

TESTOVANIE

# Použitie aeroprvkov teoreticky i v praxi

V minulom čísle magazínu sme sa venovali legislatívnym podmienkam použitia prídavných aerodynamických prvkov, ako aj výrobcom a všeobecnému popisu. V tomto vydaní sa pozrieme na problematiku bližšie, konkrétne sa budeme zaoberať, ako sa zníži odpor vzduchu, ktorý pôsobí na vozidlo pri jeho pohybe vďaka použitiu aeroprvkov.

Vozidlo sa pohybuje v určitom čase a v určitom priestore. Pohyb vozidla je dynamická činnosť, pri ktorej sa odpor prostredia správajú tiež dynamicky, takže v každom okamihu nadobúdajú iné hodnoty. Tie vyplývajú z vlastností vozovky, hustoty, tlaku a prúdenia vzduchu, pohybu vozidla - či zrýchľuje, spomaľuje alebo ide o rovnomerný pohyb.

## Odpor vzduchu a spotreba paliva

Súčet všetkých odporov vyjadruje silu pôsobiacu proti pohybu vozidla. Aby sme zaistili pohyb vozidla, hnacia sila jeho kolies sa musí rovnať sume odporov. Hnaciú silu vytvára motor vozidla. Čiže, čím menší odpor pôsobí na vozidlo počas jeho pohybu, tým menšia hnacia sila je potrebná. Motor vynaloží menší výkon a tým sa v podstate zníži aj okamžitá spotreba paliva. To je jednoduché pravidlo. Použitie prídavných aerodynamických prvkov prispieva k zníženiu spotreby vozidla práve prostredníctvom zníženia jazdného odporu, konkrétne aerodynamického odporu, čiže odporu vzduchu.

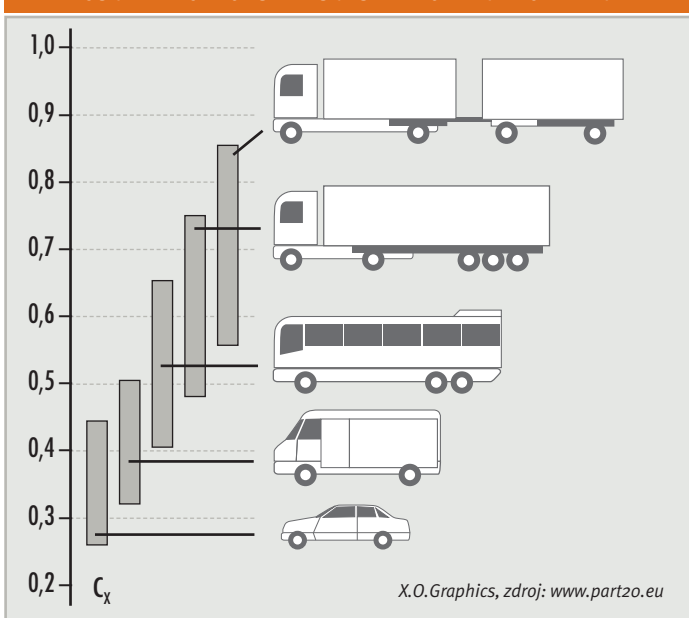


Testovacie vozidlo

**Súčiniteľ  $c_x$ .** Jeho veľkosť je závislá od viacerých faktorov, no sú to najmä hustota vzduchu (aktuálna teplota a tlak), čelná plocha vozidla, jeho rýchlosť a tvar karosérie. Tvar a obtekanie vzduchu okolo karosérie popisuje súčiniteľ odporu vzduchu, bežne označovaný ako  $c_x$  alebo v zahraničnej literatúre označovaný Cd.

Pre lepšiu predstavu čitateľa na jednej z ilustrácií uvádzame orientačné hodnoty súčiniteľa  $c_x$  pri rôznych automobiloch. Je zrejmé, že na hodnotu  $c_x$  vplýva tvar karosérie (vytváranie pretlakov a tlakových spádov pred a za karosériou) a jej členitosť (turbulencie obtekaného vzduchu). Snaha je o čo najhladšie obtekanie bez výrazných rozdielov tlakov pri

## SÚČINITEĽ ODPORU VZDUCHU PRI RÔZNYCH VOZIDLÁCH





Model návesovej súpravy

nárazu vzduchu na vozidlo. Preto najmenšie hodnoty dosahujú vozidlá s oblejšími krivkami s jednoduchším povrchom bez rôznych výčnelkov. Na porovnanie uvedieme dva extrémny: Dnešné osobné automobily s tvarom karosérie typu coupé sa blížia k hodnote  $c_x$  0,2, zatiaľ čo nákladné vozidlo s nadstavbou typu domiešavača alebo žeriav nadobúdajú hodnoty vyššie 1,0.

Jeden z grafov k článku znázorňuje aj podiel jednotlivých odporov, ktoré pôsobia na pohybujúcu sa bežnú návesovú súpravu (NS) vzhľadom na jej okamžitú rýchlosť. Tento graf popisuje skutočnosť, ak je súprava naložená 15 tonami tovaru, čiže jej celková hmotnosť je 30 t (priemerné

naloženie vozidla na úrovni 60 % z užitočnej hmotnosti). Vozidlo sa pohybuje ustálenou rýchlosťou po rovine, preto naň nepôsobí ani odpor stúpania, ani odpor zrýchlenia (zotrvačnosti). Jeho čelná plocha je 10,3 m<sup>2</sup>, koeficient  $c_x$  nameraný dojazdovou skúškou pre NS bez použitia prvkov zlepšujúcich obtekanie vzduchu 0,601 a použité plášte s koeficientom odporu valenia  $f$  s hodnotou 0,0055. Nameraná hodnota  $fz$  dojazdovej skúšky mala hodnotu 0,0058, čo predstavuje pneumatiky v energetickej triede C podľa nariadenia (ES) č. 1222/2009. Hodnota mechanických strát v hnacom ústrojenstve predstavuje cca 8 %, táto hodnota vychádza z presného

poznania konštrukcie ústrojenstva. Pri rýchlosti 88 km/h, čo predstavuje skutočnú rýchlosť vozidla, ktoré sa pohybuje rýchlosťou vymedzenou obmedzovačom nastavenom na hodnotu 90 km/h, je skladba odporov pre bežnú NS nevybavenú prídavnými prvkami nasledovná: odpor vzduchu 55 kW (47 %), odpor valenia 53 kW (45 %), mechanické straty a odpory 9 kW (8 %).

### Meranie vo veternom tuneli

Vzhľadom na skutočnosť, že výrobcovia prídavných prvkov neudávajú nikde hodnoty, ako jeho zariadenie ovplyvňuje odpor vzduchu vozidla, a tým hodnotu  $c_x$  (je to potrebné na stanovenie miery vplyvu na spotrebu pri rôznych prevádzkových režimoch), tak bolo potrebné vykonať vlastné merania. Prvé boli merania na zmenšenom modeli návesovej súpravy vo veternom tuneli.

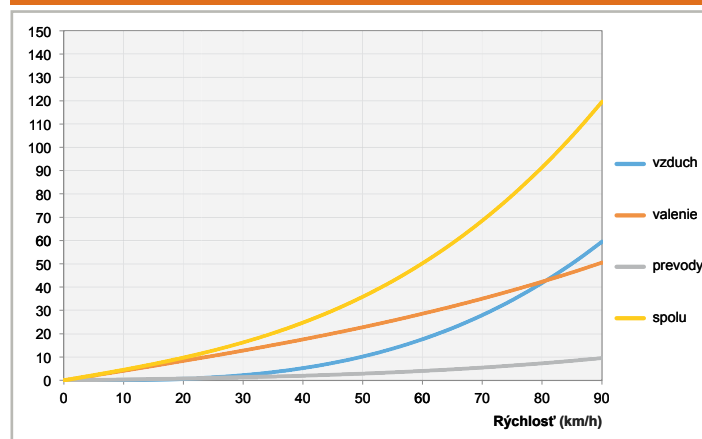
Meranie sme vykonali na modeli vozidla MAN TGX 18.440 s bežným valníkovým návesom s plachtou v miere 1/24. Bola to voľba, ktorá najviac



Pozícia sklopeného zadného deflektora

zodpovedala podmienkam pri ďalšom teste na reálnom vozidle, keďže sme mali k dispozícii tiež MAN TGX. Model bol postavený na podložke vybavenej silomerom a bol ofukovaný rôznymi rýchlosťami vzduchu v dvoch uhloch nábehu – 0° a 5°. Realizovali sme to preto, aby sme vo výsledkoch zohľadnili aj vplyv slabého bočného vetra v reálnych podmienkach, pretože poveternostné podmienky na vozovke

### JAZDNÉ ODPORY NÁVESOVEJ SÚPRAVY (NS) PO ROVINE



nezodpovedajú laboratórnym v tuneli. Na základe nameranej sily na silomery a snímání okolitých fyzikálnych podmienok sme potom vypočítali hodnoty súčiniteľa odporu vzduchu bez použitia aeroprvkov a s nimi. Skúmali sme štyri stavy: 1. bez prvkov, 2. bočné platne, 3. zadný deflektor (chvost) a 4. kombináciu oboch prvkov.

### VÝSLEDKY JEDNOTLIVÝCH MERANÍ

STAV / MERANIE	VETERNÝ TUNEL	DOJAZDOVÁ SKÚŠKA		VÝSLEDNÉ HODNOTY
	VLASTNÉ MERANIE, MODEL	VLASTNÉ MERANIE, MEGA	TU GRAZ, KONVENČNÝ	
BEZ PRVKOV	0,606	0,599	0,603	0,601
ZADNÝ DEFLEKTOR	0,587	0,576	–	0,578
BOČNÉ PLATNE	0,578	–	0,560	0,558
KOMBINÁCIA	0,540	–	–	0,518

## Dojazdové skúšky v reále

Na zistenie súčiniteľa  $c_x$  na skutočných vozidlách sme vykonali dojazdové skúšky. Je to typ skúšky, ktorý sa bežne realizuje na zistenie jazdných odporov na vozidlách, kde postup merania upravujú viaceré národné a medzinárodné normy. Princíp spočíva v tom, že vozidlo sa rozbehne na požadovanú rýchlosť, v tom sa vyradí rýchlostný stupeň do neutrálu a vozidlo samovoľne spomaľuje do požadovanej rýchlosti, prípadne až do úplného zastavenia. Počas dojazdu vozidla sa meria jeho okamžitá rýchlosť, zrýchlenie (resp. spomalenie), čas a ubehnutá dráha. Na základe nameraných údajov je možné zistiť hodnoty odporových síl v celom priebehu spomaľovania vozidla, a tým zistiť presnú hodnotu súčiniteľa  $c_x$ . Takéto merania sa používajú aj na zisťovanie odporu valenia.

Dojazdové merania, ktoré vykonala priamo Katedra cestnej a mestskej dopravy na Žilinskej univerzite, sa týkali vozidla s použitím zadného deflektora (chvostu). Prvotný plán bol vykonať merania pre všetky štyri stavy, tak ako vo veternom tuneli, avšak na základe dodávateľských problémov nebolo možné namontovanie bočných platní na náves vo vyhotovení MEGA (použiteľné len na návesy konvenčnej výšky podlahy). Preto sme vychádzali aj z nameraných hodnôt kolegov z Technickej univerzity v rakúskom Grazi, ktorí testovali práve bočné platne. Výsledky meraní zo všetkých troch skúšok sú uvedené v publikovanej tabuľke.

Tabuľka znázorňuje hodnoty získané z meraní a teoretický výpočet kombinácie prvkov. Keďže nie všetky merania bolo možné vykonať s oboma prvkami, prípadne ich kombináciou (bočné platne neboli dodané podľa dohody s dodávateľom), tak sme dopočítali výsledné hodnoty súčiniteľov syntézou. Keďže všetky meracie stavy sa realizovali práve v tuneli, tieto hodnoty sme brali ako bázu. A na základe

poklesu hodnoty  $c_x$  vzhľadom na použitie aeroprvkov sme dopočítali výsledné hodnoty, ktoré sú uvedené v pravom stĺpci publikovanej tabuľky.

Tabuľka vyjadruje hodnotu výkonu motora vozidla, ktorý je potrebný na prekonanie jazdných odporov návesovej súpravy pri rôznych prevádzkových stavoch zlepšujúcich jej aerodynamické vlastnosti. Vychádza z nami nameraných hodnôt. Popísaná je jazda vozidla pri ustálenej rýchlosti (jazda po diaľnici) so stúpaním 0,5 %, čo predstavuje priemernú hodnotu stúpania, ktoré musia vozidlá prekonať pri jazde po európskej diaľničnej sieti. Čiže zohľadňuje aj rovinaté úseky, aj horské časti diaľnic. Presné zníženie odporových

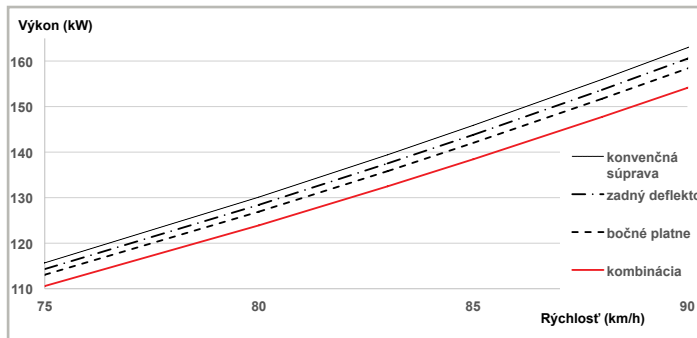
Taktiež redukcia odporu vzduchu je tu vypočítaná ako okamžitá hodnota pri danej rýchlosti. Avšak priemerný výkon je veľmi závislý od režimu prevádzky vozidla. Vplývajú naň vonkajšie faktory - ako je vozovka (povrch, pozdĺžny profil), hustota a rýchlosť dopravného prúdu, ale aj vnútorné - ako je okamžitá hmotnosť vozidla, technický stav, konštrukčné vlastnosti a usporiadanie vozidla, štýl jazdy vodiča a iné. Keďže z výsledkov je zrejme, že použitie prvkov má najväčší vplyv pri vyšších rýchlostiach, vylúčime regionálne a rozvážkové prepravy, kde vozidlá buď vôbec, alebo len ojedinele dosahujú rýchlosť nad 80 km/h. Takže treba uvažovať nad vozidlami, ktoré prepravujú tovar na

3. štýl jazdy vodiča (voľba prevodového stupňa, otáčky motora, poloha pedálu akcelerátora – použitie tempomatu, robotizovanej prevodovky).

Druhý problém je efektívnosť vozidla pri premene chemicky viazanej energie v palive na premenu mechanickej energie, ktorá slúži na pohyb a pohon vozidla. Táto efektívnosť závisí od konštrukčných vlastností motora, prevodového ústrojenstva a iných aspektov. Čiže na jednej strane zlepšením aerodynamických vlastností vozidla znížime mechanickú prácu, avšak miera zníženia nemusí korešpondovať so znížením celkovej spotreby energie formou spotreby paliva.

Momentálne vykonávame testovacie jazdy za účelom stanovenia zníženia spotreby paliva vozidiel v skutočných podmienkach počas preprav, ale aj na meracích úsekoch vybraných komunikácií. V ďalšej časti série článkov v budúcom čísle Truck & business sa dostaneme práve k tejto problematike - spotrebe, ktorá je z ekonomického hľadiska najpodstatnejšia pre dopravcu, a z ekologického hľadiska

### VÝKONY ODPOROVÝCH SÍL NS PRI POUŽITÍ AERODYNAMICKÝCH PRVKOV



### ZNÍŽENIE ODPOROVÝCH VÝKONOV NÁVESOVEJ SÚPRAVY (PRI 88 KM/H)

PREVÁDZKOVÝ STAV	VÝKON JAZDNÝCH ODPOROV (KW)	ZNÍŽENIE ODPOROVÉHO VÝKONU	
		ABSOLÚTNE (KW)	POMERNÉ (%)
KONVENČNÁ SÚPRAVA	156,0	–	–
ZADNÝ DEFLEKTOR	153,7	2,3	1,5
BOČNÉ PLATNE	151,7	4,3	2,7
KOMBINÁCIA	147,7	8,3	5,3

rovových výkonov pri rýchlosti 88 km/h (obmedzovač na 90 km/h) so stúpaním je uvedených v ďalšej tabuľke.

Treba si uvedomiť, že prídavné aerodynamické prvky majú značný vplyv na redukciu odporu vzduchu. Tá sa pohybuje v závislosti od použitých prvkov od 2,3 po 8,3 kW, čiže 1,5 až 5,3 % pokles. Čísla však nereprezentujú hodnotu zníženia spotreby paliva daného vozidla.

dlhšie vzdialenosti po diaľniciach. Tým sa v ich režime prevádzky podstatne zníži vplyv:

1. pozdĺžneho sklonu vozovky (diaľnice a rýchlostné cesty majú plynulejšie výškové vedenie s menšími stúpaniami a klesaniami),
2. vplyv zrýchľovania a spomaľovania (väčšia časť jazdy je ustálenou rýchlosťou, často s použitím tempomatu) a

najvýznamnejšia pre celú našu spoločnosť.

*Experimentálne merania, ktoré sme vykonali, by sa nemohli realizovať bez podpory dopravnej spoločnosti NAD-RESS Senica, združenia ČES-MAD Slovakia a spoločnosti AVE-moto. Aj touto cestou sa im chceme poďakovať.*

Text, foto a grafy:  
Ing. Tomáš Skrúčaný