebí vytvoření MKP modelu uložení brzdového kotouče na náboji brzdového kotouče.

Na závěr je součástí této práce vytvoření sestavného výkresu běžného dvojkolí osobního vozu se třemi brzdovými kotouči (viz příloha 3), jehož parametry byly použity ve výpočtové části této práce.

10. Seznam použité literatury

- [1] KUBEC, Jiří. *Brzdová výstroj nových železničních vozů ČSD*. Praha: Nadas, 1981. Knižnice nové techniky a technologie železniční dopravy.
- [2] PECHAR, Stanislav. *Školení BRZDA DAKO*. Třemošnice, 2016.
- [3] DANĚK, Josef. *RYCHLÍKOVÁ BRZDA DAKO - R*. Praha, 1964.
- [4] DAKO-CZ. *ZB 812-c: SAMOČINNÁ TLAKOVÁ BRZDA DAKO CV1nD*. Třemošnice, 2000.
- [5] DAKO-CZ. *ZB 815-c: ELEKTROPNEUMATICKÁ BRZDA DAKO*. Třemošnice, 2003.
- [6] DAKO-CZ. *ZB 817-c: PROTISMYKOVÉ ZAŘÍZENÍ DAKO PE94 - MSV*. Třemošnice, 2003.
- [7] VAGON.Y.CZ [online]. Nové Město nad Metují: Zítko, 2018 [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <http://www.vagony.cz>
- [8] DAKO-CZ. *Výrobky pro kolejová vozidla*. Třemošnice, [2010].
- [9] IZER, Jiří. *Kolejové vozy*. Bratislava: Alfa, 1986.
- [10] MÜLLER, Jaroslav. *Příslušenství kolejových vozidel*. Bratislava: Alfa, 1986.
- [11] DAKO-CZ. *ZB 1283: ELEKTROMAGNETICKÁ KOLEJNICOVÁ BRZDA DAKO EMG*. Třemošnice, 2012.
- [12] DAKO-CZ. *Technická dokumentace pneumatických brzdových systémů pro kolejová vozidla*. Třemošnice.
- [13] PAVLAS, Jiří. *Zabezpečovací technika v dopravě*. Brno: Code Creator, 2015. ISBN 978-80-88058-17-5.
- [14] KOLÁŘ, Josef. ČVUT. *Dopravní technika*. Praha, 2012
- [15] BASHKIRTSEVA, Valeriya et al. ČVUT. *Katalog železničních vozů*. Praha, 2016.
- [16] ŠIROKÝ, Jaromír. *Brzdová zařízení kolejových vozidel*. Ostrava, [2018].
- [17] GRALLA, Dietmar. *Eisenbahnbremstechnik*. Düsseldorf: Werner, 1999.
- [18] HEPTNER, Tomáš a Jan MALINSKÝ. VÚKV. *PODVOZEK GP 200* [online]. Praha, 2011 [cit. 2019-06-22]. Dostupné také z: http://www.czech-raildays.cz/2011/seminare/trendy_heptner.pdf

11. Seznam obrázků

Obr. 1: Přehled rozdělení typů brzd železničních vozidel [2]	2
Obr. 2: Zjednodušené schéma samočinné tlakové brzdy [2]	5
Obr. 3: Rychlé zabrzdění a odbrzdění osobního vozu v režimu brzdy osobní (BV=3,8±0,1 bar; t ₁ =3÷5 s; t ₂ =15÷20 s) [2]	6
Obr. 4: Rychlé zabrzdění a odbrzdění nákladního vozu v režimu brzdy nákladní (BV=3,8±0,1 bar; t ₁ =18÷30 s; t ₂ =45÷60 s) [2]	7
Obr. 5: Porovnání provozního zabrzdění a odbrzdění nákladního vozu v režimu brzdy osobní (t ₁ =3÷5 s) a v režimu brzdy nákladní (t ₁ =18÷30 s) [2]	7
Obr. 6: Stupňovité brzdění a odbrzdění [2]	8
Obr. 7: Brzdový systém pro osobní vůz [12]	9
Obr. 8: Blokované schéma pneumatické výstroje pro rychlost do v = 120 km/h [12]	9
Obr. 9: Spojkový kohout [12]	11
Obr. 10: Normální provedení brzdové spojky [12]	12
Obr. 11: Zrcadlové provedení brzdové spojky [12]	12
Obr. 12: Průběh brzdění rychlíkové brzdy v režimu „osobní“ a „rychlík“ [1]	13
Obr. 13: Rozváděč DAKO CV1nD [12]	14
Obr. 14: Rozváděč DAKO CV1nD-R s přídatným ventilem DAKO R	15
Obr. 15: Blokované schéma pneumatické výstroje pro rychlost do v = 140 km/h [12]	17
Obr. 16: Rozváděč DAKO CV1nD-P s přídatným ventilem DAKO D1	19
Obr. 17: Schéma přídatného ventilu DAKO D1 [2]	20
Obr. 18: Elektropneumatická brzda DAKO s rozváděčem DAKO CV1nD-P a přídatným ventilem DAKO D1 [5]	21
Obr. 19: Ukazatel brzdění [12]	23
Obr. 20: Schéma potrubního zrychlovače [3]	24
Obr. 21: Blokované schéma pneumatické výstroje pro rychlost do v = 160 km/h [12]	25
Obr. 22: Kompaktní brzda DAKO (Rozváděč DAKO CV1nD-R1; přídatný ventil DAKO DSV) ...	27
Obr. 23: Odkrytá část kompaktní brzdy DAKO [12]	28
Obr. 24: Schéma přídatného ventilu DAKO DSV [2]	29
Obr. 25: Zařízení brzdy v podvozku osobního vozu pro rychlost do v = 120 km/h [18]	30
Obr. 26: Brzdové tyčový osobního železničního vozu [1]	30
Obr. 27: Brzdový válec se zabudovanou vratnou pružinou [1]	31
Obr. 28: Generátor protismyku DAKO [1]	33
Obr. 29: Uložení generátor protismyku DAKO na nápravě vozu	33
Obr. 30: Vypouštěcí ventil DAKO [6] [12]	33
Obr. 31: Zařízení brzdy v podvozku osobního vozu pro rychlost do v = 140 km/h [18]	34
Obr. 32: Dvojkolí osobního kolejového vozu se dvěma brzdovými kotouči	36
Obr. 33: Zařízení brzdy v podvozku osobního vozu pro rychlost do v = 160 km/h [18]	36
Obr. 34: Blokované schéma pneumatické výstroje pro rychlost do v = 200 km/h [12]	37
Obr. 35: Zařízení brzdy v podvozku osobního vozu pro rychlost do v = 200 km/h [18]	39
Obr. 36: Elektromagnetická kolejnicová brzda DAKO [11]	40
Obr. 37: Testovací modul DAKO - TEPM-G [12]	41
Obr. 38: Charakteristika brzdění kolejového vozidla [13] [14] [15]	43

Obr. 39: Diagram pro stanovení brzdového procenta z provozní brzdě zkoušky pro jednotlivá vozidla [12]	45
Obr. 40: Diagram pro stanovení brzdového procenta z provozní brzdě zkoušky se zkušebním vlakem [12]	45
Obr. 41: Průběh brzdících sil při brzdění osobního vozu	47
Obr. 42: Střední součinitel tření Mg brzdy [17]	49
Obr. 43: Rozbor silových účinků působících při brzdění kotoučovou brzdou na dvojkolí	51
Obr. 44: Rozbor silových účinků působících při brzdění na brzdovou jednotku kotoučové brzdy [12]	53
Obr. 45: Uložení brzdového kotouče KOVIS OZ610/110 [12]	58
Obr. 46: Diagram předpjatého šroubového spoje	59

12. Seznam tabulek

Tab. 1: Kusovník pneumatické výstroje pro rychlost do $v = 120$ km/h [12]	10
Tab. 2: Kusovník pneumatické výstroje pro rychlost do $v = 140$ km/h [12]	18
Tab. 3: Kusovník pneumatické výstroje pro rychlost do $v = 160$ km/h [12]	26
Tab. 4: Ovládání vypouštěcího ventilu	34
Tab. 5: Limitní hodnoty zatížení pro normalizované litinové brzdové kotouče [12]	35
Tab. 6: Kusovník pneumatické výstroje pro rychlost do $v = 200$ km/h [12]	38
Tab. 7: Koeficienty C a D pro počáteční rychlosti při provozní brzdě zkoušce [12] [16]	44
Tab. 8: Technické parametry osobního kolejového vozu pro rychlost do 200 km/h [12]	46
Tab. 9: Výsledné hodnoty brzdícího procenta kontroly brzdy ($i_p = 1,117$)	57
Tab. 10: Výsledné hodnoty brzdícího procenta kontroly brzdy ($i_p = 1,450$)	57

13. Seznam příloh

- Příloha 1: Kontrolní protokol provozní brzdy DAKO pro osobní kolejový vůz pro rychlost do 200 km/h s převodem pákoví jednotek kotoučové brzdy $i_p = 1,117$
(název: Kontrolní protokol brzdy DAKO; číslo protokolu: 459969-0101)
- Příloha 2: Kontrolní protokol provozní brzdy DAKO pro osobní kolejový vůz pro rychlost do 200 km/h s převodem pákoví jednotek kotoučové brzdy $i_p = 1,450$
(název: Kontrolní protokol brzdy DAKO; číslo protokolu: 459969-0102)
- Příloha 3: Sestavný výkres dvojkolí osobního vozu se třemi brzdovými kotouči
(název: DVOJKOLÍ; číslo výkresu: 459969-0200)