

STANOVENÍ BRZDNÉ DRÁHY VOZIDEL ZA RŮZNÝCH PODMÍNEK

DETERMINATION OF VEHICLE BRAKING DISTANCE UNDER THE DIFFERENT CONDITIONS

Jaroslava Halásková¹, Antonín Vojtěšek²

Abstract

Traffic safety is influenced by many factors. In presented article is documented the influence of pavement surface skid resistance on braking distance. Unacceptable and dangerous skid resistance has more important influence on braking distance than intravilan speed limit.

Key words

Braking distance (brzdná dráha), skid resistance (protismykové vlastnosti), friction coefficient (součinitel tření), speed (rychlost), traffic safety (bezpečnost dopravy)

1 ÚVOD

Mnoho řidičů si mylně myslí, že budou rychle reagovat na změněnou dopravní situaci, jsou schopni náhle začít brzdít, a zastaví včas. Celková brzdná dráha vozidla je ovlivněna šesti prvky:

- dobou vnímání člověka,
- časem reakce člověka,
- časem reakce vozidla,
- schopností vozidla brzdít,
- rychlostí vozidla,
- vnějšími podmínkami.

Dráhu pro zastavení vozidla lze stanovit ze dvou faktorů – reakční dráhy a vlastní brzdné dráhy. Reakční dráha je dráha, kterou řidič ujede od okamžiku, kdy rozpozná kritickou situaci, zpracuje ji a začne brzdít. To trvá různě dlouhou dobu, vynikající řidiči reagují v desetinách sekundy, průměrný řidič asi za jednu vteřinu, u řidičů kteří poslouchají hlasitou hudbu, používají mobilní telefon nebo požíli alkohol či léky, může reakční doba trvat i tři vteřiny. V tomto čase se však vozidlo dále pohybuje s nezměněnou rychlostí. Při 50 km/h je reakční dráha při jedné vteřině 14 m dlouhá. Teprve potom dochází k účinku brzd a brzdná dráha závisí na dané rychlosti a četných vnějších podmínkách (např. podélný sklon silnice, stav vozovky, stav povrchu a na odolnosti povrchu proti smyku).

Pro osvětlení posledních dvou vlivů je v příspěvku zpracován jednoduchý příklad. Vozidlo s různými brzdami (se systémem proti zablokování kol - ABS a bez něho) se pohybuje rychlostmi 50 km/h nebo 60 km/h a za různých podmínek (sucho a mokro) a na různých površích vozovek (s velmi dobrými a havarijnými protismykovými vlastnostmi) a snaží se zastavit, např. před přechodem pro chodce. Za takto definované různorodosti podmínek byly stanoveny celkové brzdné dráhy a byly odvozeny závěry pro vyšší bezpečnost silničního provozu.

2 VÝBĚR PROTISMYKOVÝCH VLASTNOSTÍ

Bylo zvoleno 5 povrchů:

- velmi dobrý povrch za sucha - asfaltový koberec střednězrný za sucha (AKMS za sucha),
- výborný povrch za mokra - asfaltový koberec mastixový střednězrný s podrcením (AKMS podrcený),
- velmi dobrý povrch za mokra - asfaltový beton střednězrný (ABS),
- nevyhovující povrch za mokra - asfaltový beton jemnozrný (ABJ),
- havarijný povrch za mokra - asfaltový beton jemnozrný značně silničním provozem ohlazený (ABJ ojetý).

¹ Jaroslava Halásková, Ing., VUT v Brně, FAST, PKO, Veveří 95, 638 00 Brno, jarka-h@email.cz

² Antonín Vojtěšek, Ing., VUT v Brně, FAST, PKO, Veveří 95, 638 00 Brno, vojtesek.a@fce.vutbr.cz

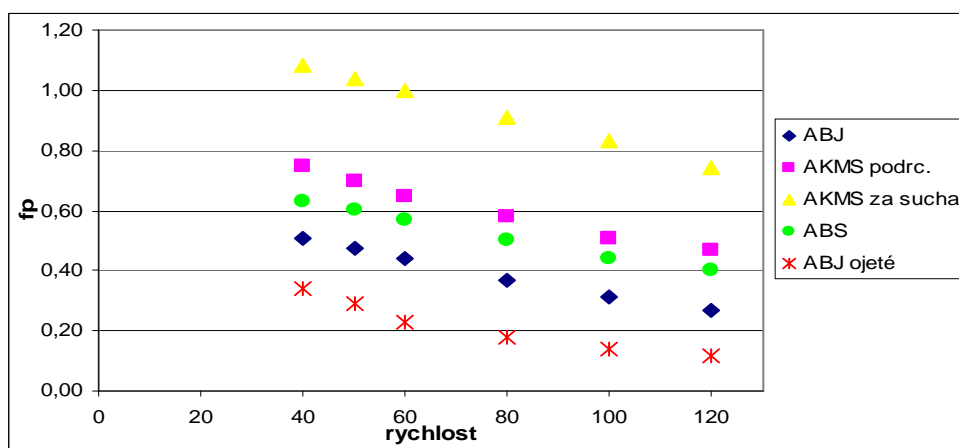
Charakteristiky protismykových vlastností druhého až čtvrtého povrchu byly získány z inovovaného metodického pokynu „Zásady pro použití brusných vrstev vozovek z hlediska protismykových vlastností“, 2006, kde jsou grafy typického průběhu součinitele podélného tření f_p v závislosti na rychlosti stanovené měřicím zařízením Tatra Runway Tester (TRT). Zbývající dvě křivky byly odvozeny z konkrétních měření vybraných úseků. Měřený součinitel podélného tření f_p je při řízeném skluzu 25 %, což přibližně odpovídá způsobu při brzdění vozidla s ABS. Hodnoty f_p v závislosti na rychlosti pohybu vozidla pro všech 5 uvedených povrchů jsou v tab. 1 a grafu 1.

Pro další srovnání byl použit model vozidla s brzděním se zablokovými koly, tedy při skluzu pneumatiky 100 %, takové brzdění modelovalo starší měřicí zařízení VÚD-2. Hodnoty součinitele podélného tření pro toto zařízení uvedené v tab. 2 a v grafu 2 se stanovily s použitím převodní rovnice z ČSN 73 6177:

$$f_p(\text{VÚD-2}) = -0,039 + 0,915 \cdot f_p(\text{TRT})$$

Tab. 1 Hodnoty součinitele podélného tření f_p pro vozidlo s ABS v závislosti na rychlosti a druhu povrchu

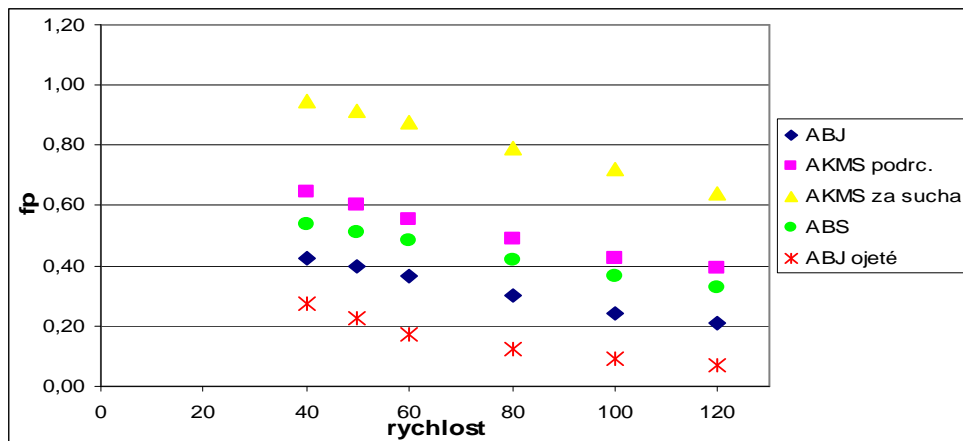
	40	50	60	80	100	120	stáří povrchu [rok]
AKMS za sucha	1,08	1,04	1,00	0,91	0,83	0,74	6
AKMS podrc.	0,75	0,70	0,65	0,58	0,51	0,47	1
ABS	0,63	0,60	0,57	0,50	0,44	0,40	1
ABJ	0,51	0,48	0,44	0,37	0,31	0,27	1
ABJ ojeté	0,34	0,29	0,23	0,18	0,14	0,12	25



Graf. 1 Vybrané povrchy s hodnotami f_p pro vozidlo s ABS v závislosti na rychlosti a druhu povrchu

Tab. 2 Hodnoty součinitele podélného tření f_p pro vozidlo bez ABS v závislosti na rychlosti a druhu povrchu

	40	50	60	80	100	120	stáří povrchu [rok]
ABJ	0,43	0,40	0,36	0,30	0,24	0,21	1
AKMS podrc.	0,65	0,60	0,56	0,49	0,43	0,39	1
AKMS za sucha	0,95	0,91	0,88	0,79	0,72	0,64	6
ABS	0,54	0,51	0,48	0,42	0,36	0,33	1
ABJ ojeté	0,27	0,23	0,17	0,13	0,09	0,07	25



Graf. 2 Vybrané povrchy s hodnotami f_p pro vozidlo s blokovanými koly v závislosti na rychlosti a druhu povrchu

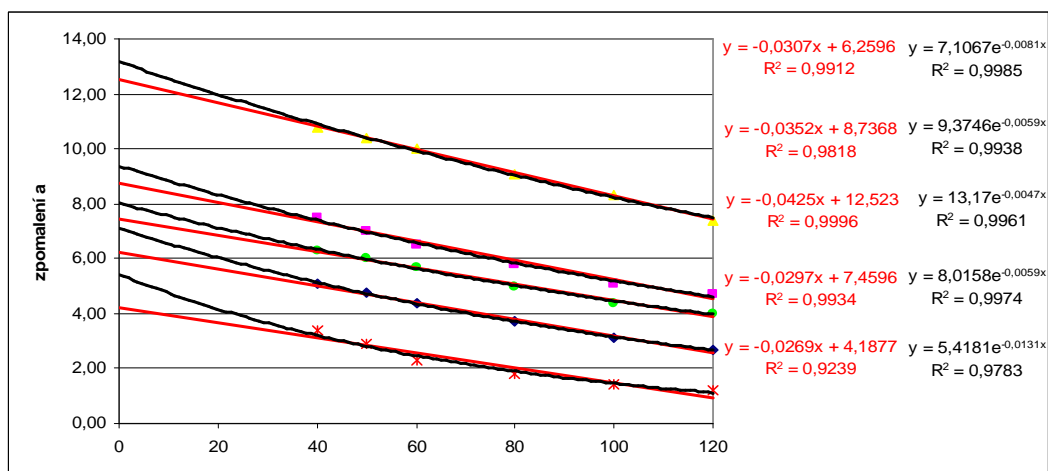
3 STANOVENÍ ZPOMALENÍ VOZIDLA PŘI BRZDĚNÍ

Danými body uvedenými v grafech 1 a 2 byla proložena lineární a exponenciální funkce, provedlo se srovnání výstižnosti těchto funkcí. Hodnoty f_p se přenásobily tíhovým zatížením g , aby se zachovala adhezní podmínka při brzdění:

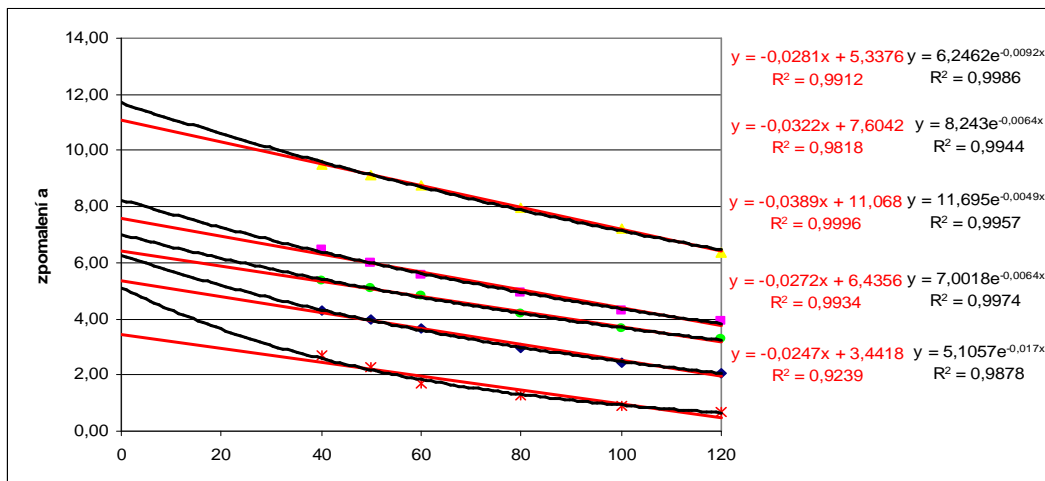
$$m \cdot a = -m \cdot g \cdot f_p$$

- m hmotnost vozidla
- a brzdné zpomalení [$m \cdot s^{-2}$]
- g tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$] (počítáno s hodnotou $10 \text{ m} \cdot s^{-2}$)
- f_p koeficient podélného tření

Zpomalení při brzdění a je podle rovnice vyjádřeno hodnotou $10 \cdot f_p$ a z grafů 1 a 2 byly zkonstruovány křivky závislosti zpomalení vozidla na rychlosti a stanoveny jejich rovnice, ze kterých se následně mohla stanovit délka brzdné dráhy.



Graf. 3 Srovnání proložených funkcí závislosti f_p na rychlosti vozidla s ABS (červeně lineární funkce a černě exponenciální funkce)



Graf. 4 Srovnání proložených funkcí závislosti f_p na rychlosti vozidla bez ABS (červeně lineární funkce a černě exponenciální funkce)

4 VÝPOČET BRZDNÝCH DRAH

Lineární závislost zpomalení na rychlosti:

$$a = -Bv + A$$

Doba brzdění z 50 a 60 km/h na 0 km/h:

$$t = \frac{\ln \frac{A - Bv}{A}}{-B}$$

Délka brzdné dráhy:

$$s = \frac{A}{B} \left(t + \frac{1}{B} e^{-Bt} - \frac{1}{B} \right)$$

Exponenciální závislost zpomalení na rychlosti:

$$a = Ae^{Bv}$$

Doba brzdění z 50 a 60 km/h na 0 km/h:

$$t = \frac{-1 + e^{Bv}}{ABe^{Bv}}$$

Délka brzdné dráhy:

$$s = \frac{\ln\left(-\frac{1}{tAB-1}\right)t}{B} - \frac{\ln\left(-\frac{1}{tAB-1}\right)}{B^2A} + \frac{t}{B}$$

- A, B parametry regresní funkce
- v rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
- t čas [s]
- s dráha [m]
- a brzdné zpomalení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

5 STANOVENÍ BRZDNÝCH DRAH

V následujících tabulkách jsou výsledky ze vztahů pro dobu brzdění a vlastní délku brzdné dráhy. K získání hodnot celkové brzdné dráhy se připočítala k vlastní délce brzdné dráhy ještě reakční doba 1 s, které odpovídá reakční vzdálenost u rychlosti 50 km/h 14 m a pro 60 km/h 17 m. Byly použity obě závislosti zpomalení vozidla, jak lineární, tak exponenciální. Exponenciální závislost svým průběhem určuje výsledky s kratšími brzdnými vzdálenostmi.

V následujících obrázcích jsou některé poznatky z výpočtů brzdných drah za použití lineární závislosti zpomalení vozidla na jeho rychlosti graficky znázorněny.

Na základě výpočtů a znázornění lze zdůraznit, že vlastní brzdná dráha je ovlivněna:

- více protismykovými vlastnostmi než rychlostí vozidla před brzděním,
- brzdým systémem ABS na mokřem a nevyhovujícím a havarijním povrchu, tento systém ovšem nevyvážá zvýšenou rychlost z 50 km/h na 60 km/h.

Tab. 3 Doba brzdění do zastavení vozidla

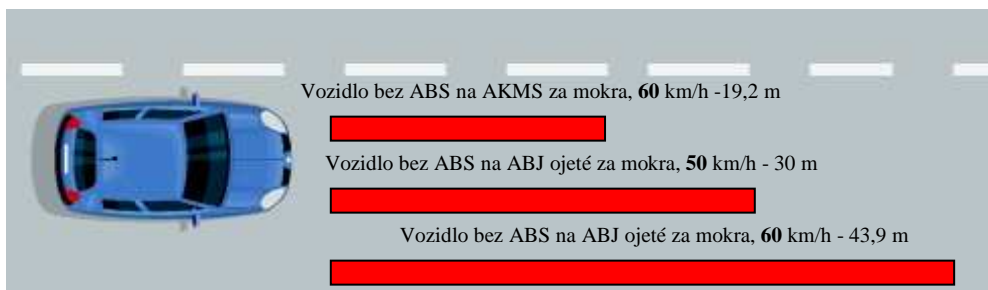
doba brzdění [s]	lineární závislost				exponenciální závislost			
	50 km/h		60 km/h		50 km/h		60 km/h	
	ABS	blok.kolo	ABS	blok.kolo	ABS	blok.kolo	ABS	blok.kolo
AKMS za sucha	1,1	1,3	1,4	1,6	1,1	1,2	1,3	1,5
AKMS podrcený	1,6	1,9	2,0	2,3	1,5	1,8	1,9	2,1
ABS	1,9	2,2	2,3	2,7	1,8	2,1	2,2	2,5
ABJ	2,3	2,7	2,8	3,3	2,1	2,4	2,5	2,9
ABJ ojeté	3,5	4,3	4,2	5,2	2,8	3,1	3,4	3,8

Tab. 4 Vlastní délka brzdné dráhy

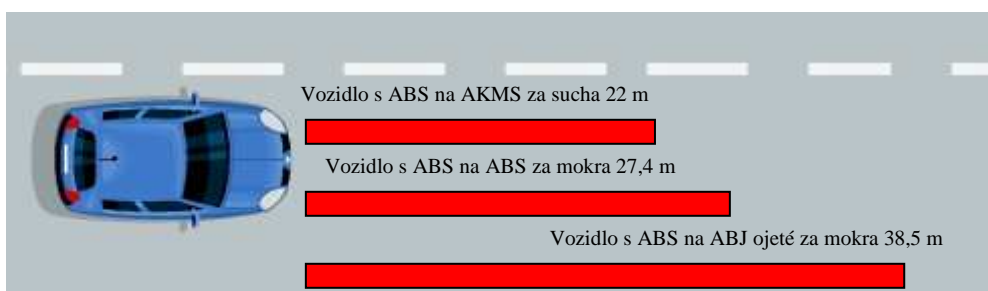
délka brzdné dráhy [m]	lineární závislost				exponenciální závislost			
	50 km/h		60 km/h		50 km/h		60 km/h	
	ABS	blok.kolo	ABS	blok.kolo	ABS	blok.kolo	ABS	blok.kolo
AKMS za sucha	8,0	9,0	11,5	13,1	7,7	8,6	11,1	12,5
AKMS podrcený	11,5	13,2	16,6	19,2	10,9	12,4	15,8	18,1
ABS	13,4	15,6	19,5	22,7	12,7	14,6	18,5	21,3
ABJ	16,1	19,0	23,5	27,7	14,6	16,8	21,4	24,6
ABJ ojeté	24,5	30,0	35,7	43,9	20,1	22,1	29,7	32,9

Tab. 5 - Celkové délky brzdné dráhy vozidel se systémem proti zablokování kol a bez něj na uvedených obrušných vrstvách vozovek při rychlostech 50 km/h a 60 km/h při reakční době 1 s

celková délka brzdné dráhy [m]	lineární závislost				exponenciální závislost			
	50 km/h		60 km/h		50 km/h		60 km/h	
	ABS	blok.kolo	ABS	blok.kolo	ABS	blok.kolo	ABS	blok.kolo
AKMS za sucha	22,0	23,0	28,5	30,1	21,7	22,6	28,1	29,5
AKMS podrc.	25,5	27,2	33,6	36,2	24,9	26,4	32,8	35,1
ABS	27,4	29,6	36,5	39,7	26,7	28,6	35,5	38,3
ABJ	30,1	33,0	40,5	44,7	28,6	30,8	38,4	41,6
ABJ ojeté	38,5	44,0	52,7	60,9	34,1	36,1	46,7	49,9



Obr. 1 Porovnání vlastní délky brzdné dráhy pro vozidlo bez ABS při rychlosti 50 km/h a 60 km/h na různých površích vozovky



Obr. 2 Porovnání celkové délky brzdné dráhy pro vozidlo s ABS při rychlosti 50 km/h na různých površích vozovky

6 ZÁVĚR

Rozdíly v délkách brzdných drah u lineární a exponenciální funkce jsou příznivější pro exponenciální funkci. Na výborných až vyhovujících protismykových vlastnostech povrchu jsou rozdíly v délkách brzdných drah malé, ale na nevyhovujících a havarijních površích jsou významné. Jelikož firma CONSULTTEST s.r.o. si pořídila zkušební zařízení na měření podélného tření již od rychlosti 5 km/h, je to dobrý podnět pro ověření skutečné závislosti podélného tření na rychlosti a tomuto měření bude věnována příští měřicí sezóna.

Stanovené rozdíly ve vlastních brzdných drahách zdůrazňují vliv nevyhovujících až havarijních protismykových vlastností povrchů vozovek. Jestliže je známo, že 12 % délky silnic I. tříd má nevyhovující a havarijní protismykové vlastnosti a tyto vlastnosti se vyskytují právě tam, kde se musí brzdít nebo měnit směr jízdy vozidel (v klesání, před křižovatkami, přechody pro chodce a před železničními přejezdy, v obloucích o malých poloměrech apod.). Je nutno zdůraznit, že protismykové vlastnosti nelze z pozice řidiče odhadnout a lze je zjistit pouze měřením.

Je zarážející, že stát ve snaze snížit nehodovost, systematicky neměří protismykové vlastnosti a svou kampaň pro zvýšení bezpečnosti silničního provozu omezuje jen na snížení rychlosti.

PODĚKOVÁNÍ

Výsledky byly získány za finančního přispění MŠMT ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

Literatura

- [1] <http://www.ibesip.cz/cs/Rychlost/Draha-pro-zastaveni-vozidla>
- [2] http://www.renault.cz/www_vozy/clio/swf/clio.html

Recenzoval

Doc. Ing. Jan Kudrna, CSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební (vedoucí ústavu pozemních komunikací), Veveří 331/95, 602 00 Brno, kudrna.j@fce.vutbr.cz