

VLIV VÝŠKY PROTISMYKOVÉHO PRVKU NA PŘÍČNÝ POSUN AUTOMOBILU PŘI ZJIŠŤOVÁNÍ VÝŠKOVÉ SOUŘADNICE TĚŽIŠTĚ AUTOMOBILU

THE INFLUENCE OF THE NON-SKID ELEMENT'S HEIGHT ON THE LATERAL DISPLACEMENT OF THE VEHICLE DURING DETERMINING THE HEIGHT OF CENTRE OF GRAVITY

Petr Jilek¹, Jan Pokorný², Ondřej Voltr³

Anotace: Článek se zabývá příčným pohybem vozidla při zjišťování jeho výškové souřadnice těžiště. Příčný posun vozidla byl měřen při naklápění automobilu na sklopné plošině kolem podélné osy. Vlivem tohoto pohybu dochází na spodní straně vozidla k příčné deformaci pneumatik a tím ke sklouznutí vozidla po nakloněné ploše. Kola na horní straně automobilu se po podložce smýkají při překročení jejich příčné pružnosti.

Klíčová slova: automobil, sklopná plošina, příčný pohyb, přeprava.

Summary: This paper deals with the lateral displacement of the vehicle during determining the height of centre of gravity. Lateral displacement was measured by tilting the vehicle on the tilting platform about the longitudinal axes. Lateral deformation of the tire on underside of the vehicle occurs through this movement. This results in sliding of the vehicle down the tilted platform. Wheels on the upper side of the vehicle slide when their lateral elasticity is exceeded.

Key words: vehicle, tilting platform, lateral movement, transport.

ÚVOD

Přesné určení výšky těžiště automobilu je nezbytně nutné nejen k matematickému řešení jízdních režimů vozidel, ale i především k validaci softwarových modelů silničních vozidel. Vlastní experiment je zatížen mnoha proměnnými, jejichž zjišťování není zrovna jednoduché. Z tohoto důvodu je třeba vstupní informace pro ověřování modelů získat s maximální možnou přesností. Proto se většina parametrů získává při experimentálním měření v laboratorních podmínkách.

¹ Ing. Petr Jilek, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky, Studentská 95, 532 10 Pardubice, tel.: +420 466 036 486, fax: +420 466 036 361, E-mail: petr.jilek@upce.cz

² Ing. Jan Pokorný, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Operační program Výzkum a vývoj pro inovace, Studentská 95, 532 10 Pardubice, tel.: +420 466 038 510, fax: +420 466 036 361, E-mail: jan.pokorny@upce.cz

³ Ing. Ondřej Voltr, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky, Studentská 95, 532 10 Pardubice, tel.: +420 466 036 463, fax: +420 466 036 361, E-mail: ondrej.voltr@upce.cz

Cílem příspěvku je ověřit vliv výšky protismykového prvku na příčný posun automobilu při zjišťování výškové souřadnice těžiště automobilu na sklopné plošině. Experiment byl realizován na pracovišti dopravní fakulty VVCD v Doubravících.

1. OBJEKT MĚŘENÍ

Za objekt měření bylo záměrně voleno experimentální vozidlo, které je na katedře dopravních prostředků a diagnostiky primárně určeno pro realizaci jízdních zkoušek. Jedná se o speciální dvounápravové vozidlo se systémem 4WS a 4WD. Vozidlo je postaveno za využití příhradového rámu svařeného z ocelových trubek kruhového profilu. Zdrojem pohonu je tříválcový spalovací motor o zdvihovém objemu $1,2 \text{ dm}^3$ od společnosti Škoda Auto. Výchozí technické parametry automobilu jsou v Tab. 1.

Tab. 1 – Parametry experimentálního automobilu

parametr	značení	rozměr [mm]
rozchod přední nápravy	B_1	1435
rozchod zadní nápravy	B_2	1435
vnější šíře stop	B	1590
rozvor náprav	L	2580
výšková souřadnice těžiště	T_z	533
hmotnost automobilu	m	980 kg

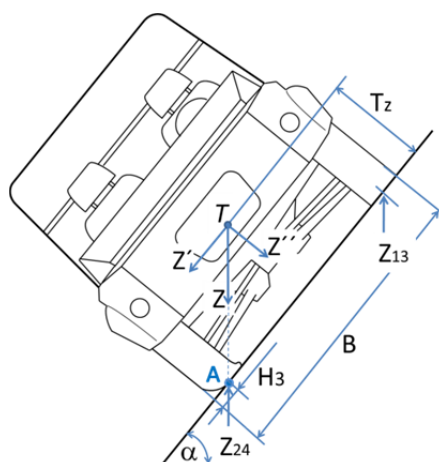
Zdroj: Autoři

2. ROZBOR DANÉHO PROBLÉMU

Podstatou pro zjišťování výškové souřadnice těžiště automobilu je jeho naklápění kolem osy rovnoběžné s podélnou osou vozidla. Poté sinová složka tíhy automobilu působí na rameni výškové souřadnice těžiště automobilu T_z společně s bočními reakcemi pneumatik Y_{1L} , Y_{1P} , Y_{2L} , Y_{2P} vytváří klopný moment M dle vztahu (1).

$$M = m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot T_z \quad (1)$$

Výsledkem působení klopného momentu je skutečnost, že při průjezdu automobilu zatáčkou dochází k přítěžování vnějších kol a odlehčování kol vnitřních a k současné změně zdvihu pérování související se posunem polohy hmot odpérováných vůči hmotám neodpérováným. Základní rozbor sil působících na vozidlo je zobrazen na Obr. 1.



Zdroj: Autoři

Obr. 1 – Rozbor působení sil na sklopné plošině

Ke sklouznutí vozidla na sklopné plošině dojde v okamžiku, kdy smyková síla Z' bude větší než součet bočních sil Y na všech kolech vozidla.

$$Z' = Z \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

$$Y = (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4) \cdot \mu \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

K překlopení vozidla na sklopné plošině dojde v okamžiku, kdy klopný moment M_k bude větší než moment stabilizační M_s .

$$M_k = Z' \cdot T_z \quad (4)$$

$$M_s = \left(\frac{B}{2} - H_3\right) \cdot (Z_{24} + Z_{13}) \cdot \cos \alpha \quad (5)$$

kde:

H_3 – velikost deformace pneumatiky

B – vnější šíře stop pneumatik

Součinitel přilnavosti pneumatiky s vozovkou μ v reálných podmínkách nabývá maximálních hodnot blízkých 1. Pro daný případ sklopné plošiny kde je povrch ocelový lakovaný s úpravou “slza“ a povrchovým lakováním je velikost součinitele adheze $\varphi \cong 0,6$.

Při vzájemném porovnání vztahů (2) až (4) se získá vztah (5), ze kterého je patrné, že u vozidla dojde dříve ke smyku než k jeho překlopení. Právě z tohoto důvodu je nutné při určování výškové souřadnice vozidla na sklopné plošině aretovat spodní kola proti sklouznutí (6).

$$\tan \alpha = \frac{B - H_3}{2 \cdot T_z} \quad (6)$$

3. VÝŠKA PROTISMYKOVÉHO PRVKU

Význam protismykového prvku spočívá v zamezení usmýknutí spodních kol vozidla a tím celé nápravy resp. vozidla při naklápění sklopné plošiny. Z pohledu bezpečnosti automobilů je žádoucí, aby došlo vlivem boční síly dříve ke smýknutí pneumatik na vozovce,

než k překlopení vozidla. Velikost součinitele adheze sklopné plošiny nedosahuje takových hodnot, aby bylo zabráněno smýknutí kol. Proto musí být zabráněno nežádoucímu pohybu kol za pomoci protismykového prvku Obr. 2.



Zdroj: Autoři

Obr. 2 – Protismykový prvek

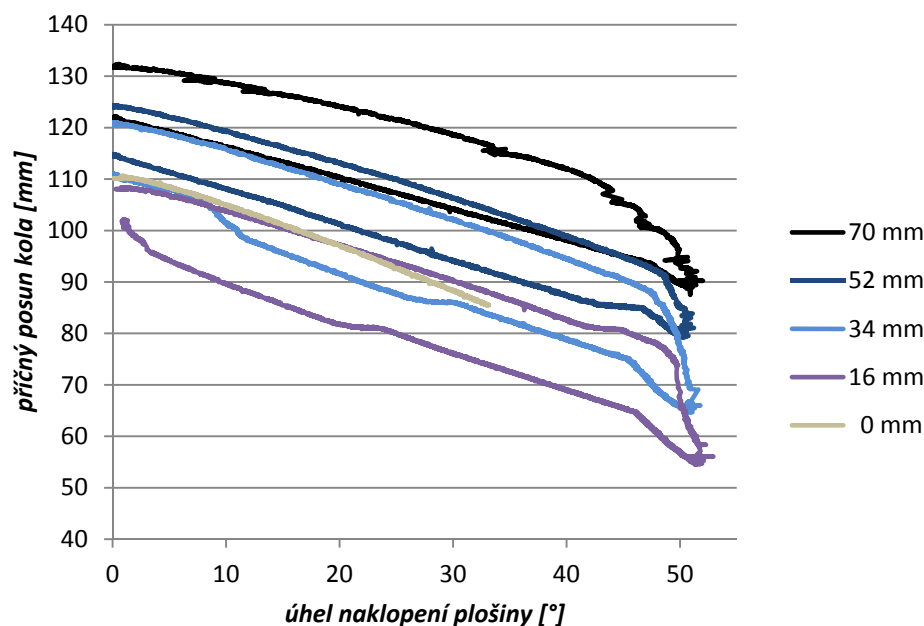
Jako protismykový prvek byly voleny kvádry o šířce $c = 70$ mm a stupňovité výšce $b = 16, 34, 52$ a 70 mm. Vliv velikosti protismykového prvku byla měřena pro oba směry sklápění plošiny. Z pohledu zachování neměnných podmínek pro jednotlivé velikosti protiskluzového prvku bylo měření realizováno pro prvek o maximální výšce 70 mm s ohledem na výšku pneumatiky automobilu.

4. BOČNÍ POSUV AUTOMOBILU

Postupně se vozidlo naklápělo k dané hodnotě úhlu a zaznamenávala se velikost příčného posunutí kola (nápravy) experimentálního vozidla. Daný postup byl realizován i pro sklápění automobilu do nulových hodnot. Každé následující měření bylo realizováno pro protiskluzový prvek o 18 mm nižší než v předešlém kroku. Jelikož se měřila relativní vzdálenost mezi snímačem a plošnou deskou zadního kola experimentálního automobilu platí, že s rostoucím bočním vychýlením automobilu se vzdálenost mezi kolem a snímačem snižuje. Tedy, čím větší příčný posun, tím více se hodnoty blíží nule. Výchozí poloha kola je definována 132 mm od snímače polohy.

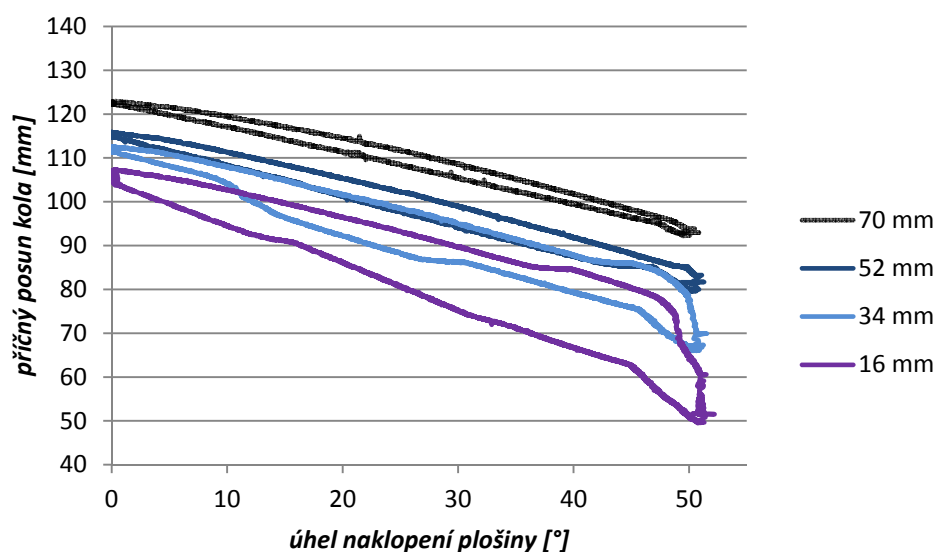
Pro zachování jednotných podmínek měření bylo zvoleno, že vozidlo se nebude naklápět až na plný rozsah nutný k odlehčení horních kol, což je cca 56° , ale jen do hodnoty 52° .

Na Obr. 3 a Obr. 4 je patrná závislost bočního posunu kola v závislosti na výšce protiskluzového prvku. Průběh křivky v oblasti maximálního úhlu naklopení vozidla je ovlivněna náhlým zastavením pohybu sklopné plošiny a krátkodobým setrváním v dané poloze, než se změní smysl sklápění.



Zdroj: Autoři

Obr. 3 – Závislost bočního posunu automobilu na výšce protismykového prvku při prvním sklápění



Zdroj: Autoři

Obr. 4 – Závislost bočního posunu automobilu na výšce protismykového prvku při opakovaném sklápění

Pro zachování jednotných podmínek bylo zvoleno, že vozidlo se nebude naklápět až na plný rozsah nutný k překlopení což je cca 56°, ale jen do hodnoty 51°.

Měření bylo realizováno ve dvou režimech:

- V prvním režimu bylo vozidlo sklápěno z volné polohy, resp. z polohy vycházející z předešlého měření s protismykovým prvkem o vyšší hodnotě. Jednotlivé průběhy měření jsou patrné z Obr. 2. Při měření v tomto režimu je patrné, že došlo k bočnímu posunu automobilu a to z důvodu vytvoření předpětí v uložení náprav.

- Ve druhém režimu se měření realizovalo v podobě opakovaného. Jednalo se o naklápění automobilu z polohy, která byla výsledkem předešlého měření s protismykovým prvkem o stejné velikosti, jako je stávající měření Obr. 3.

1.1 První režim měření

První režim měření má výchozí polohu kola a koncovou polohu kola po ukončení měření rozdílnou. Rozdíl je způsoben zvýšením předpětí v uložení podvozkového ústrojí automobilu v závislosti na velikosti příčné deformace pneumatiky. V podstatě se jedná o příčné posunutí automobilu – sklouznutí.

Výchozí polohou pro protismykový prvek o velikosti 70 mm je vzdálenost 132 mm. Při maximálním náklonu došlo k přiblížení automobilu ke snímači na hodnotu 89 mm. Při opětovném dosažení nulového sklonu plošiny se vzájemná vzdálenost snímače a kola zastavila na hodnotě 121 mm. Vzájemný posun automobilu byl 43 mm při maximálním úhlu náklonu a při následném nulovém úhlu naklonění plochy sklopné plošiny je 11 mm ve vztahu k výchozí hodnotě. Z průběhu křivky je patrné, že vzniká hystereze, která je dána konečnou tuhostí pryžových elementů v soustavě, která reprezentuje ztrátu mechanické práce na deformaci. Pro zbývající prvky jsou hodnoty příčného posunu patrné z Tab. 2.

Tab. 2 – Příčný posun automobilu pro první režim klopení

Výška protismykového prvku	Posun pro náklon 51° [mm]	Posun pro konečný bod sklápění [mm]
70 mm	93	0
52 mm	41	9
34 mm	55	10
16 mm	54	7
0 mm	33	---

Zdroj: Autoři

Při měření bez protiskluzového prvku je průběh zobrazen na Obr. 2, kde je patrné, že ke sklouznutí po povrchu plošiny došlo při úhlu jejího naklonění 33°. Dle výše uvedených vztahů je možné určit, že velikost součinitele adheze μ mezi koly vozidla a plochou sklopné plošiny je pro daný případ 0,649. Pro nulový protismykový prvek nedošlo k porovnání výchozí a cílové pozice nápravy, jelikož došlo ke sklouznutí automobilu již při úhlu náklonu sklopné plošiny 33°. Tedy velikost posunu by neměla vypovídající charakter.

1.2 Druhý režim měření

Druhý režim měření má charakteristický rys, že výchozí a koncové body měření jsou takřka totožné, jsou si o poznání blíže než při prvním měření. Výchozí polohou pro protismykový prvek o velikosti 70 mm je vzdálenost 123 mm. Při maximálním zvoleném náklonu plošiny došlo k přiblížení automobilu ke snímači na hodnotu 93 mm. Při opětovném dosažení nulového sklonu plošiny se vzájemná vzdálenost snímače a kola dosáhla hodnoty 123 mm. Vzájemný posun automobilu byl 30 mm při maximálním úhlu náklonu a při následném nulovém úhlu naklonění plochy sklopné plošiny je 0 mm ve vztahu k výchozí

hodnotě. Z průběhu křivky je patrné, že vzniká hystereze, je menší než u prvního režimu měření pro stejně vysoký protismykový prvek Obr. 3.

V tomto kroku měření bez protismykového prvku nebylo realizováno, jelikož nebylo možné zajistit validní výchozí podmínky měření.

Pro zbývající prvky jsou hodnoty příčného posunu patrné z Tab. 3.

Tab. 3 – Příčný posun automobilu pro druhý režim klopení

Výška protismykového prvku	Posun pro náklon 51° [mm]	Posun pro konečný bod sklápění [mm]
70 mm	20	0
52 mm	36	0
34 mm	46	2
16 mm	56	3

Zdroj: Autoři

ZÁVĚR

Cílem příspěvku bylo zjistit jaký vliv má výška protiskluzového prvku na boční posun automobilu při určování výškové souřadnice těžiště automobilu za využití sklopné plošiny. Z hlediska bezpečnosti je osobní vozidlo konstruováno tak, že se dříve dostane na hranici smyku než na hranici překlápění, kterého se využívá na sklopné plošině. Proto musí být použit protismykový prvek při každém měření na sklopné plošině.

Při sklápění automobilu bez použití protismykového prvku došlo ke smyku vozidla při úhlu naklonění automobilu $\alpha = 33^\circ$. Se zvyšující se hodnotou výšky protismykového prvku se boční deformace pneumatiky snižovala a tím i posun automobilu. Toto platí až do meze, kdy protiskluzový prvek je tak vysoký, že se o kolo vozidla nebude opírat přes pneumatiku ale přes disk. V okamžiku, kdy protiskluzový prvek se opírá o ráfek, respektive o disk kola, je hodnota příčného posunu vozidla nulová, jelikož ráfek ani disk nepodléhá příčné deformaci. Na velikost bočního posunu vozidla má mimo jiné vliv i stupeň nahuštění pneumatiky.

Závěrem lze říci, že při klopení vozidla dochází k příčnému posunu vozidla, kdy s klesající výškou protismykového prvku se příčný posun vozidla zvětšuje. Současně na velikost příčného posunu má vliv i to, zda se jedná o první či vícenásobné překlápění dle výchozích podmínek. Proto by se při zjišťování výškové souřadnice těžiště vozidla mělo postupovat dle zadaných podmínek měření a tyto by měly být uvedeny ve zprávě k měření. Boční posun vozidla v daném případě dosahoval až 4,2% šířky rozchodu dané nápravy vozidla.

Měřením se potvrdily předpoklady, že s klesající hodnotou protismykového prvku se příčný posun zvětšuje. Velikost příčného posunutí automobilu při naklápění je způsobena konstrukcí, tlakem a provedením pneumatiky společně s výškou protismykového prvku, směrem překlápění, a zda překlápění je opakované.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) DUKKIPATI, R., a spol. *Road vehicle dynamics*. SAE International. First edition. Warrendale, 2008. 852 s. ISBN 978-0-7680-1643-7.
- (2) KARNOPP, D. *Vehicle stability*. Marcel Dekker, First edition. New York, 2004. ISBN 0-8247-5711-4.
- (3) MILLIKEN, D. L., KASPRZAK, E. M. *Race car vehicle dynamics*. SAE International. Warrendale, 2003. 280 s. ISBN-10 0-7680-1127-2
- (4) VALA, M., TESAŘ, M. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. Pardubice, Univerzita Pardubice, First edition. Pardubice, 2002. 202 s. ISBN 80-7194-503-X.
- (5) VLK, F. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. Brno, Nakladatelství Vlk, 2001. 236 s. ISBN 80-238-6573-0.