

ŠPECIFIKÁ SKÚŠOK BRZDOVÝCH OBLOŽENÍ AUTOMOBILOV

VLADIMÍR HLAVŇA³

Žilinská Univerzita v Žiline

Abstrakt

Brzdenie možno charakterizovať ako aktívne (chcené, alebo nechcené) vyvodzovanie sily potrebnej na zastavenie, zníženie rýchlosti jazdy, udržanie požadovanej rýchlosti pri jazde zo stúpania alebo udržanie vozidla v pokoji. Brzdením stráca vozidlo resp. jazdná súprava získanú pohybovú energiu, ktorá sa mení (pri chcenom brzdení) v brzdovej sústave vozidla - súpravy najčastejšie na neužitočné teplo odvádzané v konečnom dôsledku do ovzdušia. Brzdnú silu možno definovať ako silu, pôsobiacu proti pohybu vozidla, ktorá v prípade chceného brzdenia je vyvolaná brzdovým systémom vozidla. Chcené brzdenie sa dá popísať pohybovou rovnicou vozidla. Príspevok sa zaoberá objektívnym posúdením možných príčin, ktoré viedli k zlyhaniu brzdového systému so zameraním sa na brzdové obloženie. Užívateľ voči spomínanému zlyhaniu brzdového obloženia môže mať charakter vedomý, alebo nevedomý. Laboratórne skúšky môžu byť použité k objektívnemu posúdeniu vlastností brzdového obloženia. Prevádzkové i laboratórne skúšky sa realizujú za účelom posúdenia vlastností brzdového obloženia. Okrem teoretických úvah sú v príspevku uvedené výsledky experimentov s rôznymi materiálmi brzdových obložení používaných v osobných a nákladných automobiloch.

Kľúčové slová: brzdenie, brzdové obloženie, laboratórne skúšky

1. Úvod

Brzdenie možno charakterizovať ako aktívne (chcené, alebo nechcené) vyvodzovanie sily potrebnej na :

- zastavenie,
- zníženie rýchlosti jazdy,
- udržanie požadovanej rýchlosti pri jazde zo stúpania,
- udržanie vozidla v pokoji.

Brzdením stráca vozidlo resp. jazdná súprava získanú pohybovú energiu, ktorá sa mení (pri chcenom brzdení) v brzdovej sústave vozidla - súpravy najčastejšie na neužitočné teplo odvádzané v konečnom dôsledku do ovzdušia. Výnimku tvorí :

- použitie motorovej brzdy, (spalovací motor pracuje v režime motorovej brzdy),
- brzdenie dynamickou brzdou (retardérom),

³ Žilina Univerzita v Žiline, Strojnícka Fakulta, Univerzitná 1, 010-26 Žilina, Slovenska Republika,
e-mail: vladimir.hlavna@fstroj.uniza.sk, tel. +421 415 13 26 70

- deformačná, prípadne trecia práca (nechcené brzdenie) vznikajúca napr. pri kolízii, technickej poruche niektorej časti vozidla, najčastejšie časti pohybového ústrojenstva, ...
- iná príčina, či už chcená, alebo nechcená.

Príspevok si kladie za cieľ poukázať na jednu z možných ciest, po ktorej sa uberá objektívne zisťovanie a posudzovanie príčiny zlyhania brzdového systému – jeho časti - brzdového obloženia, ktorej dôsledkom bola dopravná nehoda. Užívateľ voči spomínanému zlyhaniu brzdového obloženia môže mať charakter vedomý, alebo nevedomý. Znalec, ale musí objektívne posúdiť príčinu zlyhania brzdového systému, t. j. zistiť i vlastnosti obloženia a vyjadriť svoj súd o tom, či spĺňajú, alebo nespĺňajú požiadavky na ne kladené.

Štruktúra tohto príspevku kopiruje štruktúru postupu zisťovania príčin konkrétnej nehody autobusu s dôrazom na záverečnú fázu - laboratórne skúšky brzdového obloženia.

2. Poznámka k teórii brzdienia

Brzdnú silu možno definovať ako silu, pôsobiacu proti pohybu vozidla, ktorá v prípade chceného brzdienia je vyvolaná brzdovým systémom vozidla. V prípade nechceného brzdienia ju vyvodzujú aj iné obyčajne vonkajšie faktory napr. porucha pojazdu, kolízia, ...

V prípade chceného brzdienia sa obyčajne vychádza z rovnovážnej rovnice síl vozidla. Pri chcenom brzdení v kritických situáciách vystupuje do popredia požiadavka dosiahnutia minimálnej brzdnéj dráhy (t. j. plné využitie možného maximálneho súčiniteľa súdržnosti pojazdu s podložkou pri zabránení blokovania ktoréhokoľvek kolesa pojazdu). Potom spomínaná rovnovážna rovnica síl pre vozidlo môže mať napr. tvar:

$$\begin{aligned} \text{sign } M_m \cdot i_c \cdot \eta_m \cdot r^{-1} + f \cdot G \cdot \cos \alpha + \text{sign } G \cdot \sin \alpha + 0.5 \cdot \rho \cdot c_x \cdot S \cdot v^2 + \\ + m \cdot a \cdot (1 + (I_m \cdot i_c^2 + I_p \cdot i_r^2 + I_k) \cdot (m \cdot r^2)^{-1}) = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

v ktorom jednotlivé členy v poradí vyjadrujú: silu na kolesách vyvolanú hnacím resp. brzdným momentom motora M_m (i_c – celkový prevodový pomer, η_m – mechanická účinnosť prenosu výkonu, r – dynamický polomer hnacích kolies), odpor valenia (f – súčiniteľ odporu valenia, G – tiaž vozidla, α – uhol sklonu podložky), vplyv sklonu podložky, aerodynamický odpor (ρ – hustota vzduchu, c_x – súčiniteľ odporu vzduchu, S – čelná plocha vozidla, v – rýchlosť), odpor zotrvačnosti so zohľadnením vplyvu rotujúcich hmôt (m – hmotnosť vozidla, a – zrýchlenie, I_m – hmotný moment zotrvačnosti častí rotujúcich rovnakou uhlovou rýchlosťou ako kľukový hriadeľ, I_p – hmotný moment zotrvačnosti častí rotujúcich rovnakou uhlovou rýchlosťou ako výstupný hriadeľ prevodovky, i_r – prevodový pomer rozvodovky, I_k – hmotný moment zotrvačnosti častí rotujúcich uhlovou rýchlosťou hnacích kolies). V prípade nechceného brzdienia t. j. vynúteného dopravnou situáciou, je problém obyčajne vždy podstatne komplikovanejší. Analyzovať takéto brzdienie je zložitejšie a výhodné je ho rozdeliť na jednotlivé fázy. Fázy sú charakterizované aspoň čiastočne nemennými podmienkami s prevládajúcou – dominantnou vlastnosťou napr.:

- „klasické brzdenie“,
- ráz so zaklivením,
- ráz so sklzom,
- brzdenie so zvýšeným trením,
- brzdenie s rotáciou vozidla.

Pri analytickom riešení takéhoto brzdenia sa vo všeobecnosti využívajú základné zákony mechaniky, najčastejšie :

- zachovania energie,
- zachovania hybnosti,
- zachovania momentu hybnosti.

Pri analytickom riešení nechceného brzdenia vo všeobecnosti, možno vychádzať z Lagrangeovej rovnice 2. druhu

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \varphi_i} + \frac{\partial E_p}{\partial \varphi_i} = F_i \quad (2)$$

v ktorej: E_k je kinetická energia systému, výraz v zátvorke je všeobecný impulz, E_p je potenciálna energia systému, φ_i je i-tá všeobecná súradnica, $\dot{\varphi}_i$ je i-tá všeobecná rýchlosť, F_i je všeobecná sila i-tej hmoty, ktorá nemusí mať rozmer sily, podobne ako všeobecná súradnica nemusí mať rozmer dĺžky. Musí, ale zároveň platiť vzťah

$$F_i = \frac{\partial A_i}{\partial \varphi_i}, \quad (3)$$

v ktorom A_i je práca i-tej hmoty.

Určiť kinetickú energiu systému (vozidla) nie je pre sledovaný pohyb problém. Potenciálna energia systému (vozidla) sa zmení, ak dôjde pri nechcenom brzdení (kolízii) k zmene vertikálnej súradnice ťažiska.

Situácia sa zmení, ak počas nechceného brzdenia dôjde k zmene hmotnosti systému (vozidla) oddeľovaním okrajových hmôt. Za predpokladu, že hmotnosť m_j závisí len od času, že sprievodiče bodov telesa vyjadrené všeobecnými súradnicami sú $r_j = r_j(\varphi_1, \dots, \varphi_n)$ a s použitím označenia

$$G_i = \sum_j \frac{dm_j}{dt} u_j \frac{\partial r_j}{\partial \varphi_i} \quad (4)$$

Lagrangeova rovnica 2. druhu nadobudne tvar

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \varphi_i} + \frac{\partial E_p}{\partial \varphi_i} = F_i + G_i \quad (5)$$

Ak nie je možné riešiť sústavu rovníc napr. vzhľadom na väčší počet neznámych ako je počet rovníc, využívajú sa netradičné postupy, vyplývajúce z praktických skúseností. Napr. v súdnom inžinierstve sa pri analýze dopravných nehôd používajú metódy využívajúce energeticky ekvivalentnú rýchlosť – EES (Energy Equivalent Speed) prípadne ekvivalentnú bariérovú rýchlosť – EBS (Equivalent Barrier Speed). Pomocou EES sa vyjadruje deformačná energia E_{def} súvisiaca so zmenou rýchlosti $v_{pred} - v_{po}$ vzťahom

$$E_{def} = 0.5 m \cdot (EES^2) \quad \text{or} \quad 0.5 m \cdot (v_{pred}^2 - v_{po}^2) = 0.5 m \cdot (EES^2). \quad (6)$$

Treba upozorniť na rozdiel medzi zmenou rýchlosti $\Delta v = v_{pred} - v_{po}$ a energeticky ekvivalentnou rýchlosťou, ktorej definícia je daná vzťahom (6), t. j. $EES = (v_{pred}^2 - v_{po}^2)^{0.5}$. Je to teda taká rýchlosť, ktorá zodpovedá spotrebovanej deformačnej energii. Energeticky ekvivalentná rýchlosť sa potom určuje buď odhadom (porovnanie deformácií pri „Crash“ – teste s reálnou deformáciou) alebo niektorou z výpočtových metód (tie využívajú napr. údaje o nárazovej rýchlosti EBS a trvalej deformácii pri bariérových skúškach, prípadne rýchlosť ETS – Equivalent Test Speed). Dôkladne zdokumentované výsledky bariérových skúšok a testov umožnili získať empirické vzťahy udávajúce výpočet EES s vysokou presnosťou (90 – 98 %) pre rôzne hĺbky deformácie a stupne prekrytia havarovaných vozidiel. Pri riešení kolíznych situácií cestných vozidiel možno potom využiť metódy dopredného, alebo spätného výpočtu. Metóda dopredného výpočtu je iteratívna, založená na riešení sústavy rovníc tak, že výsledok výpočtu sa porovnáva so skutočnosťou až po získanie požadovanej presnosti. Metodika spätného výpočtu využíva pre hľadanie počiatkových hodnôt sledovaných veličín (rýchlosti, času, ...) konečný skutkový stav (napr. konečné postavenie vozidiel po kolízii).

Analyzovať brzdenie vozidla či už chcené, alebo nechcené v súčasnej dobe uľahčuje, spresňuje i urýchľuje využívanie výpočtovej techniky. Existujú balíky rôznych programov, ktoré je možné k tomuto účelu využiť.

Uvedené princípy boli využité pre teoretické riešenie zistenia parametrov charakterizujúcich brzdenie autobusu v kritickej situácii. Získané výsledky iniciovali požiadavku podrobnejšieho skúmania brzdového systému autobusu so zameraním sa na brzdové obloženie.

V brzdovom systéme hrá dôležitú úlohu aj materiál brzdového obloženia pre čelustové, alebo kotúčové brzdy. Preto sú naň legislatívou kladené požiadavky, ktoré musia byť plne rešpektované. Tieto požiadavky pre materiál náhradných brzdových obložení definujú medzinárodná norma ISO 6310, ISO 6312 resp. predpis R90.ECE pre novú homologáciu brzd a brzdenie Predpis EHK 13 v znení neskorších predpisov.

Vlastnosti materiálov brzdových obložení sa zisťujú skúškami:

- prevádzkovými t. j. „skúškami vozidla“,
- laboratórnymi.

3. Prevádzkové skúšky brzdových obložení automobilov

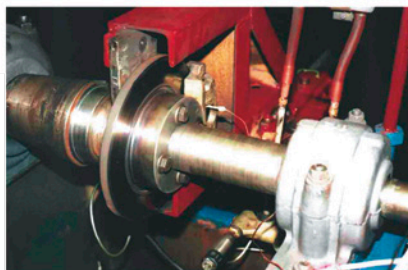
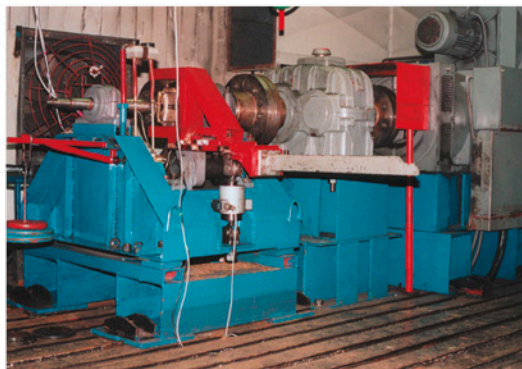
Účinnok brzd vozidiel je v zmysle uvedenej vyhlášky stanovený tak, že „v rozsahu od pohotovostnej do celkovej hmotnosti vozidla brzdy musia byť vždy schopné zastaviť vozidlo najmenej na vzdialenosť uvedenú v tabuľkách bez toho, aby sa prekročila najvyššia prípustná ovládacia sila“. Základnú požiadavku na brzdový účinok prevádzkového a núdzového brzdenia stanovuje brzdná dráha ako funkcia počiatočnej rýchlosti. Brzdový účinok sa zisťuje skúškami. Tieto sú špecifikované pre prevádzkové, núdzové a parkovacie brzdzenie pre jednotlivé kategórie automobilov. Predpisy stanovujú konkrétne podmienky pre vykonávanie skúšok, napr. pre vozidlá kategórie M a N existuje viac typov skúšok; skúškou typu „0“ sa zisťujú brzdné účinky s odpojeným a neodpojeným spojením motora s kolesami; skúškou typu "I" sa sleduje pokles účinku brzd ohriatych opakovaným brzdením v predpísanom režime. Zisťuje sa brzdná dráha, brzdné spomalenie a čas brzdenia. Počas skúšky je vymedzený koridor dráhy vozidla. Predpisy stanovujú aj ďalšie podmienky skúšky.

Keďže nebolo možné posúdiť brzdový systém autobusu prevádzkovými skúškami, boli vykonané laboratórne skúšky.

4. Laboratórne skúšky brzdových obložení

Na obrázkoch 1 a 2 sú ukázané moduly pre diskové a bubnové brzdy zotrvačnikového skúšobného stavu – obrázok 3 (Základná schéma zotrvačnikového brzdového skúšobného stavu: 1 – elektromotor (265 kW, max. 400 kW, 3.200 min⁻¹), 2 – prevodovka (i = 1.5, alebo 1.72, alebo 4), 3 – spojka, 4 – zotrvačnik (400 kg.m² = 280 + 2 x 5 + 3 x 10 + 4 x 15 + 20, 5 – zotrvačnik (600 kg.m²), 6 – zotrvačnik (900 kg.m²), 7 – základný rám, 8 – modul diskovej brzdy), na ktorom boli realizované laboratórne skúšky.

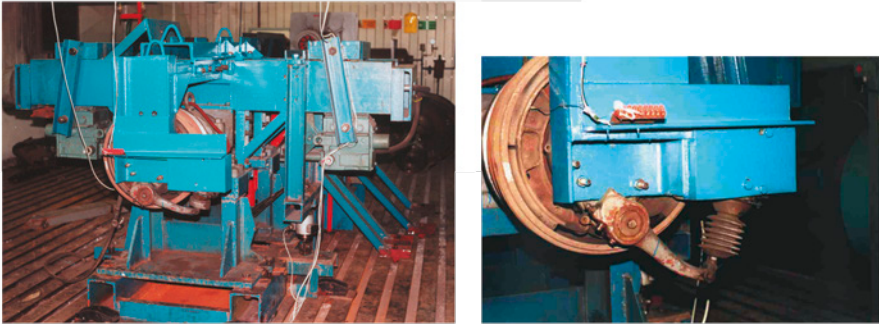
Spôsob, akým sa majú skúšky realizovať je špecifikovaný predpismi pre skúšanie brzdových obložení. Predovšetkým, sú stanovené skúšky ďalej uvedených vlastností.



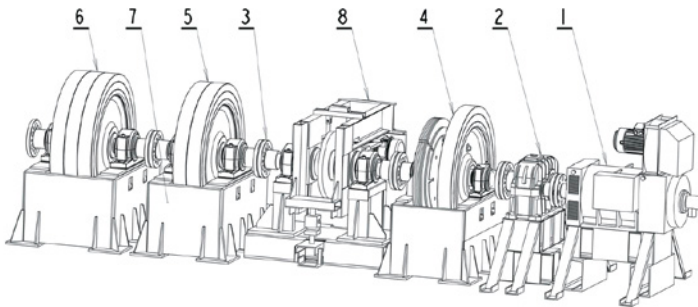
Obr.1. Modul diskovej brzdy – celkový a detailný pohľad

4.1. Mechanické vlastnosti

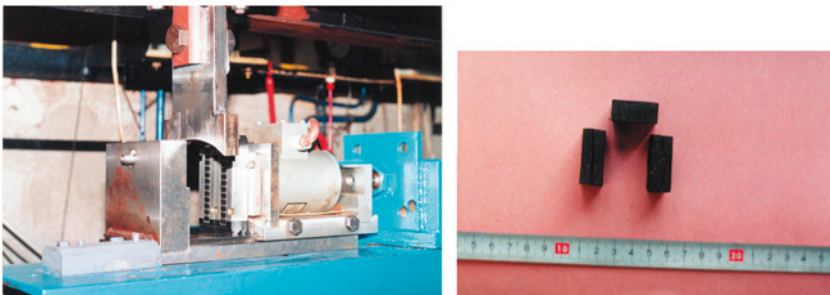
Z mechanických vlastností materiálov používaných pre náhradné sady brzdového obloženia sa zisťuje pevnosť v šmyku a stlačiteľnosť. Dovoľená minimálna hodnota pevnosti v šmyku ako priemer z piatich meraní pre súpravu doštičiek je 250 N.m^{-2} a pre súpravu čelustí 100 N.m^{-2} . Na obrázku 4 sú znázornené pohľady na prípravok pre vykonanie pevnosti v šmyku a vzorky skúšaného brzdového obloženia pripravené na vykonanie skúšok mechanických vlastností.



Obr. 2. Modul bubnovej brzdy – celkový a detailný pohľad

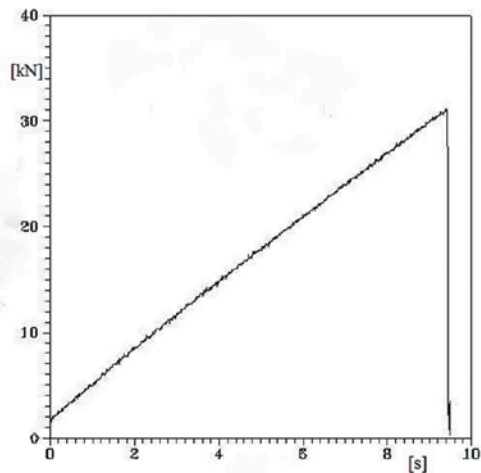


Obr. 3. Zotrvačkový brzdový stav (1 – elektromotor, 2 – prevodovka, 3 – spojka, 4, 5, 6 – zotrvačníky, 7 – rám, 8 – vymeniteľný modul pre rôzne typy bízdy)



Obr. 4. Prípravok pre vykonanie skúšok pevnosti v šmyku a vzorky brzdového obloženia pripravené na skúšku mechanických vlastností

Počas skúšky pri teplote okolia sa registruje závislosť zatažujúcej sily od času – obrázok 5. Definovaná je tiež rýchlosť zatažovania. Čelust' resp. brzdová doštička, je počas skúšky upnutá v prípravku, na konštrukciu ktorého sú definované požiadavky.



Obr. 5. Výsledok skúšky na pevnosť v šmyku (časová závislosť šmykovej sily) [1].

Pri skúške stlačiteľnosti sa kontroluje hodnota stlačiteľnosti pri teplote okolia a zvýšenej teplote na 200 °C – čeluste, resp. 400 °C doštičky. Dovolená hodnota stlačiteľnosti pre teplotu okolia je maximálne 2% a pre zvýšenú teplotu 4% pre čeluste a 5% pre doštičky. Skúška stlačiteľnosti má stanovený presný postup i spôsob vyhodnotenia.

4.2. Trecie vlastnosti

Trecie vlastnosti sa skúšajú pri otáčkach hriadeľa (disku resp. bubna) $660 \pm 10 \text{ min}^{-1}$ bez zaťaženia. Nesmú poklesnúť pod 600 min^{-1} pri plnom zaťažení. Limitovaná je teplota brzdy a definovaný je stredný kontaktný tlak na povrchu brzdového obloženia.

Skúška prebieha v presne definovaných, pre súpravy brzdových čelustí zvlášť a pre súpravu brzdových doštičiek zvlášť, za sebou idúcich cykloch brzdenia. Trecie vlastnosti sa určujú z brzdného momentu v tých bodoch skúšky, v ktorých je brzdný činiteľ konštantný.

Vyhodnotenie je definované z jednotlivých cyklov skúšky. Pre súpravu brzdových doštičiek sa vyhodnocuje:

- prevádzkový súčiniteľ trenia, hodnota ktorého sa musí nachádzať v 15% pásme deklarovaných hodnôt,
- najvyšší súčiniteľ trenia, musí byť rovný, alebo menší ako deklarovaná hodnota,
- najnižší súčiniteľ trenia, musí byť väčší, alebo rovný deklarovanej hodnote.

Pre obloženie brzdových čelustí sa vyhodnocuje:

- stredný brzdný moment, jeho hodnota sa musí nachádzať v 20 % pásme deklarovaných hodnôt,
- horúci moment (najmenší brzdný moment z definovaného cyklu), hodnota ktorého musí byť rovná, alebo väčšia ako deklarovaná hodnota.

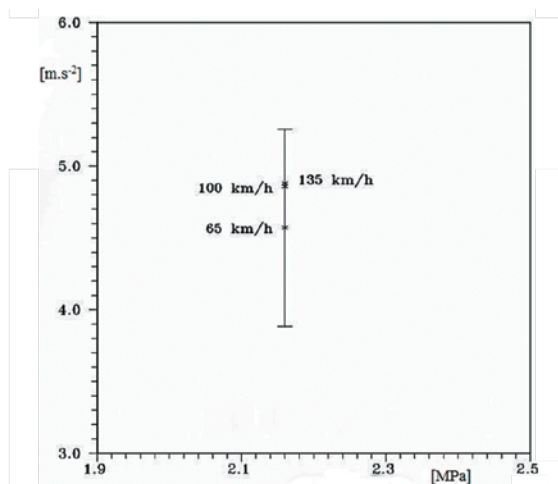
4.3. Charakteristiky dynamického trenia

Charakteristiky dynamického trenia sa pre náhradné brzdové obloženie vyhodnocujú porovnaním s vlastnosťami originálneho obloženia [2].

Citlivosť na rýchlosť sa hodnotí v diagrame – obrázok 6, vynesení odmeraného spomalenia pre tlak v brzdovom systéme zodpovedajúci spomaleniu 5 m.s^{-2} resp. 3 m.s^{-2} podľa toho, či ide o brzdy prednej, resp. zadnej nápravy, pre zabrzdzenia z troch rýchlostí a teploty brzdy do $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

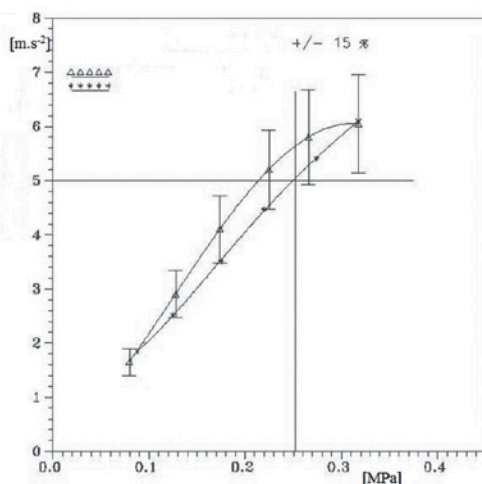
Počiatočná rýchlosť pre zabrzdzenie je pre brzdy prednej (zadnej) nápravy 65 km.h^{-1} (45 km.h^{-1}) a 100 km.h^{-1} (65 km.h^{-1}). Ak maximálna rýchlosť vozidla je väčšia ako 150 km.h^{-1} tak tretie zabrzdzenie je z rýchlosti 135 km.h^{-1} (90 km.h^{-1}). Pre vozidlá s maximálnou rýchlosťou do 150 km.h^{-1} nie je v predpise definovaná počiatočná rýchlosť pre tretie zabrzdzenie a preto sa robí z rýchlosti zodpovedajúcej 90% (60%) maximálnej rýchlosti vozidla.

Pre vyhovujúcu sadu náhradných brzdových obložení spomalenia zistené pri vyšších rýchlostiach sa musia nachádzať v 15% pásme odchýlok odmeraného spomalenia pre najnižšiu (65 km.h^{-1} ; 45 km.h^{-1}) rýchlosť.



Obr. 6. Hodnotenie citlivosti na rýchlosť (závislosť spomalenia od tlaku v brzdovom systéme) [1]

Skúška „Účinok za studena“ prebieha tak, že normou presne definovanej začiatkovej rýchlosti a teploty brzdy do 100 °C na začiatku každého zo šiestich zabrzdení, sa brzdí postupne zvýšeným tlakom v systéme až po dosiahnutie spomalenia $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ [2]. Skúška sa vyhodnocuje určením tlaku v potrubnom systéme brzdy pre dosiahnutie brzdového spomalenia $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ pre brzdy prednej nápravy a spomalenie $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ pre brzdy zadnej nápravy. Tlak sa určuje zo spracovanej grafickej závislosti dosiahnutého spomalenia od tlaku v systéme – obrázok 7. Zistené hodnoty náhradného brzdového obloženia musia ležať v 15% pásme odchýlok hodnôt originálneho obloženia.



Obr. 7. Vyhodnotenie skúšky „Účinok za studena“ (závislosť brzdového spomalenia od tlaku v brzdovom systéme pre originálny - Δ; pre skúšaný - * materiál) [1]

4.4. Zvláštne skúšky

Nepostačujúce hodnotenie náhradného brzdového obloženia úradnými skúškami je ilustrované na konkrétnom príklade. Po nehode autobusu s tragickými následkami (hlavným dôvodom nehody bol nedostatočný brzdny účinok pri jazde v klesaní) boli vykonané nasledujúce skúšky brzdového obloženia:

- úradné skúšky (v súlade s predpisom R90.ECE,
- zvláštne skúšky - s prerušovaným brzdením,
- s kontinuálnym brzdením.

Vstupné parameter: bubon a čelusť autobusu C734.40; pneumatiky 11.00 R 22.5; hrúbka obloženia 13 mm; hmotnosť na prednú nápravu 10 200 kg; originálne obloženie COSID PA.

Výsledky úradnej skúšky:

a) Účinok za studena – Tabuľka 1.

Tabuľka 1 Účinok za studena

BUS			COSID		
Teplota [°C]	Tlak [MPa]	Spomalenie [m.s ⁻²]	Teplota [°C]	Tlak [MPa]	Spomalenie [m.s ⁻²]
pod 100	0.318	6.1	pod 100	0.318	6.05
pod 100	0.274	5.4	pod 100	0.266	5.9
pod 100	0.22	4.46	pod 100	0.22	5.2
pod 100	0.175	3.5	pod 100	0.174	4.1
pod 100	0.125	2.51	pod 100	0.128	3.0
pod 100	0.088	1.84	pod 100	0.08	1.85

Spomaleniu 5 m.s⁻² pre použité obloženie (BUS) zodpovedá tlak vzduchu v brzdovom systéme 0,252 MPa.

Vlastnosť: Účinok za studena – splnená.

b) Citlivosť na rýchlosť. Výsledky sú uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2 Citlivosť na rýchlosť (BUS)

Počiatočná rýchlosť 65 km.h ⁻¹				
Teplota [°C]	Tlak [MPa]	Priemerný tlak [MPa]	Spomalenie [m.s ⁻²]	Priemerné spomalenie [m.s ⁻²]
73	0,253	0.252	5,28	5,22
82	0,252		5,22	
93	0,251		5,16	
Počiatočná rýchlosť 100 km.h ⁻¹				
Teplota [°C]	Tlak [MPa]	Priemerný tlak [MPa]	Spomalenie [m.s ⁻²]	Priemerné spomalenie [m.s ⁻²]
95	0,254	0,251	4,62	4,66
95	0,258		4,6	
94	0,252		4,75	

Citlivosť na rýchlosť pre COSID

Počiatočná rýchlosť 65 km.h ⁻¹				
Teplota [°C]	Tlak [MPa]	Priemerný tlak [MPa]	Spomalenie [m.s ⁻²]	Priemerné spomalenie [m.s ⁻²]
64	0,199	0,199	4,75	4,9
72	0,198		4,85	
80	0,199		5,1	

Počiatočná rýchlosť 100 km.h ⁻¹				
Teplota [°C]	Tlak [MPa]	Priemerný tlak [MPa]	Spomalenie [m.s ⁻²]	Priemerné spomalenie [m.s ⁻²]
82	0,199	0,199	4,65	4,7
78	0,199		4,75	
74	0,199		4,7	

Vlastnosť : Citlivosť na rýchlosť splnená.

c) Trecie vlastnosti

Výsledky pre otáčky bubna 305 ± 51 min⁻¹ a priemer kolesa 1 050 mm sú uvedené v tabuľke 3.

Stredný brzdný moment je určený ako priemer najvyššej a najnižšej hodnoty momentu počas piateho brzdzenia v prvom a piatom cykle. Horúci brzdný moment je najmenší brzdný moment počas druhého a štvrtého cyklu brzdzenia. Teplota neprekročila hodnotu 300 °C.

Hodnota stredného brzdného momentu leží v 15% tolerančnom poli obloženia COSID.

Hodnota horúceho brzdného momentu obloženia BUS je väčšia ako obloženia COSID.

Tabuľka 3 Trecie vlastnosti

	BUS	COSID
Stredný brzdný moment M_{mean} [N.m]	2 923	3 308
Horúci brzdný moment M_{hot} [N.m]	2 174	1 997

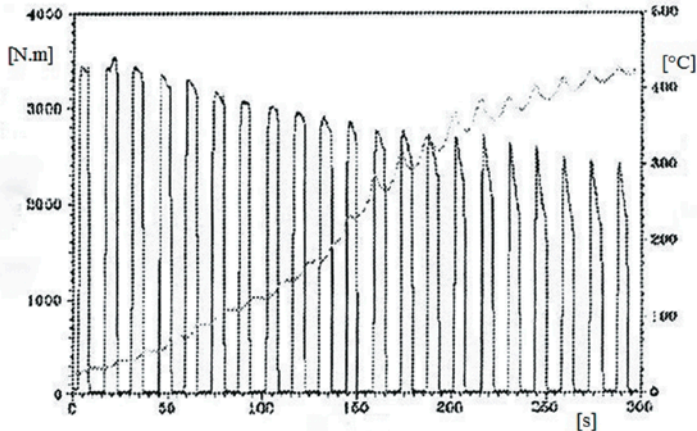
Vlastnosť: Trecie vlastnosti splnená

Zvláštne skúšky

Pre informáciu boli vykonané netypické skúšky s prerušovaným brzdením (21 krát – 5 sekúnd brzdené a 11 sekúnd nebrzdené) na konštantnú rýchlosť 60 km.hod⁻¹ s prívodom chladiaceho vzduchu. Tlak v brzdovom systéme cca 0,170 MPa. Výsledok tejto skúšky je uvedený na obrázku 8. V diagrame na obrázku 8 je vidieť pokles brzdného momentu a nárast teploty obloženia v čase. Za 300 s vzrástla teplota obloženia v meranom mieste na cca 450 °C. Za tento čas poklesol brzdný momentu o cca 1 000 Nm.

Ďalej bolo vykonané neprerušované brzdenie - „brzdenie na svahu“ na konštantnú rýchlosť 40 km.hod⁻¹, tlak v systéme 0,170 MPa. Výsledky sú uvedené na obrázku 9. Pri tejto skúške nastalo prudké zníženie hodnoty brzdného momentu (z pôvodnej hodnoty cca 3 000 Nm

na hodnotu cca 700 Nm) v čase cca 2 min od začiatku brzdenia. Tento pokles sa začínal prejavovať od určitej teploty brzdového obloženia (cca 250 °C). Súčasne bolo pri tom pozorované prášenie – úbytok obloženia.



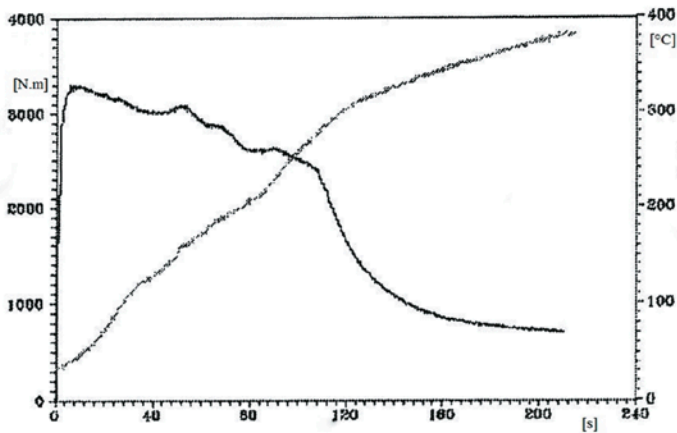
Obr. 8 Výsledok skúšky s prerušovaným brzdením (časová závislosť zmeny brzdného momentu a teploty obloženia)

Z vykonaných experimentov vyplýva, že brzdové obloženie bubnových brzd havarovaného autobusu:

- vyhovuje požiadavkám stanoveným predpisom R90 ECE:
 - účinok za studena (na hranici plnenia),
 - citlivosť na rýchlosť,
 - trecie vlastnosti,
- skúšané obloženie vo zvláštnych skúškach vykazovalo pri prerušovanom brzdení na rýchlosti 60 km.hod⁻¹ pokles brzdného momentu a výraznejší nárast teploty cca po 100 s,
- skúšané obloženie vo zvláštnych skúškach vykazovalo pri neperušovanom brzdení na rýchlosti 40 km.hod⁻¹ prudký pokles brzdného momentu cca po 100 s a nárast teploty.

Na obrázkoch 8 a 9 sú uvedené výsledky neštandardných skúšok neperušovaným brzdením na stálu rýchlosť 40 km.h⁻¹ a skúškou prerušovaným brzdením na konštantnú rýchlosť 60 km.h⁻¹. Počas skúšky brzdzenia na konštantnú rýchlosť bol zaznamenaný prudký pokles brzdného momentu. Počas skúšky s prerušovaným brzdením bol pokles brzdného momentu omnoho miernejší.

Tieto dve skúšky boli vykonané s brzdovým obložením havarovaného autobusu. Aj napriek skutočnosti, že výsledky štandardných skúšok obloženia boli uspokojivé, zvláštne skúšky ukázali na príčinu nehody vozidla - nedostatočné vlastnosti obloženia počas brzdzenia v dlhom klesaní.



Obr. 9. Neprerušované brzdenie na konštantnú rýchlosť (časová závislosť brzdného momentu a teploty brzdového obloženia)

5. Záver

Príspevok poukazuje na niektoré spôsoby zisťovania vlastností materiálov pre brzdové obloženia automobilov. Nezaobrá sa vzájomnými súvislosťami a korelačnými závislosťami medzi výsledkami experimentu od skúšobného stavu a vozidlovými skúškami. V budúcnosti by bolo vhodné nájsť aspoň niektoré z nich. Ide najmä o možné súvislosti medzi výsledkami zvláštnych skúšok na brzdovom stave a výsledkami skúšok vozidlových napr. typu I s opakovaným brzdením. Možná je i simulácia vozidlových skúšok typu O skúškami na skúšobnom stave pri zachovaní energetických pomerov. Tieto závislosti by mohli potom byť využívané pri posudzovaní dopravných nehôd, kde je podozrenie na „technickú chybu“ súvisiacu s obložením brzd.

Literatúra

- [1] HLAVŇA, V. et al.: *Tests of automobile brake linings; research reports for manufacturers of brake linings and lining materials* (in Slovak)
- [2] HLAVŇA, V., ŘEZNÍČEK, R.: *Niektoré problémy suchého trenia*, EDIS vydavateľstvo ŽU, 2002, ISBN 80 7100 885 0
- [3] KAMIŇSKI, Z.: *Modelowanie charakterystyki siłowej bębnowych mechanizmów hamujących przyczep rolniczych*, The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji 1/2008, Wydawnictwo Naukowe PIMOT Warszawa ISSN: 1234-754X