

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Trendy v konstrukci brzdových systémů kolejových vozidel
Petr Měrka

Bakalářská práce
2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr MĚRKA**

Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**

Studijní obor: **Dopravní prostředky-Kolejová vozidla**

Název tématu: **Trendy v konstrukci brzdových systémů kolejových vozidel.**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Definovat funkci, požadavky na brzdové systémy, vytvořit přehled, rozdělení používaných typů brzdových systémů. Nakreslit základní schéma vozidlové výstroje zdržové a kotoučové brzdy, popsat funkci jednotlivých částí brzdy. Shromáždit informace o nových trendech v oblasti brzdových systémů používaných, vyvíjených a zkoušených s ohledem na zvyšování rychlostí a hmotnosti na nápravu. Vypracujte:

1. Rozdělení a charakteristiku používaných typů brzd kolejových vozidel.
2. Požadavky kladené na brzdové systémy kolejových vozidel.
3. Nákres vozidlové výstroje zdržové a kotoučové brzdy včetně popisu funkce jednotlivých částí.
4. Trendy v oblasti brzdových systémů s ohledem na zvyšování rychlostí, hmotnosti na nápravu a bezpečnosti kolejových vozidel.

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího BP

Rozsah pracovní zprávy: 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

[1] IZER J., JANDA J., MARUNA Z., ZDRŮBEK S.: Kolejové vozy. Bratislava: Nakladatelství Alfa Bratislava, 1. vydání, 1986, 380 s., ISBN 63 870 84.

[2] MARUNA Z., HOFFMANN, V., KOULA, J.: Metodika konstruování kolejových vozidel. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2. vydání, 1992, 178 s., ISBN 80 01 00815 0.

[3] KUBEC, J.: Brzdová výstrojových železničních vozů ČSD. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1. vydání, 1981, 329 s.

[4] UIC-normy řady 540-549.

[5] Předpisy ČD.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Kohout

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: 18. února 2008

Termín odevzdání bakalářské práce: 26. května 2008



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Chropyni dne 26.5.2009

Petr Měrka

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl velmi poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Martinu Kohoutovi, za odborné vedení a spolupráci, která mi byla vydatnou pomocí při tvorbě mé práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Michaelu Latovi, PhD., za pomoc s vedením při práci na projektu v rámci předmětu Projekt vozidel, který mi umožnil ponořit se hlouběji do problematiky brzdových systémů kolejových vozidel.

V neposlední řadě bych chtěl také poděkovat celé své rodině a přítelkyni za plnou podporu a pochopení při psaní této bakalářské práce.

SOUHRN

V bakalářské práci jsem se zabýval současnou situací v oblasti brzdových systémů kolejových vozidel. Věnuji se všem důležitým aspektům, od teorie brzdění, přes rozdělení a popis jednotlivých systémů, až po stručný popis nejdůležitějších součástí. Také je stručně popsán historický vývoj brzdových systémů a jeho současné trendy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Brzda, brzdové systémy, třecí brzdy, dynamické brzdy, kolejnicové brzdy, brzdové komponenty, vývoj, trendy

TITLE

Trends in construction of rail vehicles braking systems.

ABSTRACT

I have concentrated on current situation in the sphere of rail vehicles braking systems. I devote to all important aspects from braking theory, through portioning and characterization of individual systems, to brief description of the most important parts. I also briefly describe historical development of braking systems and its present trends.

KEYWORDS

Brake, braking systems, friction brakes, dynamic brakes, track brakes, braking components, development, trends

OBSAH

1.	Úvod.....	8
2.	Teorie brzdění.....	9
2.1.	Pneumatická část brzdy	9
2.2.	Mechanická část brzdy	10
3.	Rozdělení a charakteristika brzd	12
3.1.	Brzdy třecí	12
3.1.1.	<i>Brzda zdržová.....</i>	<i>12</i>
3.1.2.	<i>Brzda kotoučová.....</i>	<i>13</i>
3.2.	Brzdy dynamické	15
3.2.1.	<i>Brzda elektrodynamická.....</i>	<i>15</i>
3.2.2.	<i>Brzda hydrodynamická</i>	<i>16</i>
3.2.3.	<i>Elektromagnetický retardér (rotační brzda vířivými proudy).....</i>	<i>17</i>
3.3.	Brzdy kolejnicové.....	18
3.3.1.	<i>Magnetická kolejnicová brzda</i>	<i>18</i>
3.3.2.	<i>Brzda vířivými proudy</i>	<i>20</i>
3.4.	Ostatní brzdy	22
3.4.1.	<i>Aerodynamická brzda.....</i>	<i>22</i>
4.	Komponenty třecích brzd	23
4.1.	Základní komponenty.....	23
4.1.1.	<i>Výroba stlačeného vzduchu</i>	<i>23</i>
4.1.2.	<i>Rozvod stlačeného vzduchu</i>	<i>25</i>
4.1.3.	<i>Přenos mechanických sil.....</i>	<i>28</i>
4.2.	Ovládání.....	32
4.2.1.	<i>Pneumatické ovládání.....</i>	<i>32</i>
4.2.2.	<i>Elektropneumatické ovládání</i>	<i>33</i>
5.	Požadavky na brzdové systémy	36
5.1.	Požadavky UIC	36
5.2.	Požadavky na průběh brzdícího účinku	37
5.2.1.	<i>Režimy brzdění.....</i>	<i>37</i>
5.2.2.	<i>Přestavovače</i>	<i>38</i>
5.3.	Bezpečnostní požadavky.....	40
5.3.1.	<i>Protismykové zařízení.....</i>	<i>41</i>
5.3.2.	<i>Potrubní zrychlovač.....</i>	<i>41</i>
5.3.3.	<i>Záchranná brzda</i>	<i>41</i>
5.3.4.	<i>Přemostění záchranné brzdy.....</i>	<i>41</i>

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 7
---	------------------	----------

5.3.5. <i>Detektor vykolejení</i>	42
6. Příklady standardních vybavení vozů.....	43
6.1. Brzdový systém osobního 4nápravového vozu vstrojeného kotoučovou brzdou a magnetickou kolejnicovou brzdou	43
6.2. Brzdový systém nákladního 4nápravového (2nápravového) vozu vstrojeného zdržovou brzdou s ručním přestavovačem	44
6.3. Brzdový systém nákladního 4nápravového vozu vstrojeného zdržovou brzdou s automatickým přestavovačem	45
7. Trendy v konstrukci brzdových systémů.....	47
7.1. Hnací vozidla	47
7.2. Osobní vozy	47
7.3. Jednotky	48
7.3.1. <i>Příměstské jednotky</i>	48
7.3.2. <i>Vysokorychlostní jednotky</i>	48
7.4. Nákladní vozy	48
8. Závěr.....	50
9. Literatura	51

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 8
---	------------------	----------

1. ÚVOD

Brzda je technické zařízení, které obecně slouží ke zpomalení nebo zastavení pohybujícího se předmětu, případně jeho udržení v klidové poloze. Brzda je také základním stavebním celkem, který musí obsahovat každé pohybující se vozidlo, a který musí být za všech okolností funkční. Z pohledu bezpečnosti je brzda základní, a nejdůležitější částí vozidla.

Primárním účelem brzd je tedy umožnit vozidlu jeho bezpečný a plynulý pohyb včetně zastavení na požadovaném místě, případně zpomalení na požadovanou rychlost na určité dráze. V případě mimořádné situace musí být brzda schopna efektivně zastavit vozidlo na co nejkratší dráze. Nejen z těchto důvodů musí brzda jako celek, jakož i jednotlivé komponenty odpovídat daným předpisům s ohledem právě na maximální bezpečnost.

Jako každá technická součást, procházejí i brzdové systémy železničních vozidel jistým vývojem. Od jeho vzniku, přes zdokonalování dílčích celků i jednotlivých součástí, až po dosažení hranice samotných fyzikálních možností těchto systémů, aby pak tyto systémy byly nahrazeny systémy modernějšími a ve všech směrech výkonnějšími. Právě o posunech ve vývoji těchto brzdových systémů železničních vozidel by měla tato práce pojednávat.

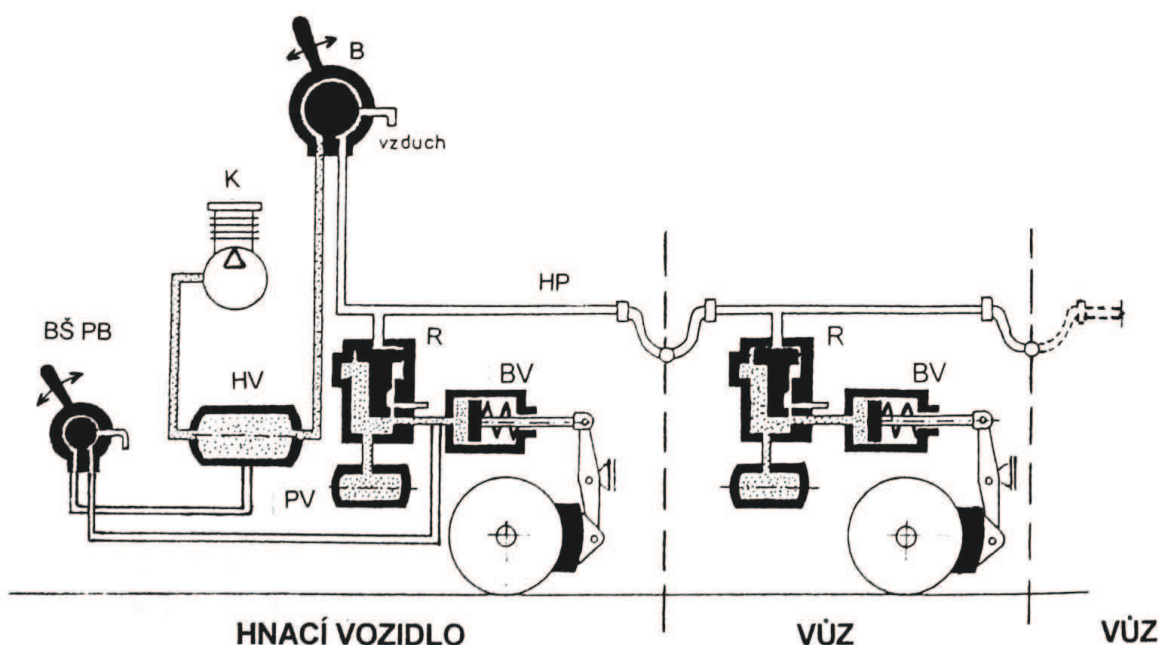
Cílem této bakalářské práce je přiblížit problematiku, v současnosti používaných, brzdových systémů, vytvořit jejich základní přehled a popsat jejich funkční řešení. Důraz je přitom kladen na jejich současné a budoucí využití, případně jejich možný budoucí vývoj.

2. TEORIE BRZDĚNÍ

Brzdění vlaku lze popsat jako proces, při kterém dochází k aktivnímu vyvíjení brzdící síly, která působí proti pohybu vlaku. Z fyzikálního hlediska je pak proces brzdění vlaku přeměnou kinetické energie na energii jiného druhu. Většinou se jedná o přeměnu na energii tepla. Způsobů jakým lze této změny dosáhnout je několik. Vždy ale záleží zejména na použitém brzdovém systému a jeho vlastnostech.

Principiálně se dá běžný brzdový systém kolejového vozidla rozdělit na dva základní celky:

1. pneumatickou část,
2. mechanickou část.



B – brzdíč, BŠ PB – brzdíč přímočinné brzdy, BV – brzdový válec, HP – hlavní potrubí, HV – hlavní vzduchojem, K – kompresor, PV – pomocný vzduchojem, R - rozvaděč

Obr. 1 Základní schéma brzdového systému (literatura [5])

Jednotlivé části obou těchto celků tak, jak jsou zobrazené na obrázku (*Obr. 1*) jsou detailně popsány v následujících kapitolách.

2.1. Pneumatická část brzdy

Pneumatická část brzdy primárně slouží k ovládání stlačeného vzduchu a jeho rozvodu k jednotlivým brzdovým válcům. Základní podmínkou vycházející z vyhlášek UIC (*UIC – Union Internationale des Chemins de fer; Mezinárodní železniční unie*) je, že všechna vozidla

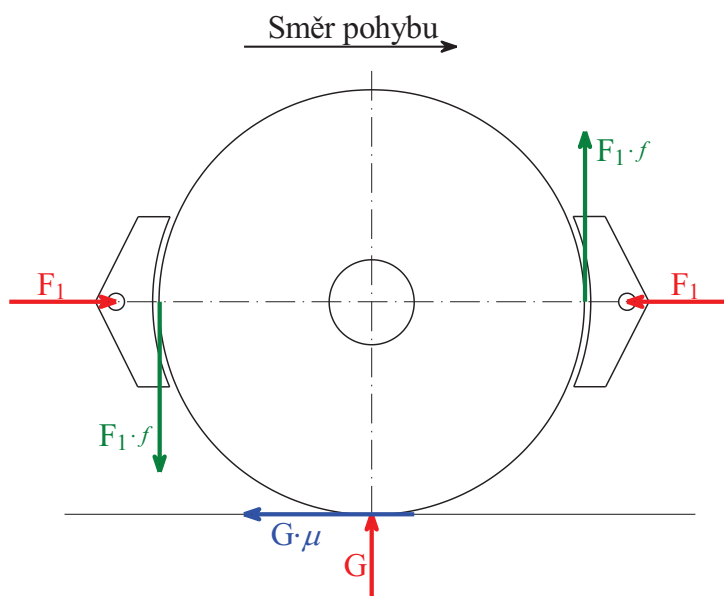
musí být vybavena průběžnou samočinnou tlakovou brzdou. Vyjimku tvoří pouze vozidla starší konstrukce, u kterých stačí, aby byla vybavena pouze průběžným potrubím.

Proces brzdění začíná v okamžiku, kdy strojvedoucí přestaví ovladač brzdíče do příslušné polohy. To v brzdovém systému způsobí změnu tlaku v hlavním potrubí. Velikosti této změny je pak úměrná změna velikosti tlaku vzduchu v brzdovém válci, přičemž plným brzděním se rozumí takové snížení tlaku v hlavním potrubí, kterým se dosáhne maximálního tlaku v brzdovém válci.

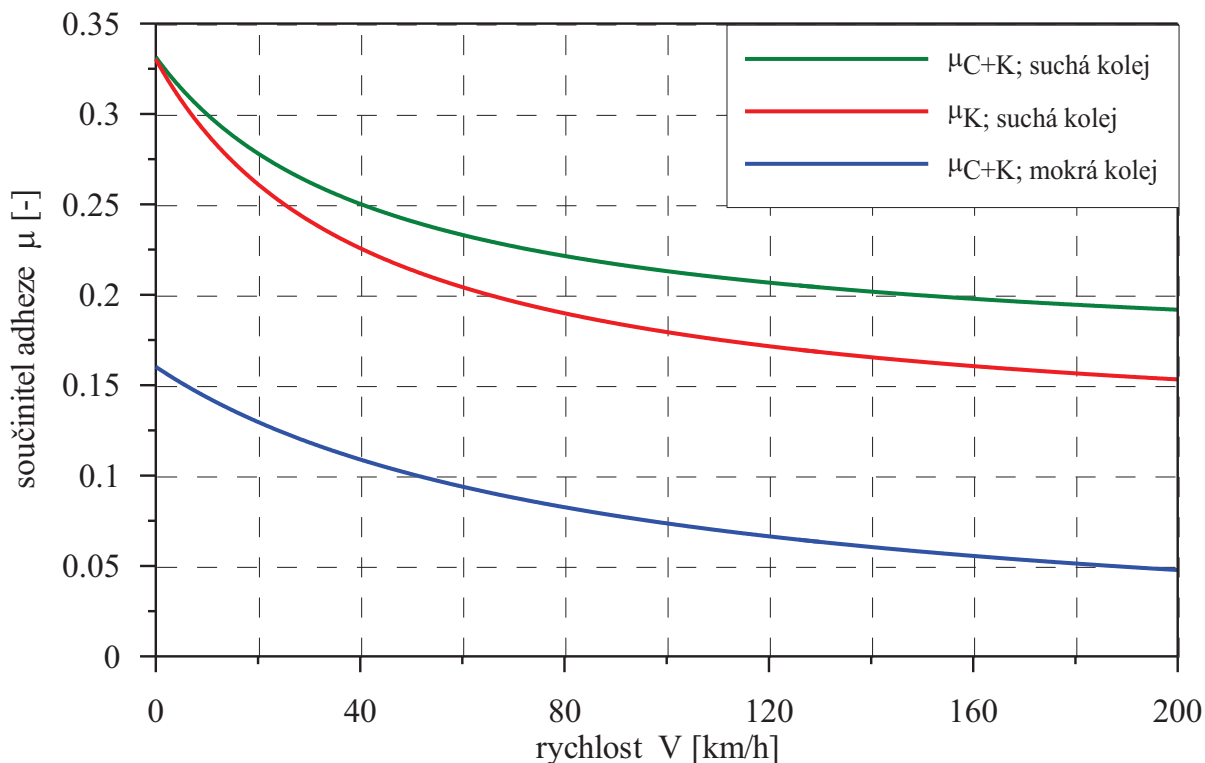
2.2. Mechanická část brzdy

Mechanická část brzdy slouží k přenosu sil. Začíná brzdovým válcem, kde dochází k přeměně energie stlačeného vzduchu v mechanickou sílu. Končí pak vyvozením brzdící síly, buď ve styku kolo – kolejnice, nebo dle použitého brzdového systému v jiné části vozu. Samotný způsob přenosu sil v mechanické části brzdy se různí zejména podle použitého brzdového systému.

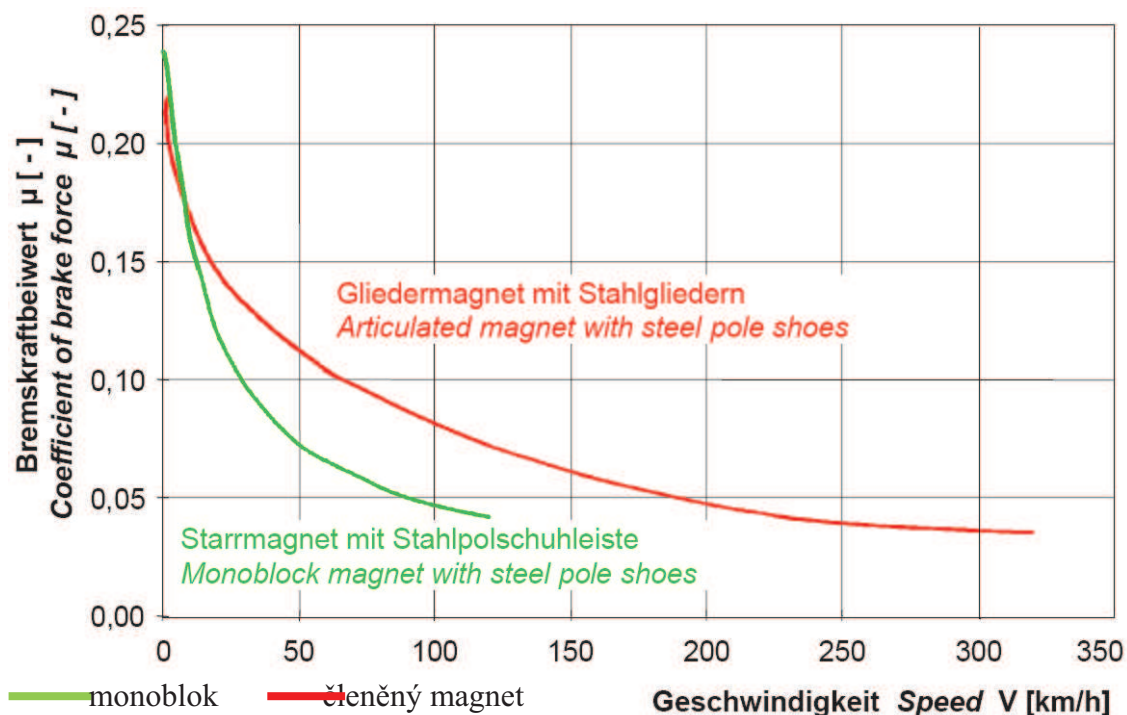
Mechanické síly pak v případě adhezních brzd (např. zdržových nebo kotoučových) působí v takovém místě, ve kterém se při vyvozování konečné brzdící síly využívá adheze mezi kolem a kolejnicí. Např. u kotoučových brzd je místem působení těchto přitlačných sil kontaktní plocha brzdové čelisti a brzdového kotouče. Tyto síly na svém rameni tvoří brzdící moment, který působí proti smyslu rotace dvojkolí. Jeho velikost je pak mimo jiné závislá na faktorech, jako jsou teplota, povětrnostní podmínky, apod. K teoretickému vyčíslení těchto sil slouží silové poměry na brzděném kole (**Obr. 2**). Součinitel adheze je v tomto případě také výrazně limitujícím faktorem, neboť při jeho překročení dochází ke vzniku tření, a tím k nepříznivým jevům, jako je smyk kola po kolejnici.



Obr. 2 Silové poměry brzděného kola

Graf 1 Závislost součinitele adheze na rychlosti dle Curtiuse-Knifflera a Kothera

Naopak, v případě neadhezních brzd (např. magnetická kolejnicová) není výsledná brzdicí síla ovlivněna součinitelem adheze, jelikož se k přenosu sil nevyužívá styku kolo – kolejnice. Pro vznik brzdicí síly se využívá právě součinitele tření. U těchto brzdivých systémů je pak mechanická část brzdy řešena odlišně od brzd adhezních.

Graf 2 Závislost součinitele tření magnetické kolejnicové brzdy na rychlosti (literatura [15])

3. ROZDĚLENÍ A CHARAKTERISTIKA BRZD

Jednotlivé brzdové systémy je možno rozdělit podle různých kritérií. Základním kritériem rozdělení je vliv adheze na maximální velikost brzdící síly.

Rozlišujeme:

- brzdy adhezní – třecí, dynamické,
- brzdy neadhezní – kolejnicové, ostatní.

3.1. Brzdy třecí

Hlavními zástupci třecích brzd jsou brzda zdržová a brzda kotoučová. Tyto brzdy působí přímo na dvojkolí a řadí se mezi brzdy adhezní.

3.1.1. Brzda zdržová

Brzda zdržová (někdy také označována jako brzda špalíková), jako brzda adhezní, je v současnosti jedním z nejpoužívanějších brzdových systémů. Její dominantou je použití zejména u nákladních vozů. Nutno podotknout, že využívání zdržových brzd i v současnosti je dáno mimo jiné také vysokou ekonomickou náročností jejich nahrazení jinými brzdovými systémy.



Obr. 3 Zdržová brzda v podvozku Y25 (<http://www.parostraj.net>)

Kinetická energie pohybujícího se vozidla se u zdržové brzdy mění v energii tepla. Tato přeměna probíhá přitlačováním brzdových zdrží na jízdni plochu kola. Na ty se přitlačná síla přenáší přes brzdové pákoví od brzdového válce. Tímto přitlačováním zdrží vzniká tření, kterým se vyvozuje brzdový účinek na obvodu kol. Teplo vzniklé tímto procesem se odvádí přes brzdové obložení a kolo přirozenou ventilací do okolí. Brzda by měla být navržena tak, aby nedocházelo k příliš velkému tepelnému namáhání kola ani během vytrvalého brzdění.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 13
---	------------------	-----------

Moderní vysoceúčinné materiály brzdových špalíků pak vyvolávají potřebu použití takových kol, která tomuto namáhání odolají.

Současné dvounápravové nebo čtyřnápravové nákladní vozy se obvykle osazují pouze jedním, případně dvěma brzdovými válci. Zatímco vozy osobní, které jsou vystrojeny zdržovou brzdou se mohou osazovat i více brzdovými válci (například pro každý podvozek jeden válec). V případě lokomotiv se mohou, z důvodu nedostatku místa, osazovat ke každé zdrži jeden brzdový válec. Ten spolu se zdrží, pákovím a stavěčem odlehlosti zdrži tvoří ucelenou kompaktní brzdovou jednotku. Současným trendem je, že se s těmito kompaktními brzdovými jednotkami začínají osazovat i nákladní vozy. To z důvodu úspory hmotnosti vozů, čímž jsou schopny převážet více nákladu.

Výhody zdržové brzdy:

- Poměrně jednoduchá konstrukce (kolo je použito jako třecí plocha a zároveň je využito pro odvod tepla).
- Čistící efekt povrchu kola (tím se zvyšuje adheze mezi kolem a kolejnicí).
- Kontrolu brzdy je možno provádět pouze opticky bez dalších monitorovacích zařízení (nižší náklady spojené s revizními kontrolami).
- Stupeň opotřebení je možno sledovat pouhým okem.

Nevýhody zdržové brzdy:

- Vysoké namáhání kola působícím teplem (600 – 850°C).
- Jízdní plocha kola se rychleji opotřebovává.
- Vyšší hlučnost.

Zvyšující se nároky na limity emisí hluku a také na lepší provozní vlastnosti nutí společnosti zabývat se vývojem nových kompozitních materiálů, které by tradiční litinové špalíky mohly plně nahradit v celém provozním rozsahu (tzv. LL-špalíky, K-špalíky).

Pokud je spolu se zdržovou brzdou vozidlo vystrojeno i jinou adhezní brzdou, například dynamickou, musí být zajištěno, aby nedošlo k přebrzdění vozidla, a tím k nežádoucímu zablokování kol. To platí pro adhezní brzdy obecně.

3.1.2. *Brzda kotoučová*

Kotoučové brzdy patří také mezi brzdy adhezní. Principem funkce jsou velmi podobné brzdám zdržovým. V současnosti zejména u vlaků osobní dopravy nahradily brzdy zdržové.

U této brzdy působí brzdový válec na brzdové čelisti, které jsou přitlačovány na boční třecí plochy brzdových kotoučů. Tím je vyvozována brzdící síla. Přítlačná síla způsobuje tření mezi obložením brzdových čelistí a brzdovým kotoučem. Třením vzniká energie v podobě tepla, do kterého se přeměňuje kinetická energie vozidla. Toto teplo je ventilováno do okolí

mimo jiné také pomocí vnitřního žebrování brzdových kotoučů (viditelné např. na obrázku (*Obr. 4*)).



Obr. 4 Brzdové kotouče na dříku nápravy jednotky ČD 680 Pendolino (<http://technet.idnes.cz>)

Součinitel tření mezi brzdovým kotoučem a obložením brzdových čelistí je vzhledem k možnosti volby vhodných materiálů obou třecích ploch téměř nezávislý na rychlosti vozidla. Navíc hodnota součinitele tření je oproti zdržové brzdě podstatně větší, zejména se zvyšující se rychlostí. To znamená, že ani ve velkých rychlostech není potřeba měnit nijak razantně přítlak čelistí na brzdový kotouč.

Podle umístění brzdového kotouče brzdy můžeme rozlišit:

- kotoučovou brzdou s brzdovým kotoučem umístěným na dříku nápravy,
- kotoučovou brzdou s brzdovým kotoučem v disku kola (neboli brzdou diskovou).

Výhody kotoučových brzd:

- Kolo je teplotně nezatížené (v případě kotoučové brzdy na dříku nápravy, v případě diskové brzdy v disku kola lze samotný disk od kola efektivně tepelně odizolovat).
- Kombinace materiálů obložením brzdových čelistí a brzdového kotouče může být vhodně optimalizována nezávisle na materiálu kola.
- Součinitel tření se v závislosti na rychlosti prakticky nemění, případně se mění pouze minimálně.
- Vysoká účinnost brzdy.
- Nižší hlučnost.
- Vyšší životnost (100 – 140 000 km).

Nevýhody kotoučových brzd:

- Nižší účinek brzdy v zimním období, způsobený možnou námrazou.
- Vyšší neodpružené hmoty.
- Oproti zdržové brzdě je kontrola obložení a kotoučů časově náročnější.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 15
---	------------------	-----------

Také v oblasti kotoučových brzd, stejně jako u brzd zdržových, dochází k vývoji nových materiálů, jako jsou různé slitiny hliníku používané na brzdové kotouče. Vývoj kotoučů nebo čelistí se také soustřeďuje na optimalizaci tvaru za účelem snížení odporu a lepšího chlazení, ale také na snížení hmotnosti a opotřebení. Tím dochází k celkovému zlepšení vlastností brzdového systému.

3.2. Brzdy dynamické

Dynamické brzdy jsou brzdy, které pro brzdění využívají dynamických vlastností pohybujícího se vozidla. Pracují na principu změny kinetické energie vlaku na energii jiného druhu, nejčastěji elektrickou nebo tepelnou. Dynamické brzdy se většinou používají v kombinaci s jiným brzdovým systémem (brzdy třecí). Řadí se také mezi brzdy adhezní.

3.2.1. Brzda elektrodynamická

Elektrodynamické brzdy jsou brzdy, sloužící hlavně k regulaci rychlosti, nikoliv k úplnému zastavení, což je dáno zejména principem jejich funkce. Využívají se tedy spíše jako přídatná brzda k průběžné pneumatické brzdě, většinou brzdě třecí. Ke své funkci potřebují trakční motory, což je předurčuje k použití v hnacích vozidlech s elektrickým přenosem výkonu.

Po přestavení ovladače brzdy do polohy brzdící se trakční motory přepojí do režimu generátoru. Tím se v nich jejich funkcí mění kinetická energie vlaku na energii elektrickou.

Podle způsobu dalšího nakládání s elektrickou energií generovanou v trakčních motorech pak rozeznáváme:

1. elektrodynamické brzdy odporové,
2. elektrodynamické brzdy rekuperační.

U elektrodynamické brzdy odporové dochází k maření elektrické energie prostřednictvím brzdových odporníků, které jsou z důvodu chlazení umístěny na střeše vozidla.

Rekuperace využívaná u elektrodynamické brzdy rekuperační je proces, při němž se kinetická energie přemění na opět využitelnou elektrickou energii. Elektrická energie, získaná z trakčních motorů během brzdění, vracena prostřednictvím sběrače zpět do trolejového vedení k dalšímu využití, případně se může ukládat do akumulátorů na vozidle a sloužit tak pro pozdější potřeby vozidla.

Základní vlastnosti elektrodynamické brzdy:

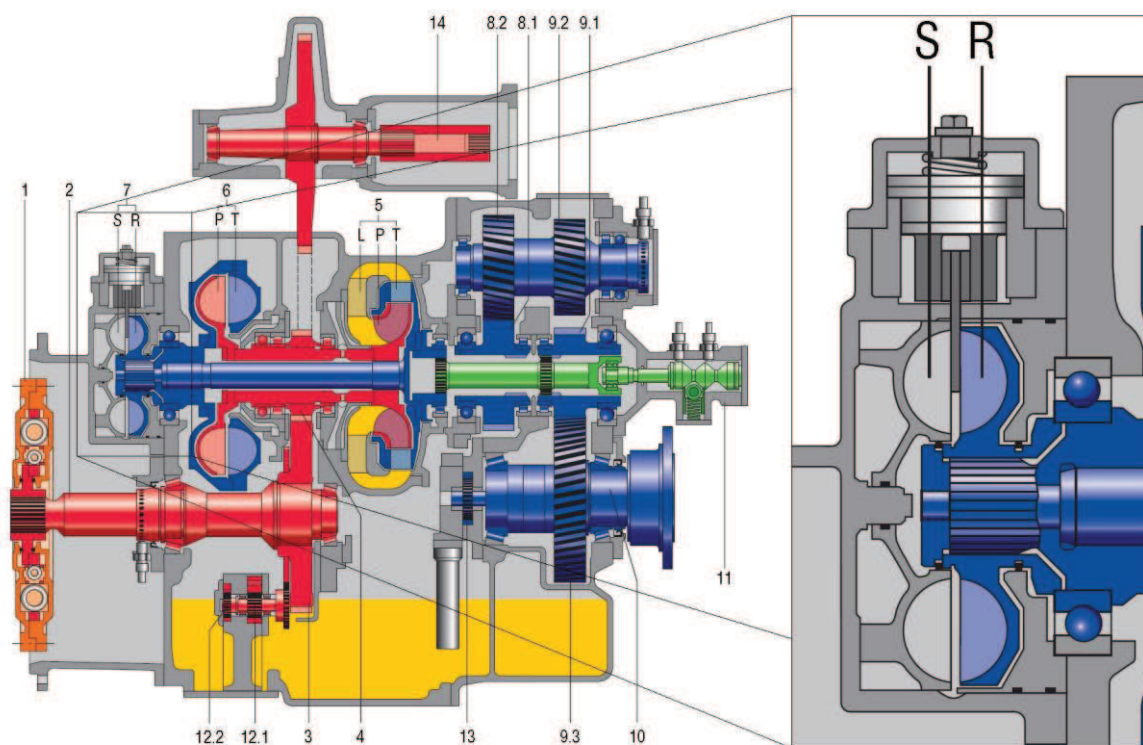
- Brzdící síla je závislá přibližně na druhé mocnině rychlosti, tzn., že při vysokých rychlostech brzdí souprava s vysokým brzdícím účinkem, zatímco při nízkých rychlostech je účinek minimální.

- Brzda se neopotrebovává, ale je závislá na součiniteli adheze mezi kolem a kolejnicí.
- Vysoké možnosti regulace (brzdící charakteristika je obrácenou trakční charakteristikou).
- Třecí brzdy se využívají pouze pro dobrzdění z minimální rychlosti.

3.2.2. Brzda hydrodynamická

Hydrodynamická brzda nebo také hydrodynamický retardér je brzda, která se používá jako přídatná brzda při brzdění průběžnou brzdou, a to zejména u vozidel motorové trakce.

V případě hydrodynamických brzd se mění kinetická energie na energii tepla. Toho je docíleno prostřednictvím vnitřního tření kapaliny (nejčastěji hydraulický olej) v uzavřeném bubnu. Kapalina uvnitř cirkuluje mezi lopatkami statoru a lopatkami otáčejícího se rotoru. Rotorem je hydraulický olej urychlován a odstředivou silou a tvarem lopatek směřován zpět na stator. O lopatky statoru se zbrzdí a jejich tvarem je opět vrácen zpět na rotor. Tím se olej mimo jiné velmi zahřívá a je potřeba jej účinně chladit.



S – Stator, R – Rotor;

Červená – části propojené s motorem, Modrá – části spojené s pohonem nápravy,

Zelená – řazení, Žlutá – provozní kapalina

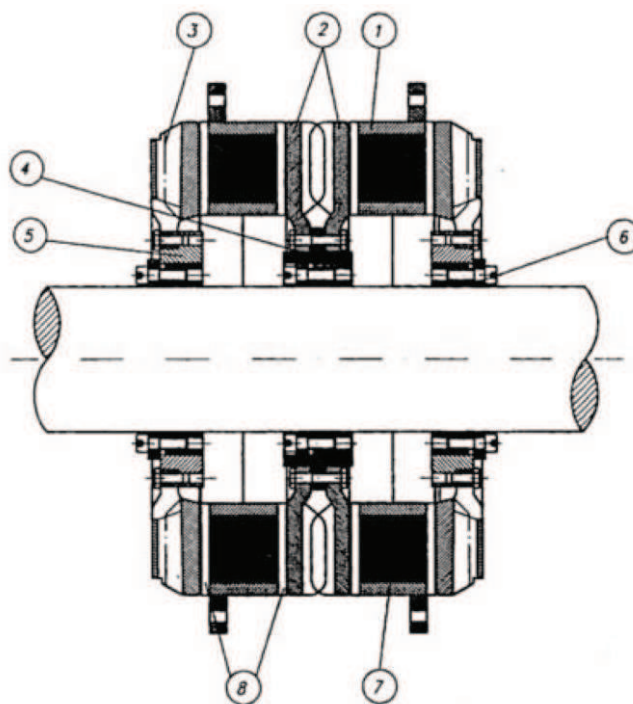
Obr. 5 Hydrodynamická brzda KB 190 v převodovce Voith T 211 re. 4 s maximálním vstupním výkonem 350 kW (<http://www.voithturbo.de>)

Velikost brzdící síly se ovládá změnou tlaku a množství hydraulického oleje v bubnu, tedy jeho napouštěním, případně vypouštěním. Tento způsob regulace je velmi citlivý a díky tomu je brzdění hydrodynamickou brzdou plynulé a bez rázů.

3.2.3. *Elektromagnetický retardér (rotační brzda vířivými proudy)*

Elektromagnetický retardér neboli rotační brzda vířivými proudy je brzda dynamická.

Brzda se skládá ze statoru a dvou rotorů. Stator, který je nezbytný pro vytvoření magnetického pole, se skládá ze dvou disků s několika ocelovými jádry na každé straně, na kterých jsou střídavě navinuty budící cívky. Stator se připevňuje k rámu vozidla.



- 1 – Stator, 2 – Vnitřní rotor, 3 – Vnější rotor, 4 – Vnitřní pouzdro,
5 – Vnější pouzdro, 6 – Systém upevnění, 7 – Cívka, 8 – Pólová deska

Obr. 6 Schéma rotační brzdy vířivými proudy (literatura [10])

Rotory jsou připevněny na hnací hřídel a spolu s ní se otáčejí. Když strojvedoucí přestaví ovladač do příslušné polohy, začne proud z baterie napájet stator. Ten začne vytvářet magnetické pole. Protože se rotory otáčejí spolu s hnacím hřídelem, prochází magnetickým polem produkovaným státorem. Tím se vytváří síly, působící proti směru rotace rotorů. V těch se indukují vířivé proudy, které postupně způsobují silný ohřev disků rotoru. Toto teplo je díky ventilaci rotorů jejich rotací uvolňováno do okolí. Zpomalující rychlostí rotace rotorů se vyvíjí brzdící účinek na hnacím hřídeli a tím také na hnané nápravě. Vozidlo tedy zpomaluje nezávisle na aktuální rychlosti anebo na zařazeném převodovém stupni. Intenzivní brzdící síla se generuje i za nízkých rychlostí, a i při zařazeném neutrálním převodovém stupni.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 18
---	------------------	-----------

Výhody elektromagnetického retardéru:

- Vhodný pro dlouhodobé aplikace (například na dlouhých klesáních).
- Velmi tichý (hluk do 30 dB).
- Při brzdění nevzniká žádný prach a jiné nečistoty.
- Citlivé ovládní.
- Téměř bezúdržbový.
- Možnost dodatečné montáže (například při rekonstrukci).
- Nedochází k zahřívání kolejničky.
- Ekonomický provoz.

Nevýhody elektromagnetického retardéru:

- Nezbytné vystrojení průběžnou brzdou pro součinnost ve vlakové soupravě.
- Vyšší pořizovací náklady.
- Vyšší nároky na místo než u klasické třecí brzdy.
- Rotor se zahřívá na vysoké teploty (přes 400°C).
- Nemožnost použití jako parkovací brzdy.

3.3. Brzdy kolejničové

Kolejničové brzdy jsou takové brzdy, které na rozdíl od brzd adhezních vyvíjí brzdící sílu přímo na kolejnici. Tím tyto brzdy nevyužívají adheze mezi kolem a kolejnici. To je důvod, proč mohou být tyto brzdy používány jako brzdy přídavné k brzdám adhezním ke zvýšení brzdících schopností vozidla, aniž by došlo ke zvýšení nebezpečí zablokování kol.

Podle způsobu jakým brzda pracuje, rozlišujeme:

- brzdu magnetickou kolejničovou,
- brzdu vířivými proudy.

3.3.1. *Magnetická kolejničová brzda*

Magnetická kolejničová brzda je brzdou neadhezní, jejíž brzdící síla je vyvozována třením mezi brzdovými trámci a kolejnici. Pracuje bez regulace a tedy jen s maximální přitlačnou silou. To způsobuje značné opotřebávání magnetů, proto se používá výhradně jako brzda nouzová. Vzhledem k čištění kolejničky při brzdění kolejničovou brzdou dochází i ke zlepšení součinitele adheze mezi kolem a kolejnici.

Podle typu magnetů můžeme rozlišit:

- elektromagnetickou kolejničovou brzdu,
- magnetickou kolejničovou brzdu s permanentními magnety.



Obr. 7 Magnetická kolejnicová brzda v podvozku jednotky ICE-1 (www.ice-fanpage.de)

Elektromagnetická kolejnicová brzda

Elektromagnet magnetické kolejnicové brzdy se skládá z cívky a jádra, které je ve tvaru podkovy. Stejnoseměrný proud procházející cívkou vytváří v jádru magnetické pole. Siločáry tohoto pole se spojují přes hlavu kolejnice. Tím v magnetu vzniká přítláčná síla ke kolejnici. Brzdící síla je dána součinem kluzného tření mezi magnetem a temenem kolejnice a přítláčnou silou ke kolejnici, dle vztahu (1).

$$B = F_p \cdot f \quad [\text{N}], \quad (1)$$

kde: B ... brzdící síla,
 F_p ... přítláčná síla [N],
 f ... součinitel tření [-].

Magnetickou kolejnicovou brzdu s elektromagnety potom můžeme rozdělit podle typu použitých magnetů na brzdu s celistvým magnetem nebo na brzdu s členěnými magnety.

V případě celistvých magnetů je součástí těla magnetu ocelové jádro, které je mechanicky spojeno se dvěma třecími pásy. Ty jsou podélně odděleny nemagnetickým pásem, který slouží k odklonění magnetických siločar tak, aby procházely kolejnicí. Celistvé magnety se využívají především v hromadné dopravě, zejména u tramvají a příměstských vlaků.

Členěné magnety jsou na rozdíl od celistvých charakteristické tím, že cívka nemá ocelové jádro, ale pouze segmenty. Jednotlivé segmenty jsou s vůlí vloženy do samostatných komor. To umožňuje jednotlivým segmentům opisovat případné nerovnosti na trati.

Magnetická kolejnicová brzda s permanentními magnety

Magnetická kolejnicová brzda s permanentními magnety pracuje na principu permanentních magnetů. Ty jsou vypínány nebo zapínány použitím otočných magnetických pólů. Brzdové magnety jsou uloženy jednotlivě bez použití vedení a jsou drženy ve zdvižené

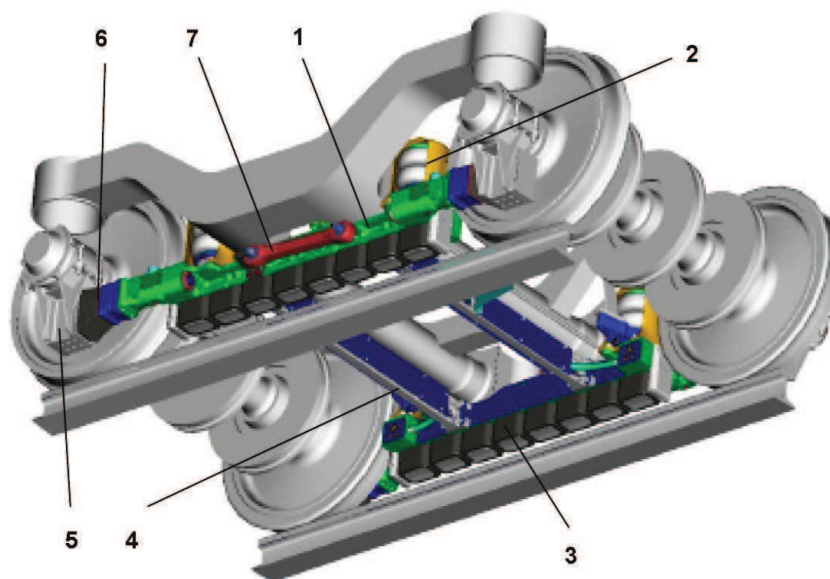
poloze pneumatickými válci. Samotné natáčení magnetického pole je prováděno hydraulickými servomotory.

Výhody oproti elektromagnetické kolejnicové brzdě:

- Není potřebný žádný externí zdroj energie pro zachování brzdící síly.
- Může být využita i jako parkovací brzda – v tom případě už není potřeba osazovat žádnou jinou parkovací brzdu.
- Nehrozí pokles brzdící síly z důvodu výpadku dodávky elektřiny.

3.3.2. Brzda vířivými proudy

Brzda vířivými proudy je brzdou neadhezní, a brzdící sílu vytváří nezávisle na velikosti adheze mezi kolem a kolejnicí stejně jako brzda magnetická kolejnicová. Narozdíl od ní ale není v kontaktu s kolejnicí a je vedena nad kolejnicí s malou vzduchovou mezerou. To znamená, že se brzda vířivými proudy neopotřebovává, velikost brzdící síly není vůbec závislá na stavu kolejnice, a nevydává tedy ani žádný hluk.



1 – celistvý trámec, 2 – vzduchové pružiny, 3 – cívky, 4 – příčná vzpěra,
5 – nápravové ložisko, 6 – nosná konzola, 7 – podélná podpora

Obr. 8 Brzda vířivými proudy (literatura [14])

Stejně jako magnetickou kolejnicovou brzdu, tak i brzdu vířivými proudy můžeme podle způsobu buzení rozdělit na:

- elektricky buzenou brzdu vířivými proudy,
- permanentními magnety buzenou brzdu vířivými proudy.

Elektricky buzená brzda vířivými proudy

Elektricky buzená brzda se skládá z magnetické kostry, na které jsou navinuty elektromagnetické cívky. Kostra je zmagnetizována tak, aby se na sousedících jádrech cívek střídal severní a jižní pól magnetického pole. Cívky jsou na kostře vedle sebe uloženy podélně ke kolejnici, ale zároveň mezi cívkou a kolejnici nedochází k přímému kontaktu. Vzniká mezi nimi vzduchová mezera o velikosti cca 6 mm.

Pokud se brzda vzhledem ke kolejnici nepohybuje, vytváří se vybuzením symetrické magnetické pole, jehož magnetický tok protéká také hlavou kolejnice. To způsobuje vznik přítláčné síly kolmo ke kolejnici.

Když se vozidlo začne pohybovat, mění se stacionární magnetické pole v nestacionární. V kolejnici se začne indukovat elektrické napětí, čímž vznikají vířivé proudy. Ty způsobují zakřivení magnetického pole v takovém směru a rozsahu, že dojde k vychýlení svislé přitažlivé síly proti směru pohybu vozidla. Vodorovná složka této síly je pak silou brzdící.

Nevýhodou brzdy vířivými proudy je, že její použití je podmíněno podstatným zásahem do železniční sítě v tom smyslu, aby tratě byly dostatečně odolné vůči teplotním výkyvům a aby nebyla zabezpečovací zařízení rušena vířivými proudy. Další nevýhodou je, že se kinetická energie vlaku mění v energii tepla právě v hlavě kolejnice. To je způsobeno Joulovým teplem, které v kolejnici spolu s vířivými proudy vzniká. V důsledku toho je potřeba, aby byly kolejnice dostatečně dimenzovány na akumulaci tohoto tepla.

Brzda vířivým proudy buzená permanentními magnety

Princip fungování brzdy vířivými proudy buzené permanentními magnety je v zásadě stejný jako u buzení elektrickým proudem. Budící cívky jsou nahrazeny permanentními magnety, které jsou uspořádány tak, aby se střídal severní a jižní pól magnetického pole. K zapnutí nebo vypnutí brzdy vířivými proudy pak dojde natočením permanentních magnetů. To může být řešeno buď elektromotoricky, nebo hydraulicky.

Výhody brzdy vířivými proudy buzené permanentními magnety:

- Zdroj energie je potřeba pouze k natáčení permanentních magnetů.
- Možnost regulace brzdící síly.
- Možnost použití jako parkovací brzdy.
- Během brzdění se nezvyšuje teplota brzdy.
- Vysoká brzdící síla při vysokých rychlostech při provozním brzdění bez opotřebení.

Brzda vířivými proudy je předurčena k nasazení na vysokorychlostních vlacích a ve spojení s elektrodynamickou brzdou je klasická kotoučová brzda pro provozní brzdění téměř nepotřebná. Slouží pak jen jako záložní brzdový systém.

3.4. Ostatní brzdy

Mezi ostatní brzdy patří takové brzdy, které svým principem funkce neodpovídají žádné z předcházejících kapitol.

3.4.1. Aerodynamická brzda

Aerodynamickou brzdou je možno zařadit mezi brzdy neadhezní. Brzda k brzdění ovšem využívá zvýšení aerodynamického odporu vzduchu pomocí vysouvacích panelů na střeše vozu.

Když je aerodynamická brzda v činnosti, vzduch před brzdícím panelem je tímto panelem blokován (před panelem tím vzniká přetlak), zatímco za panelem dochází vlivem odtržení proudu vzduchu ke vzniku podtlaku. Rozdíl těchto tlaků před a za panelem pak má za následek vznik aerodynamického odporu, jehož výpočet je dán vztahem (2). Tato odporová síla O_{vzd} je pak silou brzdící.

$$O_{vzd} = \frac{1}{2} \cdot c_x \cdot S \cdot \rho_{vzd} \cdot v^2 \quad [\text{N}], \quad (2)$$

kde: c_x ... tvarový součinitel soupravy,
 S ... plocha příčného řezu vozidla,
 ρ_{vzd} ... hustota vzduchu,
 v ... relativní rychlost.



Obr. 9 Aerodynamická brzda na jednotce Fastech 360S Shinkansen

(<http://www.shivaranjan.com>)

Vzhledem k závislosti aerodynamického odporu na druhé mocnině rychlosti je tato brzda účinná zejména ve velmi vysokých rychlostech.

Výhodou tohoto typu brzdy je:

- Vysoká spolehlivost.
- Minimální náklady na údržbu.
- Vysoký brzdící výkon, rostoucí s druhou mocninou rychlosti.

4. KOMPONENTY TŘECÍCH BRZD

Vzhledem k rozšířenosti třecích brzdových systémů jsou v této kapitole detailněji popsány jednotlivé komponenty a způsob ovládání těchto brzd.

4.1. Základní komponenty

Základní komponenty třecích brzd můžeme rozdělit na tři základní okruhy:

1. výroba stlačeného vzduchu,
2. rozvod stlačeného vzduchu,
3. mechanický přenos sil.

Okruhem pro výrobu stlačeného vzduchu jsou standardně vybavena pouze hnací vozidla, tedy lokomotivy, případně řídicí vozy, apod.

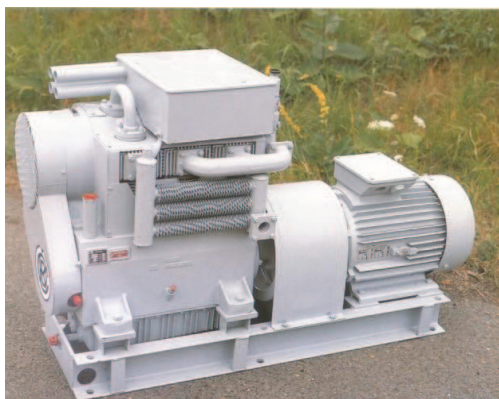
4.1.1. Výroba stlačeného vzduchu

Výroba stlačeného vzduchu je nutnou podmínkou pro základní funkci brzdy, a tedy pro umožnění bezpečné železniční dopravy. Samotný stlačený vzduch je základním médiem, které se používá jak pro vývin, tak i pro přenos brzdících sil, resp. pro doplňování vzduchojemů.

Kompresor

Kompresor je strojní zařízení sloužící k výrobě stlačeného vzduchu. Jako takový je jednou z nejdůležitějších částí brzdového systému a jeho konstrukce. Základní vlastnosti podléhají příslušným oborovým normám. V železniční dopravě patří mezi nejpoužívanější zejména kompresory pístové, případně kompresory šroubové.

Pístové kompresory pracují na principu stlačování vzduchu jedním nebo více písty. Stlačení vzduchu lze dosáhnout buď jedním, nebo více stupni v závislosti na použité konstrukci kompresoru.



Obr. 10 Pístový kompresor 3 DSK 100 s elektromotorem na rámu
(<http://www.sauerzandov.cz>)

Kompresory se pro použití v železniční dopravě většinou konstruují na maximální provozní tlak 10 barů, a jejich pohon je řešen samostatným elektromotorem u hnacích vozidel elektrické trakce. Zatímco hnací vozidla motorové trakce využívají jako pohon kompresoru pohon hlavním hnacím agregátem, tedy naftovým motorem.

U šroubových kompresorů se stlačení vzduchu dosahuje zmenšováním objemu párových komůrek mezi šroubovými zuby obou rotorů. Rotory jsou vytvořeny jako šroubová tělesa se závity o velkém stoupání a s nestejným počtem zubů. Hlavní (hnací) rotor má nejčastěji zuby s vypouklými boky, vedlejší (hnaný) rotor má oproti tomu zuby s vydutými boky. Rotory se otáčejí v opačných směrech, čímž se objem pracovních komůrek na sací straně postupně zvětšuje a na straně výtlačné se postupně zmenšuje. Plyn je trvale otevřeným sacím kanálem nasáván do komůrek mezi rotory, postupně stlačován a trvale otevřeným výtlačným kanálem dopravován do výtlačného potrubí a následně přes odolejovač do hlavního vzduchojemu.



Obr. 11 Rotory šroubového kompresoru (<http://www.vsb.cz>)

Další kompresory na hnacích vozidlech jsou kompresory vedlejší, které slouží zejména k uvedení vozidla do pohotovosti v případě, že je hlavní vzduchojem bez tlaku vzduchu, případně slouží k dalším pneumatickým pohonům.

Hlavní vzduchojem

Hlavní vzduchojem je tlaková nádoba, která plní funkci zásobníku stlačeného vzduchu. Je umístěn výhradně na hnacích vozidlech tak, aby byl dostatečně chlazen a tvořil tak mimo jiné kondenzační jímku. Hlavní vzduchojem je napájen výtlačným potrubím z kompresoru. Z hlavního vzduchojemu se pak napájí obvody brzdy samočinné i přímočinné, ale také přístrojové obvody a další pneumatické pohony. Tyto obvody jsou napájeny pomocí

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 25
---	------------------	-----------

napájecího potrubí, které musí být, stejně jako potrubí výtlačné z důvodu kondenzace vody, připojeno k horní polovině hlavního vzduchojemu.

Objem hlavního vzduchojemu je dán typem a výkonem hnacího vozidla, přičemž je možné, z důvodu úspory místa a snazšího umístění na vozidlo, jej rozdělit na dvě či více tlakových nádob, které jsou navzájem propojeny potrubím.

4.1.2. Rozvod stlačeného vzduchu

Jedná se o ty součásti brzdového systému, které slouží k přenosu plynného média od hlavního vzduchojemu k brzdovému válci, případně mohou sloužit také k úpravě tlaku tohoto média.

Rozvod stlačeného vzduchu je v tom nejjednodušším případě tvořen pouze hlavním průběžným potrubím, které pak stlačenému vzduchu umožňuje pouze „projít“ vozem do vozu následujícího. Neumožňuje tedy danému vozu funkci brzdy.

Kromě komponent popsaných níže je součástí tohoto rozvodu také příslušenství, které můžeme podle funkce rozdělit na dvě skupiny:

Příslušenství k čištění vzduchu:

- *Odolejovače* – slouží k zachycování malých částic oleje unášených stlačeným vzduchem. Umísťují se na výtlačné potrubí kompresoru, před hlavní vzduchojem. Pracují na principu rozstříku vzduchu o ostříkovací desku. Zachycený olej se pak jímá ve spodní části nádoby odolejovače, kde je možné jej pomocí ventilu vypustit.
- *Odkapnice* – vkládá se do hlavního potrubí hnacího vozidla a slouží ke shromažďování vysrážené vody.
- *Prachojemy* – slouží k zachycení těžších částic, které jsou unášeny stlačeným vzduchem. Vkládají se na hlavní potrubí na přípojku k rozvaděči. Vzduch mířící k rozvaděči do prachojemu proudí postranním otvorem, tedy tangenciálně, čímž vzniká vířivý pohyb díky kterému se těžší částice zachytávají na stěnách prachojemu.
- *Vzduchové filtry* – slouží k zachycení jemných částic, které se nezachytily v odolejovači, okapnici nebo v prachojemu.

Příslušenství k vedení vzduchu:

- *Zpětné záklopy* – mohou být jednoduché nebo dvojité. Jednoduchá zpětná záklopka dovozuje průchod stlačeného vzduchu pouze jedním směrem. Dvojitá zpětná záklopka má dva vstupy a jeden výstup, přičemž v případě že vzduch proudí jedním vstupem, tak druhý vstup je uzavřen. Dvojitá zpětná záklopka se používá zejména k oddělení obvodů přímočinné a samočinné brzdy u hnacích vozidel.

- *Odbočnice* – jsou montážní prvky, které se vkládají do hlavního potrubí tam, kde se potrubí rozvětčuje nebo odbočuje.
- *Kohouty* – používají se k uzavírání a otevírání vstupu do brzdových a jiných obvodů, nebo k vypouštění kondenzátu, apod.
- *Spojky* – slouží k propojování hlavních potrubí, zejména mezi jednotlivými vozy.
- *Přepouštěče* – využívají se hlavně u motorových vozů, kde slouží k zamezení plnění zároveň hlavního i přístrojového vzduchojemu. Je tím dosaženo kratší doby naplnění hlavního vzduchojemu a rychlejšího uvedení vozidla do pohotovosti.

Brzdič

Brzdiče samočinné brzdy slouží k ovládní samočinné tlakové brzdy vlaku na hnacím vozidle. K ovládní přímočinné brzdy vozidla potom slouží brzdič přímočinné brzdy.

Nastavením brzdiče do příslušné polohy dojde k odpovídající změně tlaku v hlavním potrubí. Přičemž snižováním tlaku v hlavním potrubí dochází k plnění brzdového válce, jeho zvyšováním naopak dochází k odbrzdování.



Obr. 12 Ovladač brzdiče DAKO BSE DAKO OBE-1 (<http://www.dako-cz.cz>)

Hlavní potrubí

Hlavní potrubí, někdy též průběžné potrubí, slouží k rozvodu stlačeného vzduchu z hlavního vzduchojemu přes brzdič ke všem následujícím vozům vlakové soupravy. Aby bylo vozidlo schopno vyvinout brzdící účinek, případně aby byla schopna vyvinout brzdící účinek vozidla zařazená za tímto vozidlem, musí být vystrojeno právě hlavním potrubím.

Vozy jsou také vystrojovány tzv. napájecím potrubím, které slouží pro rozvod vzduchu po vlaku k jiným než brzdícím účelům, tedy například k otevírání a zavírání dveří, apod.

Provozní tlak v hlavním potrubí, tedy při úplném odbrzdění, je 5 barů. Zatímco napájecí potrubí pracuje s tlakem 6 až 10 barů.

Pro spojování hlavních potrubí jednotlivých vozů slouží brzdové spojky a spojkové kohouty. Obdobou pro spojování napájecích potrubí jsou vzduchové spojky, což jsou v podstatě brzdové spojky zrcadlového provedení, aby nemohlo dojít ke vzájemnému propojení hlavního a napájecího potrubí.

Rozvaděč

Rozvaděč je základní částí celého brzdového systému. Je hlavním řídicím orgánem na každém vozidle, a jeho funkcí je řídit velikost tlaku v brzdovém válci na základě velikosti poklesu tlaku v hlavním potrubí.

Při provozním tlaku v hlavním potrubí, tedy při tlaku 5 barů, jsou naplněny prostory rozvaděče a pomocného vzduchojemu a brzdový válec je spojen s ovzduším. Při poklesu tlaku v hlavním potrubí, vlivem přestavení mechanismu uvnitř rozvaděče, dochází k plnění brzdového válce právě z pomocného vzduchojemu.



Obr. 13 Rozvaděč DAKO CVID (<http://www.dako-cz.cz>)

Rozvodový vzduchojem

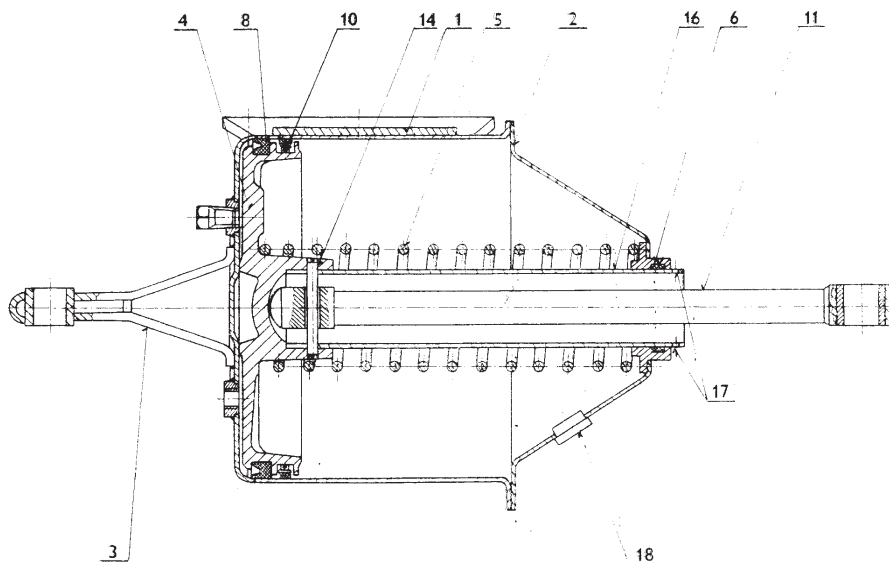
Rozvodový vzduchojem vytváří řídicí tlak pro rozvodové ústrojí v rozvaděči. Slouží jako zdroj informací pro porovnávání míry poklesu tlaku v hlavním potrubí. Plní se při prvotním plnění brzdy stlačeným vzduchem na hodnotu tlaku 5 barů, stejně jako vzduchojem pomocný. Po tomto naplnění se nadále tlak vzduchu v tomto vzduchojemu udržuje na konstantní hodnotě.

Pomocný vzduchojem

Pomocný vzduchojem je nedílnou součástí brzdové výstroje každého vozu. Jedná se o tlakovou nádobu, která je naplněna na provozní tlak 5 barů, a která slouží jako zásobník stlačeného vzduchu potřebného k plnění brzdového válce při brzdění. Objem této nádoby je pak závislý na zdvihovém objemu brzdových válců.

Brzdový válec

Brzdový válec je zdrojem mechanické přítlačné síly, která přes pákovi působí na brzdící elementy kola. Standardně bývá připevněn k rámu. Podle počtu pístů pak mohou být brzdové válce jednopístové nebo dvoupístové.



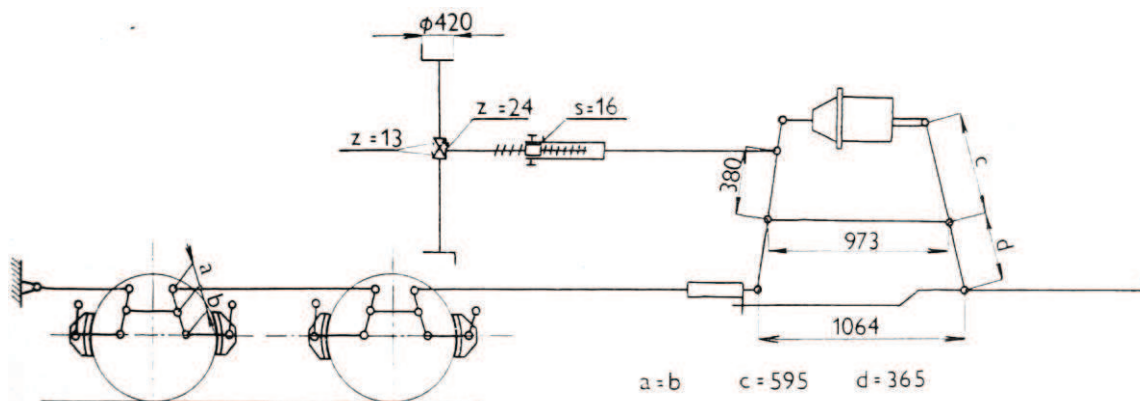
Obr. 14 Jednopístový brzdový válec se zabudovanou pístnicí (literatura [4])

4.1.3. Přenos mechanických sil

Jedná se o ty součásti brzdového systému, kterými se brzdící síla přenáší od brzdového válce k brzdovým elementům.

Pákoví

Aby nemuselo každé brzděné kolo k brzdění využívat samostatný brzdový válec, využívá se k brzdění převážně jeden nebo dva společné brzdové válce, ze kterých se přítlačná síla přenáší ke kolům pomocí systémů více či méně složitých pákových převodů.



Obr. 15 Schéma pákoví čtyřnápravového vozu včetně ruční brzdy (literatura [4])

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 29
---	------------------	-----------

Celý pákový převod můžeme rozdělit na několik hlavních částí:

- *Pákoví u brzdového válce* – je připevněno ke spodku vozu. Tvoří jej dvě páky (převodnice), z nichž jedna je připevněna k pístnici brzdového válce a druhá je připevněna ke dnu brzdového válce, k tzv. kotevníku. Tyto převodnice jsou ve střední části spojené táhlem (spojnicí).
- *Pákoví u pojezdu* – je tvořeno brzdovými rozporami, které plní funkci vahadla mezi oběma zdržemi jedné strany dvojkolí. Také zajišťují konstantní vzdálenost mezi zdržemi a zachycují příčné síly při brzdění vznikající kuželovitostí jízdní plochy. Na brzdové rozpory je brzdící účinek přenášen převodnicemi, které jsou vždy u jednoho dvojkolí, ve střední části, vázány spojnicí převodnic. Mezi dvojkolími jsou pak převodnice spojeny táhlem. Krajní převodnice je pevně uchycena k rámu buď přímo, nebo pomocí táhla.
- *Pákoví ruční brzdy* – je připojeno buď přímo k pístnici brzdového válce, nebo k přilehlé převodnici. Využívá se zejména vřetenová ruční brzda s vysokým převodem (běžně $i = 1400$), tak aby se dostatečně znásobila lidská síla působící na kolo ruční brzdy, která činí asi 0,5 kN.

Stavěč odlehlosti zdrží

Stavěč odlehlosti zdrží je zařízení, které slouží k regulaci délky brzdového tyčovní tak, aby zdvih pístu brzdového válce, ale zejména odlehlost zdrží od kola, byla v předepsaných mezích bez ohledu na opotřebení brzdových špalíků a jízdní plochy kol. Tím je zaručena rovnoměrnost reakční doby brzdy v celém rozsahu opotřebení.

Do pákoví je stavěč odlehlosti zdrží vestavěn místo jednoho táhla, případně na opačný konec převodnic u brzdového válce.

Podle způsobu účinku pak můžeme rozlišit:

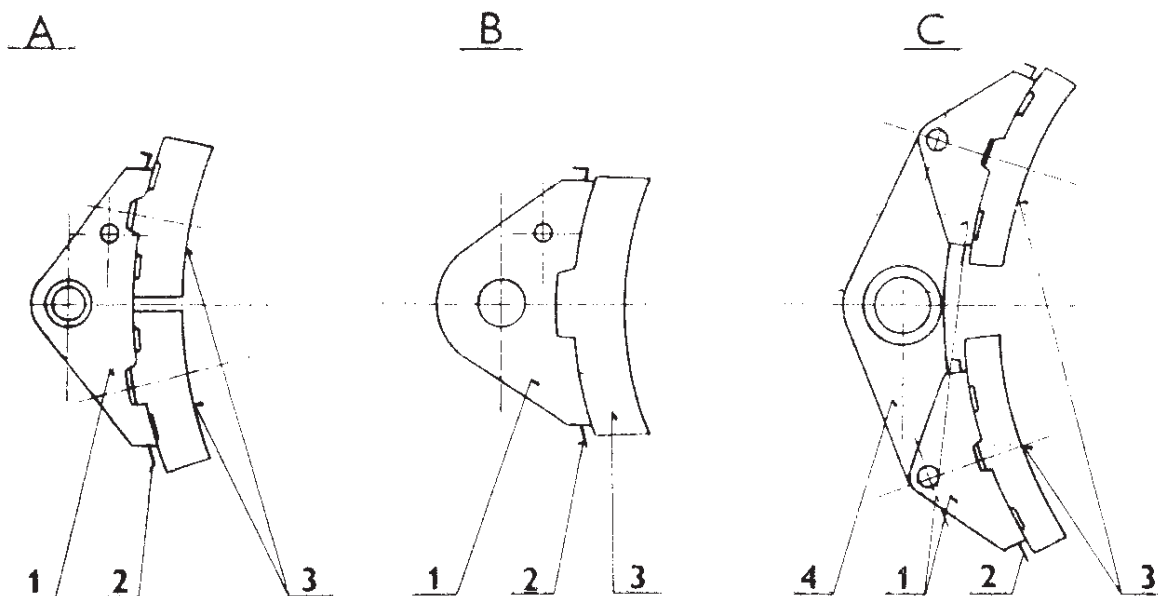
- *Jednostranné stavěče* – tyto stavěče pouze udržují konstantní zdvih brzdového válce a tím rovnoměrnou odlehlost brzdových zdrží.
- *Oboustranné stavěče* – zkracují nebo prodlužují délku brzdového tyčovní podle potřeby, což je nutné například u nákladních vozů, kdy po vyložení nákladu byla odlehlost zdrží příliš malá a při intenzivním brzdění prázdného vozu by hrozilo nebezpečí zablokování kol.

Brzdová zdrž

Brzdové zdrže slouží k vyvození přítlačných sil na jízdní plochu kola.

Nejčastěji se používají tyto brzdové zdrže:

- Dělená zdrž jednošpalíková (**Obr. 16 B**)
- Dělená zdrž dvojšpalíková (**Obr. 16 A**)
- Dvojčítá zdrž (**Obr. 16 C**)



1 – brzdová botka, 2 – pojistný klín, 3 – brzdový špalík, 4 - vahadlo

Obr. 16 Některé z používaných typů brzdových zdrží (literatura [4])

Dělené zdrže se skládají z botky zdrže a z brzdového špalíku. Botka zdrže je z jedné strany připevněna k brzdové rozpoře. Sama pak nese brzdový špalík, podle typu zdrže buď špalík jeden, nebo více. Špalík je vyměnitelnou částí brzdové zdrže a svojí plochou působí přímo na jízdní plochu kola.

Dvojčíté zdrže pak navíc obsahují ještě vahadlo. Ke každému konci vahadla jsou připevněny botky zdrží. Střední částí je pak vahadlo připevněno k brzdové rozpoře.

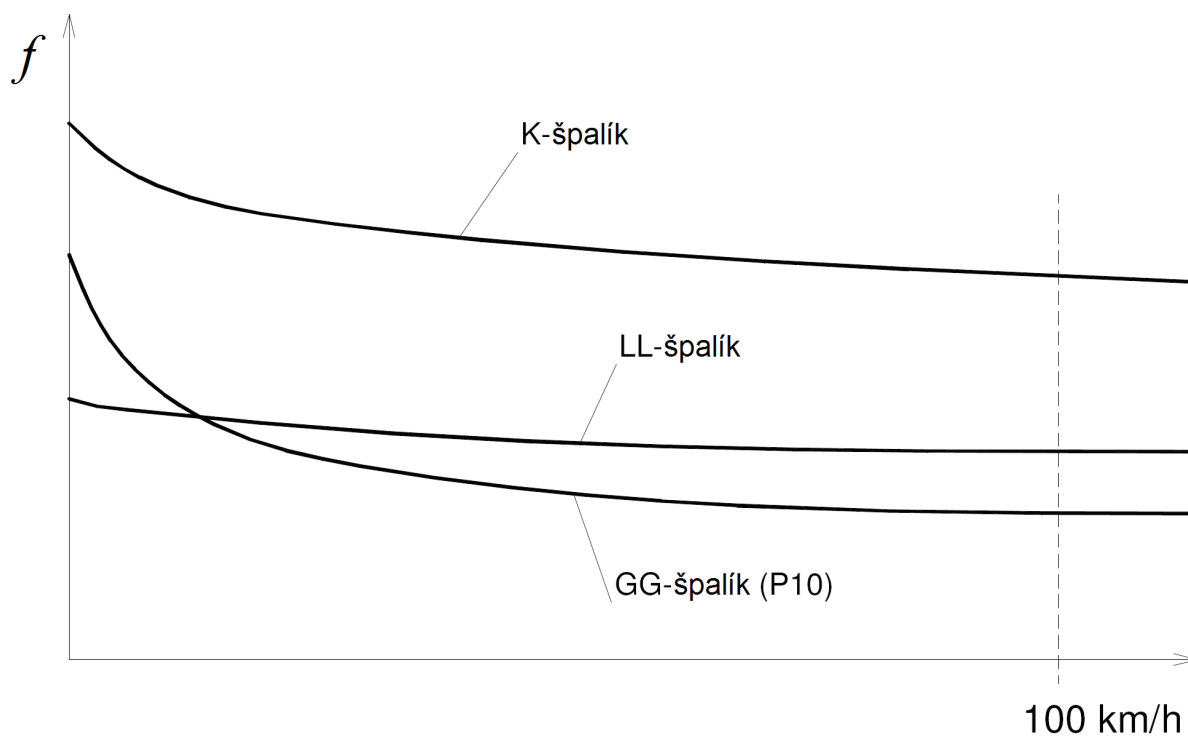
Nejrozšířenějším materiálem na výrobu brzdových špalíků je dnes šedá litina s příměsí fosforu pro dosažení lepšího součinitele tření (tzv. GG-špalík). V poslední době je trendem použití kompozitních materiálů. Litinové špalíky totiž přestávají vyhovovat z hlediska emisí hluku, a jejich nevýhodou je nerovnoměrný součinitel tření, který je ve vyšších rychlostech velmi nízký.

Z kompozitních materiálů na bázi plastů se vyvinulo několik typů špalíků:

- *L-špalík* – tento typ špalíku měl původně sloužit jako náhrada litinových GG-špalíků, ovšem jejich součinitel tření je stále mírně vyšší ($f \approx 0,17$) a nedovoluje nahradit litinový špalík v celém rozsahu rychlostí.

- *LL-špalík* – tento typ je možné použít jako náhradu současných litinových špalíků, protože má obdobné vlastnosti, zejména v oblasti součinitele tření ($f \approx 0,10 \div 0,15$), kde je jeho průběh velmi podobný litinovým špalíkům. Jeho výhodou jsou pak nižší emise hluku.
- *K-špalík* – tento typ je vhodný pro použití na vozech nové konstrukce, protože tyto špalíky mají vyšší součinitel tření a není tudíž potřeba tak vysokého přitlaku na brzdové zdrže. Osazení těchto špalíků na současné vozy by si naopak vyžádalo větší zásah do brzdového systému (změna přidavného ventilu – jeho charakteristiky; změna brzdového válce; změna převodového poměru).

Graf 3 Srovnání závislosti součinitelů tření různých materiálů na rychlosti (literatura [7])



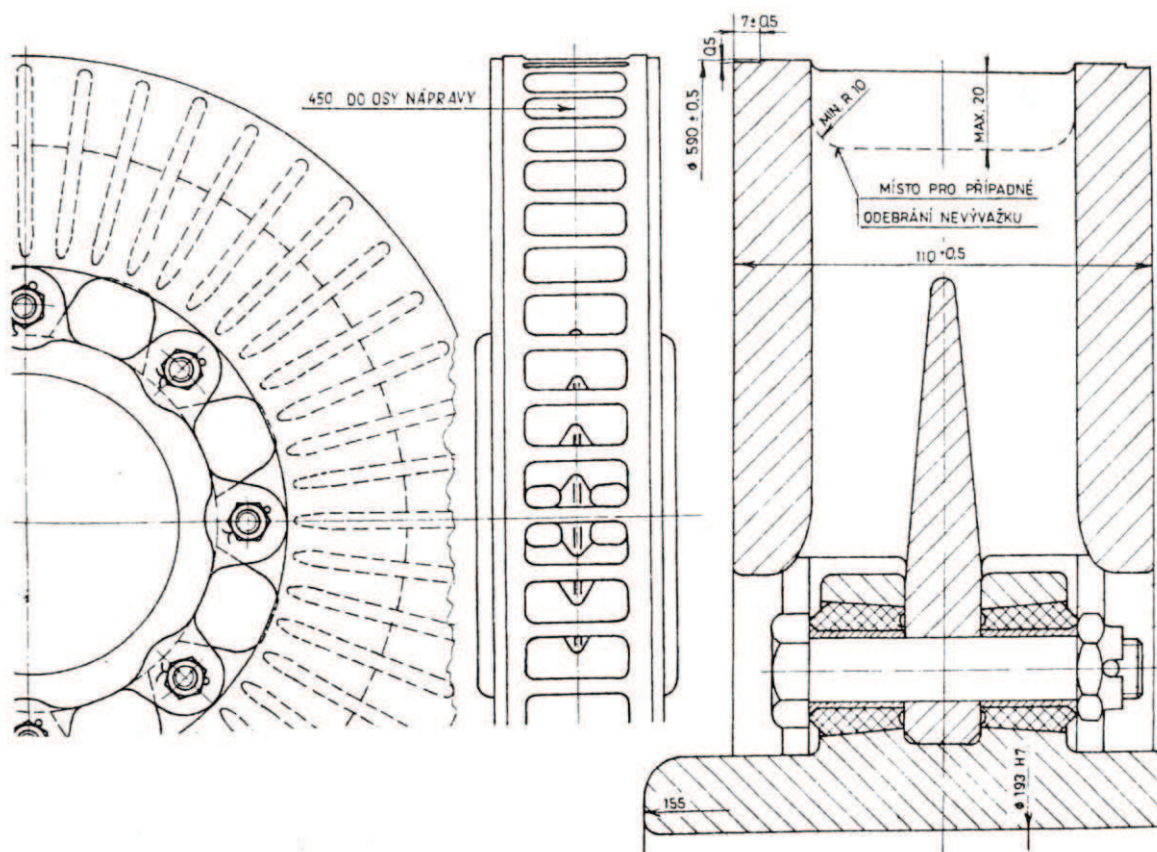
Jednou z nevýhod kompozitních materiálů je, že nedokáží dostatečně odvádět teplo vznikající při brzdění, a to se pak téměř všechno přenáší do kola a jeho jízdní plochy.

Brzdový kotouč

Vzhledem ke skutečnosti, že prostřednictvím brzdového kotouče dochází k přeměně kinetické energie na energii tepla, je kotouč tepelně velmi namáhán. Jako materiál se na brzdové kotouče používá šedá litina, případně tvárná litina nebo ocel na odlitky, podle toho v jakých podmínkách se kotouč používá.

Rozlišujeme dva typy brzdových kotoučů:

- Brzdový kotouč na dříku nápravy.
- Brzdový kotouč v disku kola.



Obr. 17 Brzdový kotouč o průměru 590 mm používaný u osobních vozů (literatura [6])

Z důvodů snižování hmotnosti se také zde zkouší nové materiály, jako jsou např. různé slitiny hliníku.

Brzdové čelisti

Brzdové čelisti se skládají z brzdového obložení a závěsek, pomocí kterých se přenáší přitlačná síla. Závěsky jsou pak přes konzoly připevněny k rámu podvozku.

Již od počátku jejich použití se vyrábí z kompozitních materiálů, a jejich součinitel tření je téměř nezávislý na rychlosti vozidla.

4.2. Ovládání

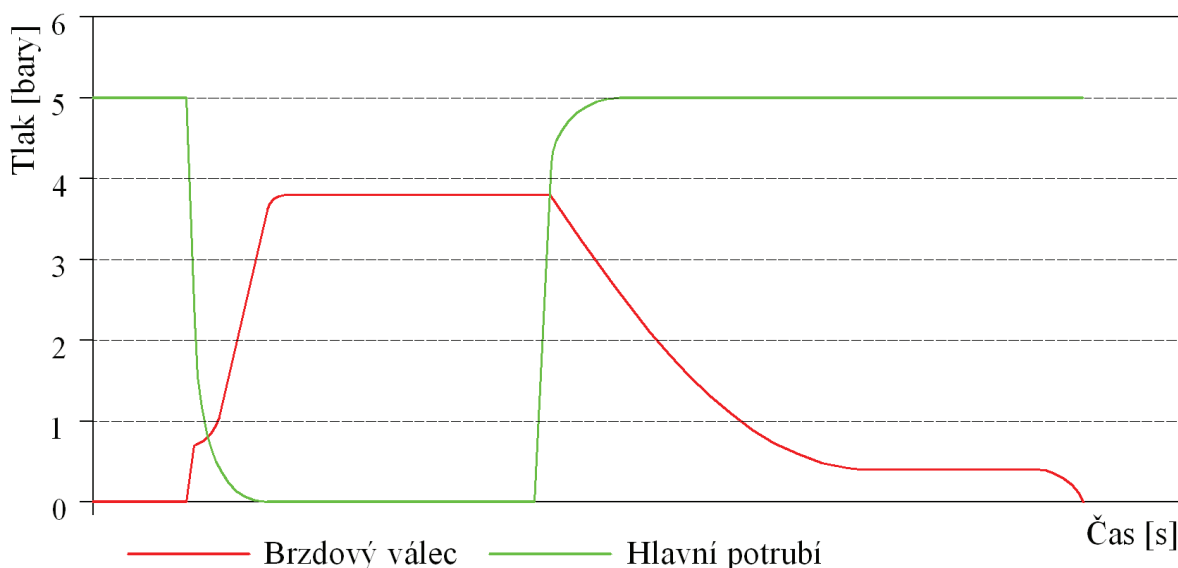
Tak jako se od sebe liší jednotlivé brzdové systémy, tak se od sebe odlišují i způsoby ovládání těchto brzdových systémů. Nejčastěji používanými způsoby ovládání jsou pneumatický a elektropneumatický.

4.2.1. Pneumatické ovládání

Průběžná samočinná brzda je charakteristická skutečností, že provozní tlak v hlavním potrubí je v odbrženém stavu udržován na hodnotě 5 barů. Základní řídicí prvky vozu, tedy

rozvaděč spolu s pomocným vzduchojemem, jsou umístěny mezi hlavním potrubím a brzdovým válcem. Pomocný vzduchojem, který slouží k plnění brzdového válce, je napájen z hlavního potrubí právě přes rozvaděč. Ten propojuje hlavní potrubí, pomocný vzduchojem i brzdový válec. Mechanismus v rozvaděči je nastaven tak, aby dle změn tlaku v hlavním potrubí správně dávkoval množství vzduchu proudícího do brzdového válce, případně tento brzdový válec při odbrzdování odvětrával.

Graf 4 Tlakový diagram – závislost průběhu tlaku v hlavním potrubí a brzdovém válci na čase



Pro úplné uvolnění brzdy se musí tlak v hlavním potrubí zvýšit na provozní tlak, tedy 5 barů. V tomto případě je tlak z brzdového válce přes rozvaděč odvětrán do ovzduší a pomocný vzduchojem je mezitím doplněn na maximální hodnotu tlaku. Naopak v případě přetržení vlaku tlak v hlavním potrubí klesne na hodnotu atmosférického tlaku, čímž dojde k přepouštění vzduchu z hlavního vzduchojemu do brzdového válce a k vývinu maximální brzdící síly na vozidlech v obou částech vlaku. Hlavní potrubí tedy působí zároveň jako napájecí potrubí, a také pro přenos signálů, což je výhodou. Na druhou stranu, toto má za následek komplikovanější regulaci brzdění, která je mimo jiné ovlivněna maximální průraznou rychlostí potrubí.

4.2.2. Elektropneumatické ovládání

Pro elektropneumatickou brzdu je charakteristický fakt, že je ovládána pomocí elektromagnetických ventilů. Elektropneumatická brzda je doplňkem ke klasické průběžné samočinné brzdě (dle vyhlášek UIC musí každý brzdový systém umožnit i ovládání pouze pomocí stlačeného vzduchu).

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 34
---	------------------	-----------

V zásadě rozlišujeme dva základní elektropneumatické systémy:

1. elektropneumatická brzda přímočinná,
2. elektropneumatická brzda samočinná.

Třetím systémem je elektropneumatická brzda univerzální, která umožňuje spolupráci samočinné elektropneumatické brzdy v součinnosti s brzdou pneumatickou, ale i přímočinné elektropneumatické brzdy s brzdou pneumatickou.

Přímočinná elektropneumatická brzda

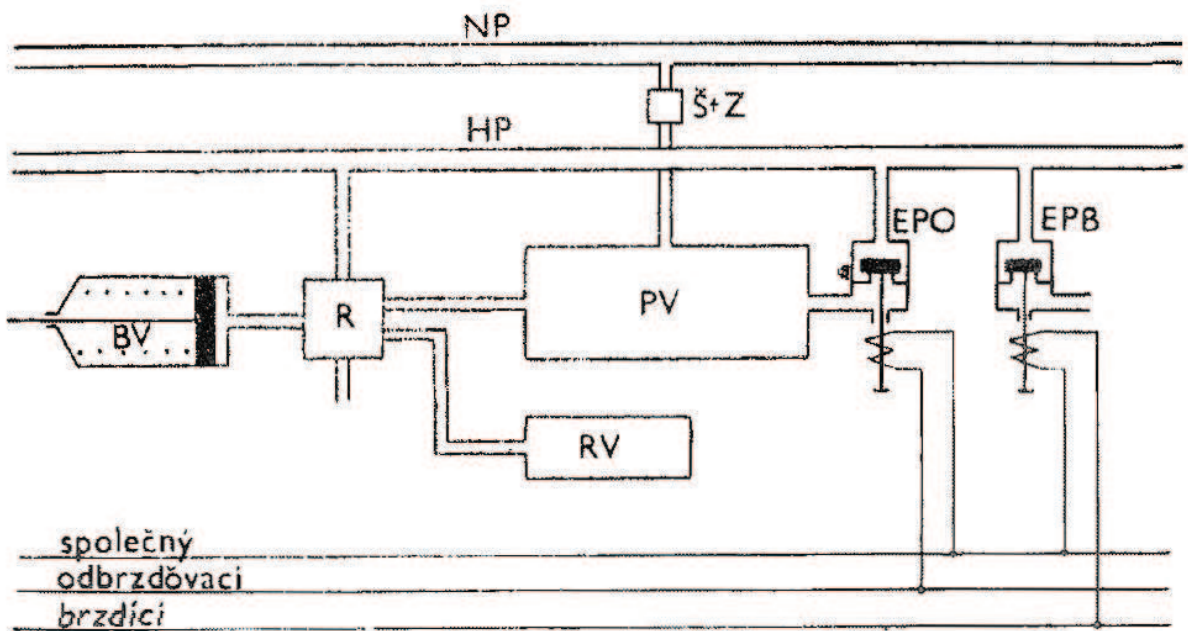
V případě přímočinné elektropneumatické brzdy je brzdový válec plněn a odvětránán z pomocného vzduchojemu přes elektromagnetické ventily. Ty jsou obecně u elektropneumatické brzdy vždy minimálně dva – jeden brzdící a druhý odbrzdňovací. Přímočinná brzda se využívá především u ucelených jednotek. Automatický účinek brzdy je přitom garantován elektrickým okruhem vedeným celou soupravou, který, kromě rozvodu řídicích signálů, je také zpětnou vazbou pro strojvedoucího.

Vlastností přímočinné brzdy je skutečnost, že oba systémy, tedy pneumatická brzda i elektropneumatická brzda, pracují na sobě nezávisle. Stlačený vzduch je tedy, stejně jako u průběžné samočinné tlakové brzdy, přiváděn hlavním potrubím do pomocného vzduchojemu, který je chráněn pojistným ventilem. Řídicí signály jsou z ovládacího zařízení přenášeny do celého vlaku elektrickou sběrníci. Tyto signály jsou na každém voze zpracovávány řídicí jednotkou, která ovládá množství stlačeného vzduchu v brzdovém válci pomocí elektromagnetických ventilů (brzdící a odbrzdňovací). Řídicí jednotka při stanovování množství tlaku vzduchu v brzdovém válci také vyhodnocuje jak aktuální nápravové zatížení, nebo rychlost, tak také bere v potaz případnou součinnost s dynamickými brzdami.

Samočinná elektropneumatická brzda

Oproti předchozí, samočinná elektropneumatická brzda je systém, ve kterém se jak brzdění, tak i odbrzdňování děje současně elektricky i pneumaticky.

Při přestavení brzdíče do brzdící polohy dojde k vybuzení brzdícího elektromagnetického ventilu, který odvětrává vzduch z hlavního potrubí, čímž dojde k běžnému přestavení rozvaděče a plnění brzdového válce z pomocného vzduchojemu stejně jako u pneumatického ovládní. Tím, že je hlavní potrubí odvětráváno na každém voze se doba plnění výrazně zkracuje a tím se zkracuje i délka zábrzděné dráhy. Toho je dosaženo také skutečností, že elektrické signály ve vodiči se šíří výrazně rychleji než signály tlakové v hlavním potrubí. Naopak při odbrzdňování je vybuzen ventil odbrzdňovací, který prostřednictvím pomocného vzduchojemu propojí napájecí a hlavní potrubí. Tím dojde k rychlému doplnění tlaku vzduchu v hlavním potrubí na původní hodnotu 5 barů, čímž se také výrazně snižuje vyprazdňovací doba brzdových válců.



Obr. 18 Schéma samočinné elektropneumatické brzdy (literatura [4])

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 36
---	------------------	-----------

5. POŽADAVKY NA BRZDOVÉ SYSTÉMY

Do jedné soupravy, zejména u nákladních vlaků, se zapojuje mnoho vozů různých typů, staveb a použitých brzdových systémů. Aby toto bylo možné, je pro bezpečnost železniční dopravy nutné, aby byla vzájemně zachována správná funkčnost brzdových systémů. Proto byly zavedeny požadavky na tyto brzdové systémy, které mají za úkol vymezit rámec požadavků v konkrétních oblastech, a tím zaručit potřebné vlastnosti.

K základním požadavkům na brzdové systémy patří zejména vyhlášky UIC. Dalšími požadavky jsou zejména funkčnost brzdového systému, jeho bezpečnost, a také velikost brzdícího účinku.

5.1. Požadavky UIC

Mezinárodní železniční unie stanoví pro provoz mezinárodních vlaků několik základních podmínek, které musí být splněny. Tyto podmínky jsou obsaženy ve vyhlášce UIC 540.

Těmito podmínkami jsou:

- Brzda musí být samočinná a k jejímu ovládní musí stačit stlačený vzduch a jediné potrubí, přičemž k ovládní brzdy je dovoleno používat i jiné zdroje (např. elektřinu), brzda musí být ovšem ovladatelná i stlačeným vzduchem samotným.
- Nové tlakové brzdy musí bez omezení účinkovat s brzdami staršími, již schválenými pro mezinárodní provoz.
- Normální provozní tlak činí 5 barů. Jeho snížení nebo zvýšení až o 1 bar nesmí ohrozit správnou činnost brzdy.
- Brzda musí být v pohotovostním stavu a v odbrzděné poloze, je-li v hlavním potrubí provozní tlak.

Brzda se nesmí přestavit do polohy plnicí, dokud je v brzdovém válci tlak vyšší nebo roven 0,3 baru. Při odbrzdování se musí brzda přestavit do plnicí polohy nejpozději v okamžiku, kdy tlak v hlavním potrubí dosáhne hodnoty 4,85 baru.

- Brzda musí umožnit rychlé zabrzdění náhlým a vydatným vypuštěním vzduchu z potrubí. Také musí umožnit jak stupňovité zabrzdění až do úplného zastavení, tak i plynulé úplné zabrzdění pozvolným vypouštěním vzduchu z potrubí. Při odbrzdování musí brzda umožnit stupňovité odbrzdění.
- Brzdí-li se z normálního provozního tlaku, musí se největšího tlaku v brzdovém válci dosáhnout snížením tlaku v hlavním potrubí o $1,5 \pm 0,1$ baru. Nejvyšší tlak v brzdovém válci musí být $3,8 \pm 0,1$ baru.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 37
---	------------------	-----------

- Plnicí doba musí být taková, aby plnění pomocných vzduchojemů a odbrzdování vozů probíhalo nerušeně a aby v potrubí nedocházelo ke značnému kolísání tlaku, které by mohlo vyvolat nežádoucí účinky zabrzdění sousedních vozidel.
- Brzda nesmí naskočit, jestliže plynulým únikem stlačeného vzduchu z hlavního potrubí v něm klesne tlak o 0,3 baru za 60 s.
- Brzda musí naskočit dříve než za 6 s, jestliže plynulým únikem z hlavního potrubí v něm klesne tlak o 0,6 baru za 6 s.
- Brzda musí být nevyčerpatelná, to znamená, že po rychlém zabrzdění v klidu stojícího vlaku a následné manipulaci s brzdíčem musí celkový tlak v brzdových válcích zůstat nejméně na úrovni 85 % celkového tlaku.
- Při normální obsluze brzdy a zejména právě při rychločinném brzdění nesmí vzniknout žádné škodlivé podélné rázy.
- Průrazná rychlost jako podíl délky hlavního potrubí (vzdálenost od brzdíče 1. vozu po spojkový kohout posledního vozu) a průrazné doby musí být nejméně 250 m/s.
- Při odbrzdování po úplném zabrzdění z normálního provozního tlaku musí být možno udržovat v hlavním potrubí tlak 6 barů nejméně 10 s v poloze osobní (40 s v poloze nákladní), přičemž nesmí dojít u žádného brzdového prostoru k přebití.
- Brzda musí disponovat zařízením, které umožní manuální ruční odbrzdění brzdy.

5.2. Požadavky na průběh brzdícího účinku

Dnešní brzdové systémy je nutné stavět takovým způsobem, aby byly v každém případě schopny zastavit na požadované dráze. Pro optimalizaci tohoto procesu se využívají různé režimy brzdění, které umožňují upravit vlastnosti brzdového systému požadovaným způsobem.

5.2.1. Režimy brzdění

Vlaková souprava může být v zásadě brzděna dvěma způsoby, a to I. způsobem brzdění nebo II. způsobem brzdění:

1. **I. způsob brzdění** – brzda s rychlým vývinem brzdícího účinku na obvodu kol. Vyznačuje se rychlým plněním, resp. vyprazdňováním, brzdového válce. Tento způsob brzdění se využívá u všech vlaků osobní dopravy, ale také u nákladních vlaků, které mají stanovenou rychlost vyšší než 100 km/h.
 - režim P (osobní) – tento režim se používá většinou u osobních vlaků při nižších rychlostech. V tomto režimu brzdění se brzdové válce plní tlakem nižším než maximálním (u brzd Dako je to 1,9 baru).

- režim R (rychlík) – byla dodatečně přidána pro výkonné brzdy rychlých osobních vlaků. V porovnání s režimem P se vyznačuje vyšší brzdícím účinkem, brzdové válce se mohou plnit nižším tlakem nebo tlakem maximálním, v závislosti na aktuální rychlosti.
 - režim R+Mg (rychlík spolu s přidavnou magnetickou kolejnicovou brzdou) – tento režim musí být použit při rychlostech vyšších než 160 km/h.
- 2. II. způsob brzdění** – brzda s pomalým vývinem brzdícího účinku na obvodu kol. Oproti I. způsobu brzdění se brzdové válce plní, resp. vyprazdňují, mnohem pomaleji, a to proto, aby v soupravě nedocházelo k nepříznivým dynamickým vlivům.
- režim G (nákladní)

Rozdíl mezi těmito režimy brzdění je v době, která je potřebná pro naplnění brzdového válce na 95 % maximálního tlaku, a v době potřebné k vyprázdnění brzdového válce na hodnotu 0,4 baru. Tyto rozdíly jsou uvedeny v následující tabulce (**Tab. 1**).

Tab. 1 Doby plnění a vyprazdňování brzdového válce samočinné průběžné brzdy (lit. [11])

Režim brzdění	Doba plnění [s]	Doba vyprazdňování [s]
G	18 – 30 (45)*	45 – 60
P	6 – 10	15 – 20
R (R + Mg)	3 – 5	15 – 20

* - hodnota 45 vteřin platí pro starší vozidla

Hodnoty uvedené v tabulce (**Tab. 1**) ovšem platí pouze pro průběžnou samočinnou tlakovou brzdu. V případě použití elektropneumatické brzdy jsou tyto hodnoty uvedeny v tabulce (**Tab. 2**). Elektropneumatická brzda se od klasické brzdy liší významně jejím ovládním, což má značný vliv právě na dané doby plnění a vyprazdňování brzdového válce.

Tab. 2 Doby plnění a vyprazdňování brzdového válce elektropneumatické brzdy (lit. [11])

Režim brzdění	Doba plnění [s]	Doba vyprazdňování [s]
G	3 – 6	7 – 12
P, R	3 – 5	7 – 12

5.2.2. Přestavovače

Jedním ze základních prvků regulace brzdícího účinku, které jsou osazeny dnes už na všech vozech, jsou přestavovače. Ty mohou být podle ovládní buď ruční, nebo automatické.

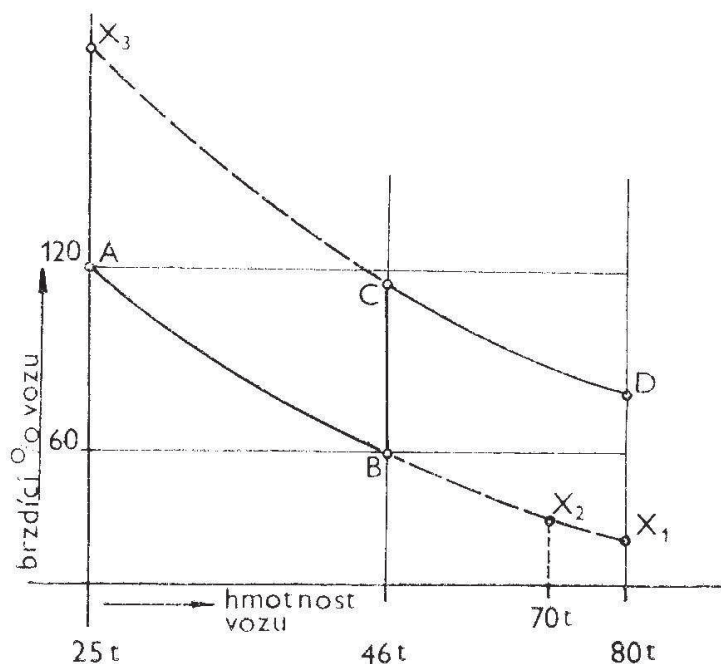
U nákladních vozů se používají přestavovače P – L, případně P – ½ L – L, (prázdný – ložený, příp. prázdný – půlložený – ložený). Obdobou tohoto přestavovače u osobních vozů je přestavovač P – R, (přestavovač osobní – rychlík). Tento může být případně doplněn o polohu Mg, (magnetická kolejnicová brzda), pokud je vůz tímto systémem vybaven.

Ruční přestavovače se ovládají pákou na boku vozu, zatímco automatické přestavovače jsou ovládány automaticky prostřednictvím snímače.

Dle vyhlášek UIC se brzdící účinek, vyjádřený pomocí brzdících procent, musí pohybovat v určitém intervalu. To z toho důvodu, aby nedocházelo k zablokování kol na jedné straně, anebo nedostatečnému brzdícímu účinku na straně druhé.

Přestavovač P – L (Prázdný – Ložený)

Nákladní přestavovač P – L reguluje brzdící účinek snížením hodnoty maximálního tlaku v brzdovém válci z hodnoty 3,8 baru na hodnoty nižší, které se pohybují kolem 2 barů. Poloha přestavovače je určována ruční klikou, která musí být umístěna na obou stranách vozidla. Přičemž klika má předpisem přesně stanovený tvar a barvu. Nastavením této kliky do příslušné polohy dojde k nastavení přídavného ventilu (např. DAKO-D), který omezí tlak vzduchu v brzdovém válci na potřebnou hodnotu.



Obr. 19 Závislost brzdících procent na hmotnosti vozu P – L přestavovače (lit. [4])

Přestavovač P – R (Osobní – Rychlík)

Funkcí přestavovače P – R je obdobná jako u nákladního přestavovače P – L. Tedy regulace brzdícího účinku pomocí úpravy tlaku vzduchu v brzdovém válci. Rozdíl oproti

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 40
---	------------------	-----------

přestavovači P – L je ovšem v logických potřebách pro změnu brzdícího účinku u osobních vozů. U nich totiž změna hmotnosti není natolik razantní jako u nákladních vozů. Naopak při provozu dochází k velkým změnám rychlostí, což u zdržových brzd vyvolává odpovídající změnu součinitele tření. Vzhledem ke skutečnosti, že součinitel tření má jiný průběh než součinitel adheze, je potřeba korigovat přítlačnou sílu zdrží takovým způsobem, aby nedošlo k překročení meze adheze, tedy k zablokování kol, resp. smyku kola po kolejnici.

Pokud je přestavovač nastaven v režimu P, plní se brzdový válec maximálním tlakem $1,9 \pm 0,1$ baru, bez ohledu na to jakou rychlostí vůz skutečně jede. V případě, že je nastaven režim jízdy R, probíhá úprava tlaku vzduchu v brzdovém válci automaticky v závislosti na aktuální rychlosti. Brzdění pak může probíhat ve dvou stupních, ve vysokém brzdícím stupni při maximálním tlaku v brzdovém válci $3,8 \pm 0,1$ baru, nebo při nízkém brzdícím stupni kdy se brzdový válec plní maximálním tlakem $1,9 \pm 0,1$ baru. K těmto úpravám tlaku vzduchu v brzdovém válci se využívá odstředivý regulátor (např. DAKO – K), který je osazen na ložiskové skříni jednoho z dvojkolí vozu. Tento regulátor pak může být ve třech polohách:

- poloha klidová – při rychlostech do 50 km/h
- poloha částečně rozevřená – při rychlostech od 50 do 85 km/h
- poloha rozevřená – při rychlostech od 85 km/h výše.

Pokud se tedy brzdí z rychlostí vyšších než je 85 km/h, plní se brzdový válec tlakem 3,8 baru až do rychlosti 50 km/h, kdy se tlak v brzdovém válci sníží na 1,9 baru. V případě, že se při poklesu rychlosti pod 85 km/h rychlost nesníží pod 50 km/h do 12 s, dojde rovněž ke snížení tlaku vzduchu v brzdovém válci na 1,9 baru. Pokud ale brzdění začíná na rychlosti nižší než je 85 km/h, brzdový válec se rovnou plní na 1,9 baru.

Přestavovač G – P (Nákladní – Osobní)

Tento přestavovač je na vozech z důvodu možnosti změny plnicích a vyprazdňovacích dob brzdového válce. Toho se využívá k omezení podélných dynamických rázů u dlouhých souprav.

Přestavením samotného přestavovače dojde k přestavení přestavného kohoutu v rozvaděči vozu. Tím dojde k potřebnému upravení plnicích a vyprazdňovacích dob brzdových válců.

5.3. Bezpečnostní požadavky

Bezpečnostní požadavky jsou také důležitým prvkem brzdového systému. Svou funkcí umožňují omezení důsledků nepředvídaných událostí.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 41
---	------------------	-----------

5.3.1. Protismykové zařízení

Velikost brzdícího účinku je závislá především na součiniteli adheze mezi kolem a kolejnicí (v případě, že bereme v potaz pouze adhezní brzdy). Aby tedy nedocházelo k zablokování kol mezi kolem a kolejnicí je nutné vozy vybavit tzv. protismykovým zařízením.

Toto protismykové zařízení se používá u všech vozidel s vysokým využitím adheze během brzdění. Moderní protismykové zařízení navíc optimalizuje využití dostupné adheze mezi kolem a kolejnicí.

Elektronické protismykové zařízení

Obvodová rychlost dvojkolí se zjišťuje přímo z nápravy a pomocí generátoru se převádí na elektrický signál. Tento signál je zpracován mikroprocesorem, který s využitím logických obvodů nastaví protismykový ventil. Ten pak opět optimalizuje tlak v brzdovém válci vzhledem k aktuálním podmínkám.

5.3.2. Potrubní zrychlovač

Toto zařízení slouží k urychlenému vyprázdnění hlavního potrubí při rychločinném brzdění až na hodnotu nižší než 2,5 baru. Tím dojde ke zkrácení zábrzdné dráhy oproti situaci, kdy není potrubní zrychlovač použit.

Potrubní zrychlovač reaguje na rychlý pokles tlaku v hlavním potrubí a zajistí další rychlejší pokles tlaku vzduchu. Také ovšem musí být konstruován tak, aby byl schopen vypustit vzduch z hlavního potrubí bez dalších nepříznivých vlivů na chování vlaku nebo vozu.

5.3.3. Záchranná brzda

Záchranná brzda umožňuje cestujícímu zastavit vlak v jakémkoliv případě ohrožení bezpečnosti. Každý vůz je proto vybaven rukojetí záchranné brzdy, čímž má cestující přímý vliv na tlak vzduchu v průběžném hlavním potrubí vlaku.

5.3.4. Přemostění záchranné brzdy

Skutečnost ukázala, že přímý vliv cestujícího na zastavení vlaku není z hlediska pozdějšího řešení krizové situace vždy ideální. Především zastaví-li totiž cestující vlak, po použití záchranné brzdy, v tunelu, na mostě, nebo jiném místě nevhodném pro provedení záchranných operací, může to být velmi nebezpečné např. při vzniku požáru. Proto mají moderní soupravy nepřímý vliv záchranné brzdy na tlak vzduchu v průběžném brzdovém potrubí tzv. přemostěním záchranné brzdy. Strojvedoucí je vizuálně informován o použití záchranné brzdy a sám rozhodne, zda chce vlak okamžitě zastavit. V takovém případě nemusí nic obsluhovat a vlak po určité časové prodlevě zastaví. Pokud je vlak na nevhodném místě,

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 42
---	------------------	-----------

uvede strojvedoucí v činnost přemostění záchranné brzdy, čímž se zabrání automatickému odvzdušnění hlavního potrubí.

5.3.5. Detektor vykolejení

Funkcí detektoru vykolejení je hlídat a rozpoznávat vykolejené vozy a v případě vykolejení aktivovat záchrannou brzdu a tím snížit následné škody.

Detektor vykolejení vyhodnocuje okamžité hodnoty svislých vibrací. Pokud tyto hodnoty svislého zrychlení odpovídají přirozené dopravě po železniční síti, detektor nereaguje. V případě že se tyto hodnoty zvýší, a budou odpovídat vykolejení vozidla, detektor sepne ventil, který odvzdušní hlavní potrubí.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 43
---	------------------	-----------

6. PŘÍKLADY STANDARDNÍCH VYBAVENÍ VOZŮ

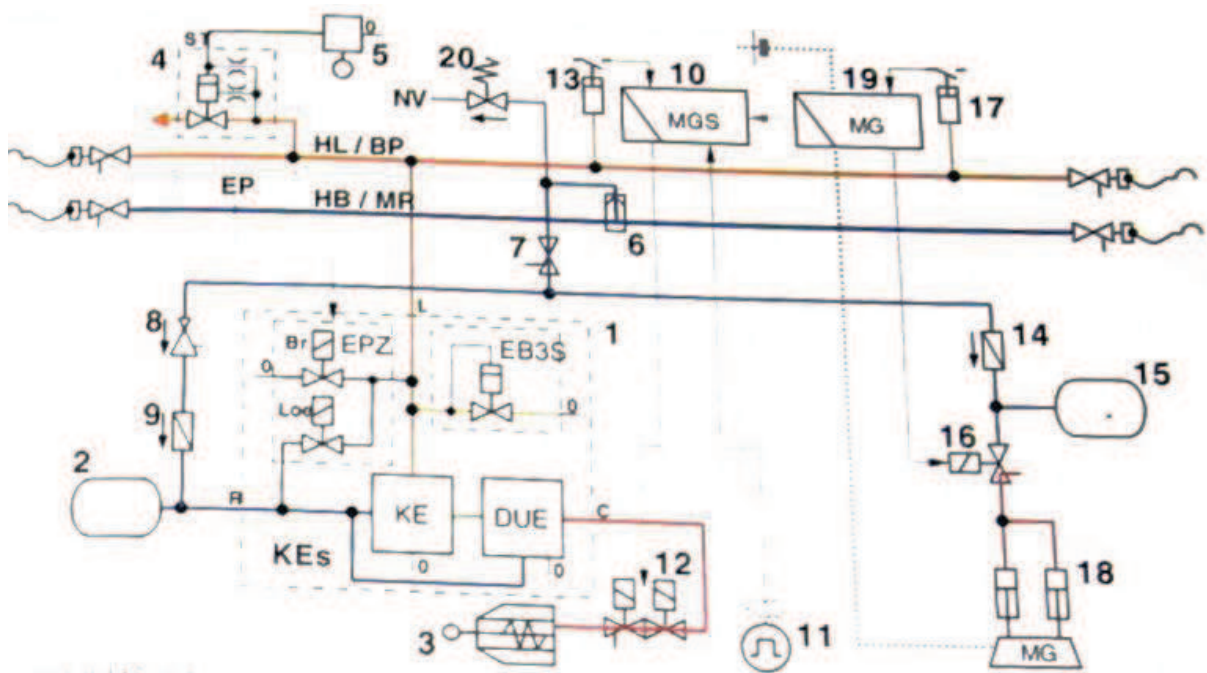
Základní princip všech brzdových systémů využívajících třecí brzdu je ve své podstatě stejný. Odlišnosti jsou pak v tomto případě dány použitím a funkcí vozů, na kterých je tento systém vystrojen.

Základem každého brzdového systému je rozvaděč spolu s pomocným vzduchojemem. Důležitým prvkem je také hlavní průběžné potrubí, kterým se doplňuje pomocný vzduchojem, a kterým se pomocí změny tlaku přenáší signály o brzdění, případně odbrzdění vozidla. Rozvaděčem je pak přepouštěno odpovídající množství vzduchu z pomocného vzduchojemu do brzdového válce. Těch může být i více, v závislosti na daných požadavcích. Z brzdového válce se pak přenáší mechanická síla na brzdové zdrže, resp. čelisti, které následně vyvozují brzdící moment na dvojkolí. Pro zajištění rovnoměrné reakční doby při brzdění je pak na pákoví mezi brzdovou zdrží a brzdovým válcem osazen stavěč zdrží. Ten zaručuje stejnou odlehlost brzdových zdrží bez ohledu na jejich opotřebení.

6.1. Brzdový systém osobního 4nápravového vozu vystrojeného kotoučovou brzdou a magnetickou kolejnicovou brzdou

Vzhledem k odlišným vlastnostem kotoučové a zdržové brzdy, liší se i konstrukce brzdových systémů vystrojených právě kotoučovou brzdou. Vzhledem k téměř neměnnému součiniteli tření u kotoučové brzdy není potřeba mít dva brzdící stupně jako u zdržové brzdy. Proto je pro každý režim brzdění zvolen pouze jeden pracovní tlak. Pro režim „P“ je to maximální tlak v brzdovém válci cca 3,0 baru, pro režim „R“ je to pak maximálních 3,8 baru. Tím na rozdíl od zdržové brzdy odpadá potřeba odstředivého regulátoru, který ve výstroji kotoučové brzdy není. Dále také odpadá přídavný ventil DAKO-R, který je nahrazen přídavným ventilem DAKO-D, který se nastavuje ručně pomocí přestavovače P – R.

Dalším podstatným rozdílem oproti starším rychlíkovým vozům vystrojeným zdržovou brzdou je způsob ovládání. Ten je v dnešní době řešen zejména elektropneumaticky, čímž je dosaženo dostatečného brzdícího účinku i při brzdění z vyšších rychlostí.

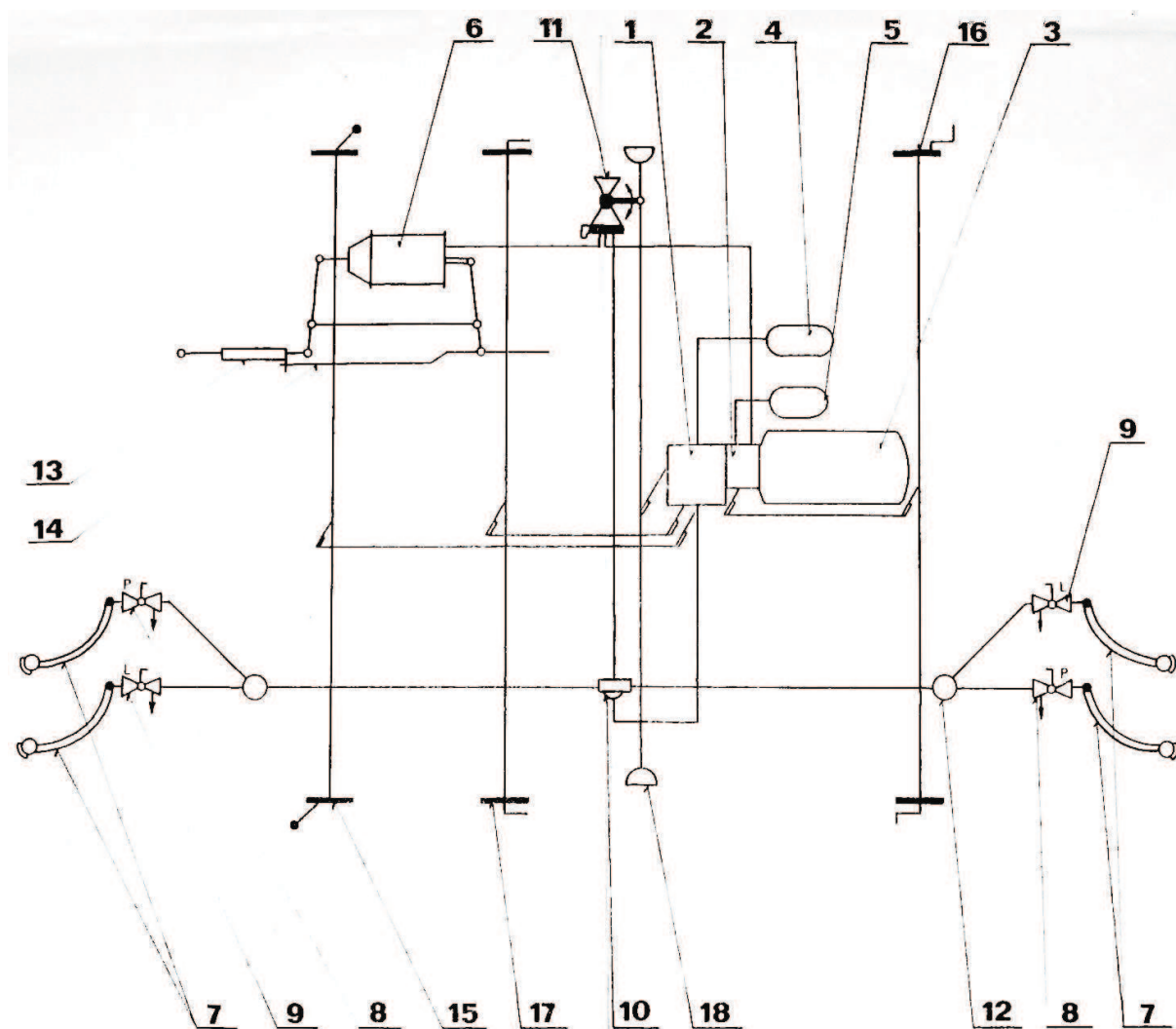


1 – řídicí jednotka, 2 – pomocný vzduchojem, 3 – brzdový válec, 4 – záchraná brzda, 10 – zařízení protiskluzové ochrany, 18 – magnetická kolejnicová brzda, BP – hlavní potrubí, MR – napájecí potrubí

Obr. 20 Schéma brzdového systému Knorr osobního vozu (literatura [14])

6.2. Brzdový systém nákladního 4nápravového (2nápravového) vozu vstrojeného zdržovou brzdou s ručním přestavovačem

Nákladní vozy pro režim „s“ jsou v současné době nejpočetnější skupinou vozů u nás. Oproti brzdovému systému osobních vozů je rozvaděč doplněn přídatným ventilem DAKO-D, který umožňuje brzdění v závislosti na hmotnosti vozidla. Změna brzdícího účinku se pak provádí buď ručně prostřednictvím přestavovače P – L, resp. P – ½ L – L, nebo automatickým snímáním zatížení, kdy se podle aktuální hmotnosti nastaví odpovídající režim brzdění.



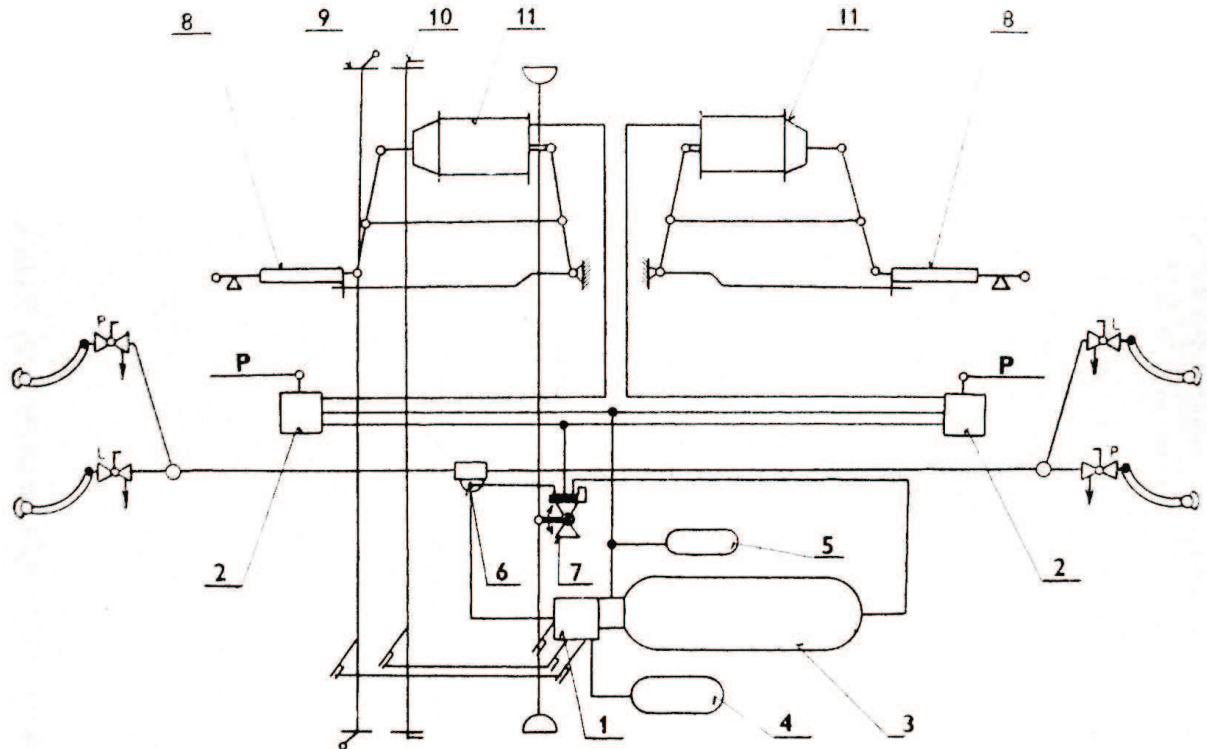
- 1 – rozvaděč, 2 – přidavný ventil, 3 – pomocný vzduchojem, 4 – rozvodový vzduchojem,
 5 – řídicí vzduchojem, 6 – brzdový válec, 7 – brzdová spojka, 8 – spojkový kohout pravý,
 9 – spojkový kohout levý, 10 – prachojem, 11 – samočinný odbrzdovač, 12 – odbočnice,
 13 – staveč zdrží, 14 – regulační tyč, 15 – přestavovač G – P, 16 – přestavovač P – L,
 17 – přestavovač zapnuto – vypnuto, 18 – oko táhla samočinného odbrzdovače

Obr. 21 Tlaková brzda nákladního vozu režimu „s“ (literatura [4])

6.3. Brzdový systém nákladního 4nápravového vozu vystrojeného zdržovou brzdou s automatickým přestavovačem

Na rozdíl od vozů pro režim „s“ je u vozů pro režim „ss“, tedy vozy pro rychlost do 120 km/h, podmínka, že brzdící účinek musí být plynule regulován s ohledem na aktuálním zatížení. V případě tohoto snímače a přidavného ventilu se opěrka nenastavuje pouze ve dvou, resp. třech polohách, ale její poloha se mění plynule podle aktuálního zatížení.

Tyto brzdové systémy jsou vystrojeny jedním přídatným ventilem pro každý podvozek zvlášť. To z důvodu možnosti nerovnoměrného zatížení podvozků a z důvodu vyšší účinnosti jsou i brzdové válce vystrojovány zvlášť pro každý podvozek, resp. pojezd.



1 – rozvaděč, 2 – přídatný ventil, 3 – pomocný vzduchojem, 4 – rozvodový vzduchojem, 5 – řídicí vzduchojem, 6 – prachojem, 7 – samočinný odbrzdovač, 8 – stavěč zdrží, 9 – přestavovač G – P, 10 – přestavovač zapnuto – vypnuto, 11 – brzdový válec

Obr. 22 Tlaková brzda nákladního vozu režimu „ss“ (literatura [4])

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 47
---	------------------	-----------

7. TRENDY V KONSTRUKCI BRZDOVÝCH SYSTÉMŮ

Za obecnými trendy nejen v železniční dopravě v současné době, kdy roste poptávka po dopravě obecně, stojí zejména potřeba zvyšování konkurenceschopnosti a s tím spojeného ekonomického růstu. S tím souvisí, resp. z toho vyplývají i současné trendy právě v železniční dopravě, ke kterým se řadí zvyšování rychlostí přepravy a komfortu cestování v případě osobní dopravy. V případě nákladní dopravy je to pak zvyšování hmotnosti na nápravu a rychlosti.

Trendy samotné pak lze rozdělit do několika podkapitol:

1. Hnací vozidla
2. Osobní vozy
3. Nákladní vozy

V těchto jednotlivých podkapitolách budou rozebrány současné trendy jim příslušející.

7.1. Hnací vozidla

Hnací vozidla se obecně v oblasti podvozku potýkají s nedostatkem místa zejména z důvodu integrace pohonu a přenosu tažných sil a s tím spojených zařízení. Od toho se také odvíjí uzpůsobení brzdového systému. U dnes běžně vyvíjených vozidel, která se konstruují na rychlosti 200 km/h a vyšší, je tedy primárně využíváno trakčních motorů, které pracují jako elektrodynamická brzda. Jako doplňková se používá kotoučová brzda, přesunutá do disku kol. S tím také úzce souvisí i použití brzdových jednotek, které budou disponovat kompaktními rozměry a nízkou hmotností.

Ovládání je řešeno elektrickou cestou v podobě ovladače BSE, resp. elektropneumatické brzdy z důvodu poskytnutí vyššího výkonu vozidla.

7.2. Osobní vozy

Dnešní vyráběné vozy se konstruují, stejně jako lokomotivy, na rychlosti 200 km/h a vyšší. Z toho hlediska se využívají převážně brzdy kotoučové s kotouči umístěnými na dřívku nápravy. Ty se navíc doplňují o sekundární brzdový systém, kterým může být například magnetická kolejnicová brzda, přičemž její účel je zejména ve vyšší bezpečnosti při mimořádných událostech. Na druhou stranu je toto řešení stále omezováno danou adhezí mezi kolem a kolejnicí. Z tohoto hlediska se vyvíjí také neadhezní brzdové systémy, jako je např. brzda vířivými proudy.

Také zde dochází k používání nových materiálů, jako jsou různé lehké, ale pevné slitiny kovů, které mají za následek zejména vyšší brzdící účinek. To znamená snahu mimo jiné snižovat hmotnost samotných kotoučů z důvodu neodpružených hmot. Nebo také

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 48
---	------------------	-----------

optimalizace tvaru brzdových kotoučů za účelem vyšší odolnosti a lepšího chlazení. To má ve výsledku pozitivní vliv na brzdící účinek. Výsledkem je pak mimo jiné také vyšší životnost brzdového systému, s čímž souvisí i ekonomická nákladnost.

Samozřejmostí je dnes také ovládání pomocí elektropneumatických systémů.

7.3. Jednotky

Ucelené vlakové soupravy jsou v podstatě kombinací výše uvedených hnacích vozidel a osobních vozů. Proto se jimi budu zabývat odděleně, a to v závislosti na jejich použití.

Mohou tedy být:

1. Příměstské jednotky
2. Vysokorychlostní jednotky

7.3.1. Příměstské jednotky

U příměstských jednotek se neklade natolik důraz na maximální rychlost, jako spíše na maximální akceleraci, případně deceleraci. Z toho vyplývají i požadavky na tyto jednotky, kde je velký důraz kladen na samotný brzdový systém, který musí mít odpovídající výkon a především účinnost. Nabízí se zejména použití kotoučové brzdy, s využitím moderních materiálů a postupů. Dále elektrodynamická brzda případně doplněná o elektropneumatické ovládání, které brzdový výkon ještě zvyšují.

7.3.2. Vysokorychlostní jednotky

Naopak u vysokorychlostních jednotek je tomu právě naopak. Jejich základním požadavkem je právě maximální rychlost, s ohledem na tomu úměrnou bezpečnost. Ta je pak samozřejmě dosažena i pomocí kvalitních brzdových systémů, které musí být schopné vydržet i dlouhodobé účinkování bez tzv. vadnutí brzdy. Přičemž se také nabízí různá řešení, ať už adhezní nebo neadhezní, jako jsou například elektrodynamická brzda, nebo brzda vířivými proudy, apod. Samozřejmostí je pak doplnění o elektropneumatické ovládání.

7.4. Nákladní vozy

Nákladní vozy jsou nejpočetnější skupinou železničních vozů. V drtivé většině jsou vybaveny právě zdržovými brzdami. Vzhledem k velkému počtu je jejich rekonstrukce velmi neekonomická. Proto se jejich brzdící účinek zvyšuje inovací a vývojem nových materiálů a výrobních postupů.

Důležitým parametrem, nejen s ohledem na pohodlí lidí žijících v okolí železnice, je hladina emisí hluku, kterou vozidla produkují nejen při brzdění. Tento problém můžeme pozorovat zejména u nákladních vlaků, což je dáno hlavně použitým brzdovým systémem

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 49
---	------------------	-----------

(zdržová brzda) a také větší délkou souprav. Trendem tedy je snaha tuto hladinu co nejvíce snížit. Vedle stavebních úprav infrastruktury se dnes stále více dostávají do popředí také technologické úpravy na vozidlech. Nejvíce se využívá například optimalizace použitých materiálů tak, aby se hluk, který vydávají, co nejvíce minimalizoval. K tomu se využívají různé typy kompozitních materiálů v podobě K-špalíků nebo LL-špalíků.

Dalším podstatným trendem je snižování hmotností nejen celého brzdového systému tak, aby bylo umožněno přepravovat co největší náklady. Aby se toho dosáhlo, mohou se používat různé kompaktní jednotky, ať už zdržové nebo dokonce kotoučové. Oblast použití těchto kotoučových brzd by byla v případě rychlostí vyšších, než jsou v současnosti používané, tedy 120 km/h. Přepravování nákladních vlaků tak vysokými rychlostmi má ale vliv na nápravové zatížení, které musí být menší. Navíc si to vyžaduje velké investice do vozového parku a infrastruktury.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 50
---	------------------	-----------

8. ZÁVĚR

Brzdové systémy jsou systémy velmi složité. Jako takové vyžaduje jejich řešení odpovídající znalosti, zejména z oblastí mechaniky a pneumatiky, případně dalších.

Trendy v konstrukci brzdových systémů kolejových vozidel. To je název této bakalářské práce, který určitě nabízí spoustu možností řešení. Řešení popsané na těchto stránkách je jistě jedním z nich.

Cílem bakalářské práce bylo popsat nejen dnes základní používané brzdové systémy, ale stejně tak i ty méně používané, včetně jednotlivých aspektů k nim příslušejících. Těmi může být od obecného funkčního popisu jednotlivých systémů přes konkrétní popis těch nejdůležitějších stavebních celků včetně jejich funkce, až po ovládání samotných systémů. Aby toto bylo možné, byla také nutná základní teoretická průprava, která má za úkol seznámit se základními principy brzdění v železniční dopravě a jejich fyzikální podstatou.

To vše má za úkol připravit úrodnou půdu pro celkovou charakteristiku samotných ukazatelů současného směřování vývoje v této natolik specifické oblasti. Ovšem i jednotlivé kapitoly, či jejich části, nám do značné míry mohou ukazovat, jakým způsobem se ta která konkrétní oblast vyvíjí. Z toho je pak možné částečně odvodit i současný vývoj.

Vzhledem k obšírnosti tohoto tématu by pak tato práce tedy měla sloužit především jako stručný pohled do problematiky brzdových systémů s přihlédnutím k jejich vývoji jak tomu současnému, tak i tomu budoucímu.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 51
---	------------------	-----------

9. LITERATURA

- [1] HRUŠOVSKÝ, J. *Brzdy hnacích vozidel ČSD první díl – lokomotivy* 1. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1972. 584 s. OD 31-065-72 05-94
- [2] HRUŠOVSKÝ, J. *Brzdy hnacích vozidel ČSD druhý díl* 1. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1973. 376 s. OD 31-023-73 05-94
- [3] IZER, J., MARUNA, Z. *Kolejové vozy* 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1985. 380 s. ISBN 63-870-84
- [4] KUBEC, J. *Brzdová výstroj nových železničních vozů ČSD* 1. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1981. 332 s. OD 31-025-81 05-94
- [5] LATA, M. *Konstrukce kolejových vozidel II.* 1. vyd. Univerzita Pardubice, 2004. 206 s. ISBN 80-7194-696-6
- [6] MARUNA, Z. a kol. *Metodika konstruování kolejových vozidel – osobní a nákladní podvozky*, Praha: Ediční středisko ČVUT, 178 s.
- [7] KUBIČKO, J. *Použitie brzdových klátikov z kompozitných materiálov u novovyrobáných a rekonštruovaných vozňov.* Žilina: Žilinská univerzita (ProRail 2003), 2003.
- [8] LUKASZEWICZ, P. *Energy consumption and running time for trains.* Stockholm: Royal Institute of Technology, 2001. 154 s. ISSN 1103 470X
- [9] LÖWENSTEIN, Lars a kol., Syntegra: Complete integration of traction, bogie and brake systems, *Railway Technical Review*, 2007, roč. 47, č. 3, s. 28-34.
- [10] SONNTAG, Hartmuth, JÄNSCH, Eberhard, Universal applicability of rotary eddy-current brakes of rail vehicles, *Railway Technical Review*, 2007, roč. 47, č. 1, s. 14-19.
- [11] ČD V15/1 *Předpis pro provoz a obsluhu brzdových zařízení železničních kolejových vozidel* změna č. 4. České dráhy, a. s., 2001. 158 s.
- [12] ČD SR 15(V) *Popis brzd železničních vozidel.* Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1983. 247 s.
- [13] UIC 540 *Druckluftbremsen für Güter- und Personenzüge* změna č. 6. Paříž: UIC, 1993. 40 s.
- [14] *Basics of Brake Technology.* Mnichov: Knorr-Bremse GmbH., 2002. 221 s.
- [15] *Track brakes.* Mnichov: Knorr-Bremse GmbH., 2004. 108 s.