

VLIV POLOHY MODELU NA TLAKOVÉ POLE V JEHO OKOLÍ V MĚŘÍCÍM PROSTORU AERODYNAMICKÉHO TUNELU

Model Position Influence on Surrounding Pressure Field in Wind- Tunnel Test Section

Ing. Peter Kohút

1 ÚVOD

Hodnoty měřených veličin na modelech v aerodynamických tunelech jsou v obecném případě ovlivněny samotným provedením experimentu. Tyto vlivy mohou být způsobeny jak nedokonalou simulací reálného případu, tak použitými měřicími metodami.

Cílem práce je vyšetření vlivu polohy modelu v měřícím prostoru aerodynamického tunelu na měřené aerodynamické charakteristiky tohoto modelu. Text navazuje na předchozí práce zabývající se dalšími vlivy a rozšiřuje tak poznatky vedoucí k celkovému zpřesnění experimentů prováděných na daném zařízení.

2 UVAŽOVANÉ VLIVY

Jak již bylo řečeno v úvodu, více či méně zanedbatelný vliv na měřené veličiny má každá součást měřícího prostoru tunelu.

Vzhledem k uvažovaným nízkým rychlostem (podzvukové proudění) resp. poměrům rychlostí proudění a šíření informace (např. rozruchu v tlakovém poli) je nutné uvažovat např. i vliv interakce modelu s dýzou tunelu.

Vliv dýzy

Model bývá z různých důvodů umísťován v malé vzdálenosti od výstupního průřezu dýzy. Dochází tak k interakci tlakového pole vzniklého existencí modelu se samotnou dýzou, což může vést k tzv. ucpání dýzy a k vzrůstu rychlosti proudu v blízkosti modelu.

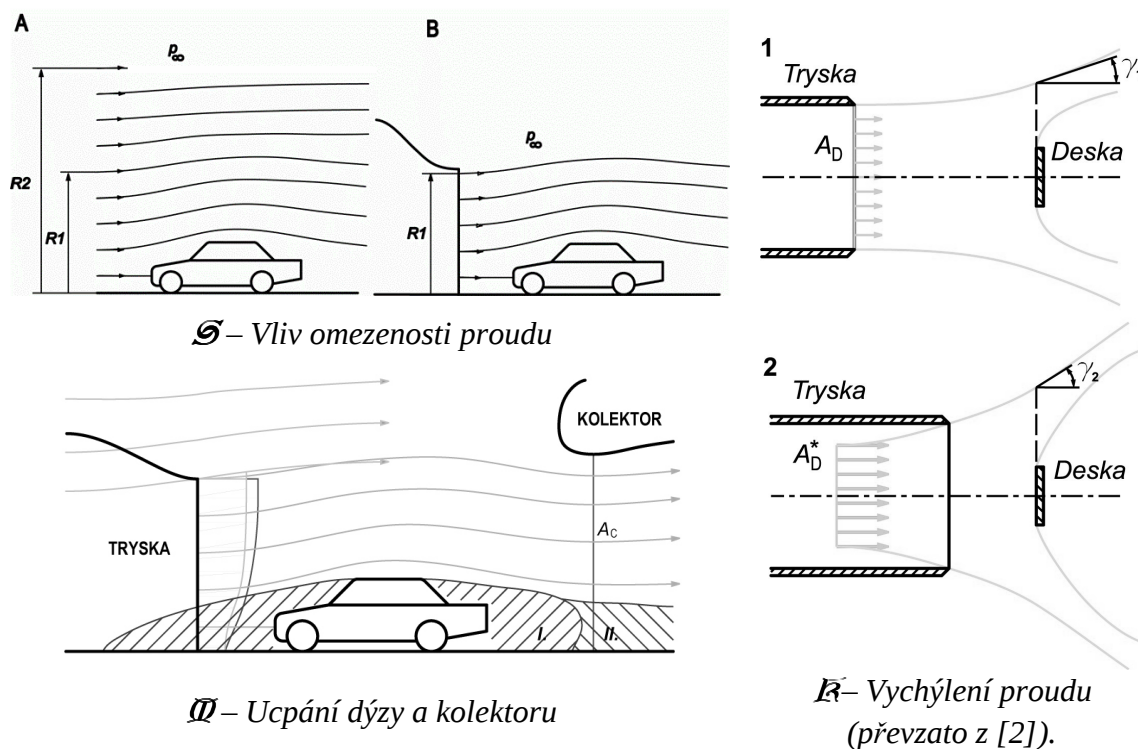
V závislosti na geometrii modelu a vzdálenosti od dýzy dochází k vychýlení proudu modelem tak, že tento zaujímá větší průtočný průřez, dochází tak v místě modelu k poklesu rychlosti, a tedy snížení intenzity odporových silových účinků na model.

Vliv kolektoru

Za modelem obecně vzniká oblast úplavu. Úplav lze rozdělit na tzv. úplav krátkého dosahu a úplav dlouhého dosahu. Opět v závislosti na geometrii modelu, kolektoru a jejich vzájemné vzdálenosti může dojít k tomu, že úplav zasahuje do oblasti kolektoru. To může způsobit tzv. ucpání kolektoru, kdy se zmenší průtočný průřez nerozrušeného proudu a dojde k zvýšení rychlosti a poklesu statického tlaku, což vede k jevu nasávání modelu kolektorem a tedy ovlivnění měření na modelu.

Podélný tlakový gradient

V případě nevhodného tvarování (geometrie) dýzy a kolektoru může vlivem setrvačnosti a spojitosti proudění dojít k vytvoření podélného tlakového gradientu v prázdném měřícím prostoru tunelu, tj. bez testovaného modelu. Tento vliv je třeba uvážit zejména při měření vztlakových charakteristik.



Obr. 2.1 Některé vlivy při měření v aerodynamických tunelech.

3 EXPERIMENT

Model

Pro daný účel byl jako nejvhodnější varianta zvolen zjednodušený model odpovídající autobusu v měřítku cca 1:15. Především kvůli návaznosti na provedená měření [3]. Vzhledem k cíli experimentu, tedy vyšetření polohy v měřicím prostoru, byla však použita zkrácená varianta modelu o celkové délce $L_M = 500$ mm.

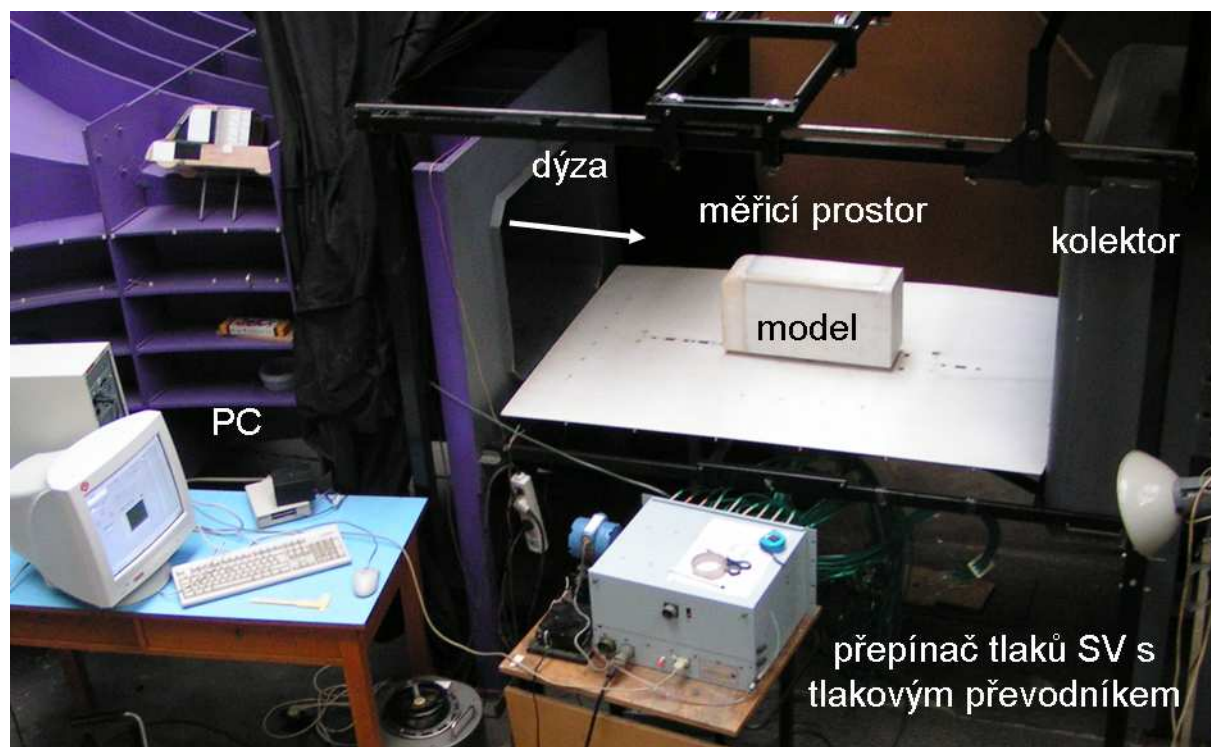
Pro stanovení vlivu interakce modelu s dýzou a kolektorem byl měřený model vybavený odběry statického tlaku umísťován ve třech pozicích podél centrální osy desky simulující vozovku. A to ve vzdálenostech od dýzy $L_{D-M} = 70, 500, 930$ mm, což odpovídá poloze těžiště modelu vůči středu měřicího prostoru $L_S = -430, 0, 430$ mm (Tab. 3.1.1)

3.1 Měření

Experimenty byly provedeny v cirkulačním aerodynamickém tunelu s otevřeným měřicím prostorem s úpravou pro automobilová měření laboratoře Odboru 12107.1. Maximální rychlost v měřicím prostoru tunelu dosahuje hodnoty $U = 20$ m/s. Délka měřicího prostoru je $L = 1500$ mm, obdélníková dýza má rozměry $B \times H = 750 \times 550$ mm.

- Použitá zařízení
- simulace vozovky rovinnou pevnou deskou
 - tlakový převodník Rosemount DR2,
 - měřicí karta + PC pro řízení a zpracování měření,
 - přepínač tlakových odběrů ScaniValve,
 - dále staniční barometr, vývěva.

Pozn.: Pro dané parametry byla zjištěná relativní chyba měření tlakových veličin menší než 1% hodnoty dané veličiny.

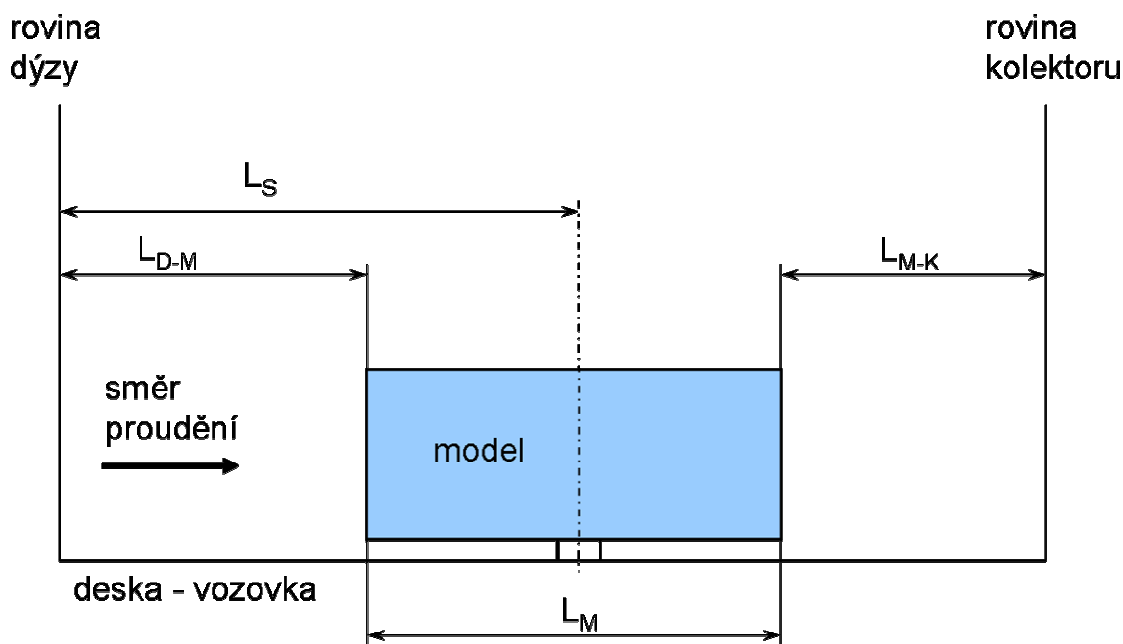


Obr. 3.1.1- Náhled měření

Tlaková měření byla provedena při stejných parametrech nabíhajícího proudu. Vždy byla změněna pouze vzájemná konfigurace modelu a měřicího prostoru. Model byl postupně umísťován v centru měřicího prostoru, v blízkosti dýzy a v blízkosti kolektoru. Přesné vzdálenosti jednotlivých částí shrnuje následující tabulka:

vzdálenosti (mm)		čela	středu	zádi
varianta		L_{D-M}	L_S	L_{M-K}
I	dýza	70	320	930
II	střed	500	750	500
III	kolektor	930	1180	70

Tab. 3.1.1 Konfigurace měření.



Obr. 3.1.2 – Konfigurace měření.

Pro model v centrální poloze byla provedena tlaková měření pro různé rychlosti nabíhajícího proudu – pro případnou korekci nestejných rychlostí.

3.2 Zpracování

Naměřené tlakové difference byly pomocí jejich vzájemných vztahů a určeného barometrického tlaku převedeny na požadované statické tlaky a měření byla zobrazena ve formě rozložení součinitele tlaku c_p na povrchu modelu pro všechna uvažovaná uspořádání. Součinitel tlaku je definován podle vztahu

$$c_p = \frac{p - p_\infty}{q} \quad (1)$$

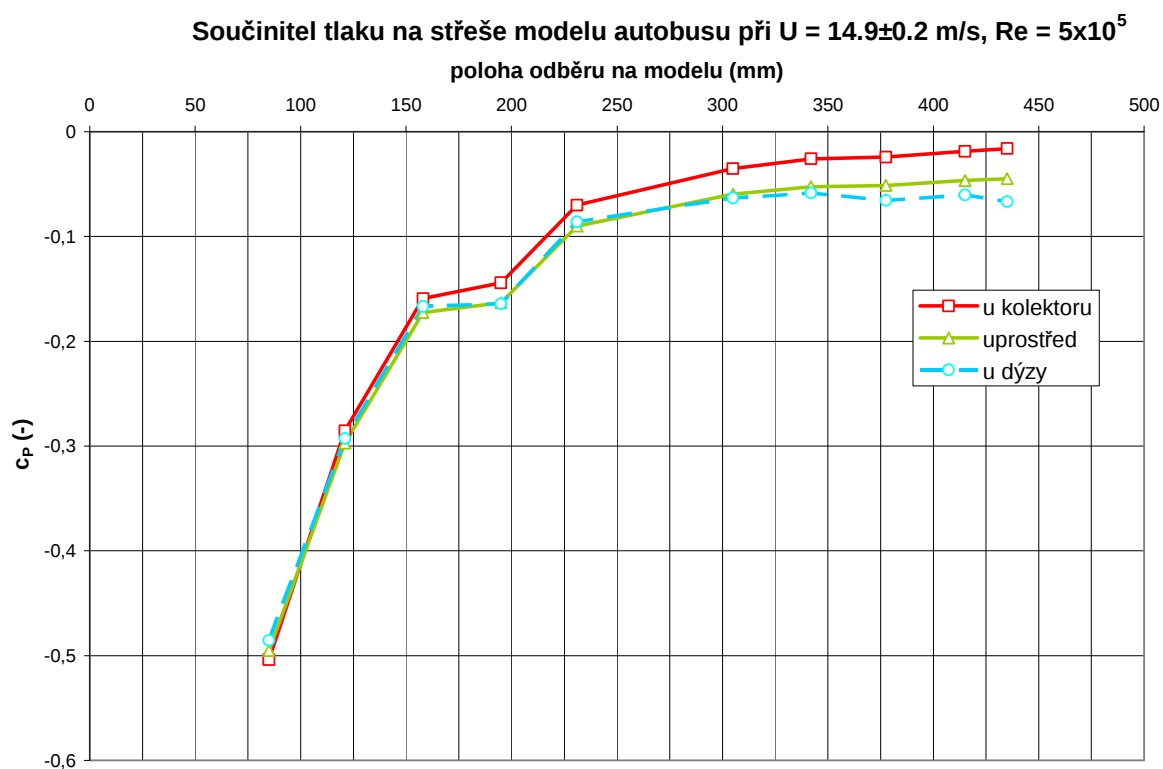
kde p je měřený statický tlak v daném místě, p_∞ je statický tlak ve vzdáleném místě a q je dynamický tlak.

4 VYHODNOCENÍ

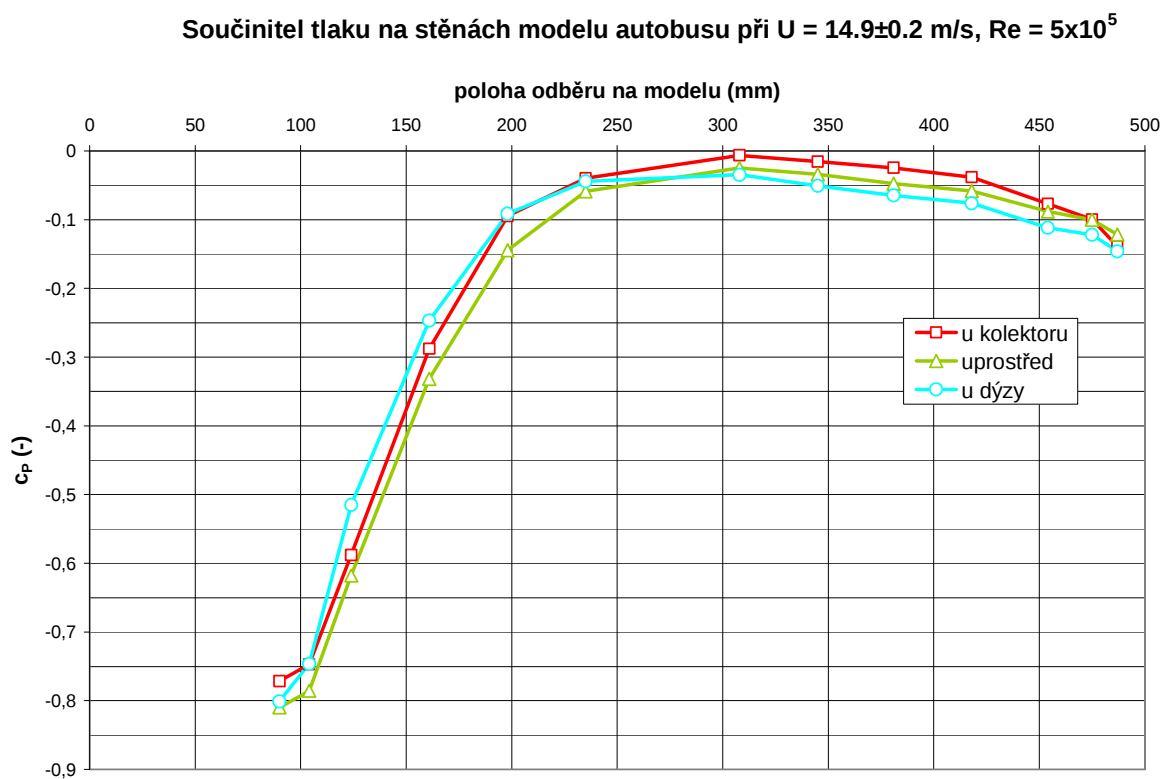
4.1 Tlaková pole na střeše a stěnách modelu

Na obr. 4.1.1 je zobrazen průběh měřeného součinitele tlaku c_p na střeše modelu autobusu v závislosti na poloze odběru při třech pozicích v měřicím prostoru. Minimální hodnoty dosahuje c_p v blízkosti rádia střechy modelu, kde lze předpokládat maximum lokální rychlosti proudu. V této části je vliv polohy modelu zanedbatelný. Směrem k zadní části modelu c_p roste, stejně jako rozdíl hodnot c_p na stejném odběru v závislosti na poloze modelu. Zde se patrně výrazněji projevuje vliv kolektoru.

Na dalším obrázku (4.1.2) je zachycen průběh stejné závislosti, ovšem tentokrát na stěnách modelu. Zatímco na obr. 4.1.1 má naměřená závislost monotónně rostoucí charakter, je závislost na obr. 4.1.2 nejprve rostoucí a poté zvolna klesající. Poloha minima je zřejmá z předchozího textu. Především však je vliv polohy modelu poměrně malý. Dosahuje hodnot $\Delta c_p = 0.05$.



Obr. 4.1.1 Součinitel tlaku na střeše autobusu.

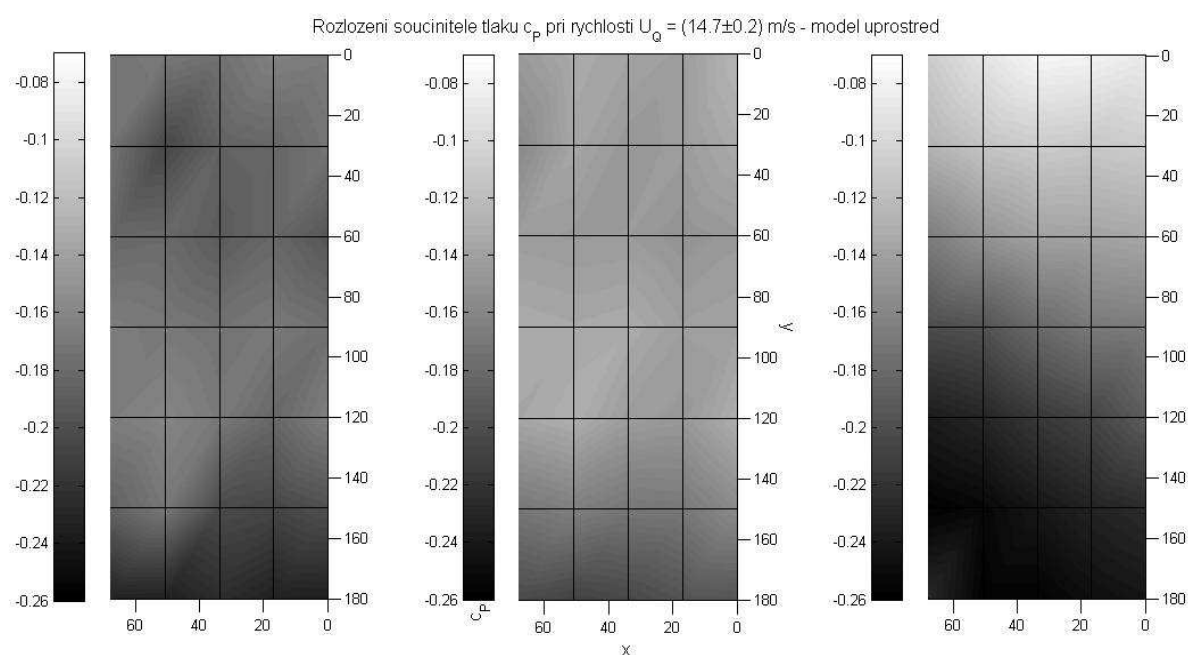


Obr. 4.1.2 Součinitel tlaku na stěnách modelu.

4.2 Tlaková pole na zádi modelu

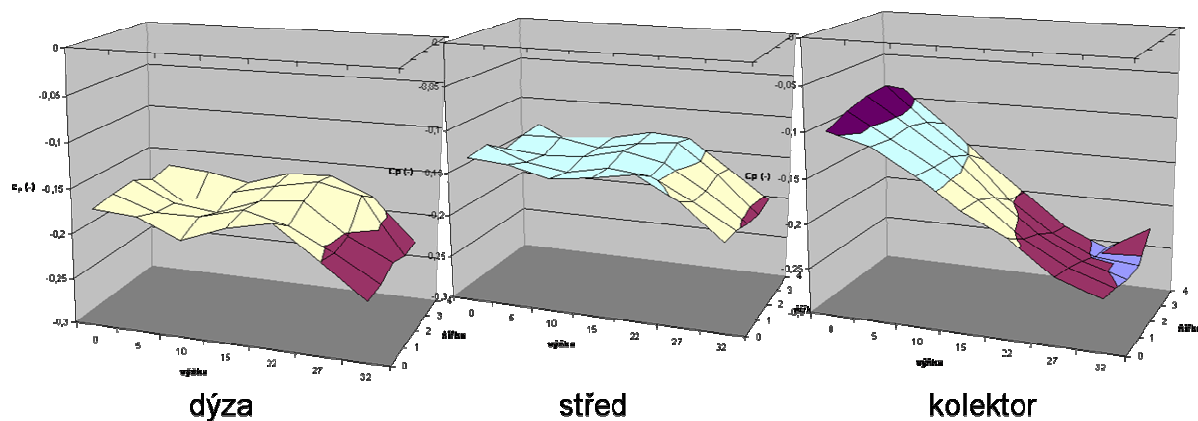
Stěžejní částí experimentu je vyšetření vlivu kolektoru na tlaková pole na zadní stěně modelu. Na obrázku 3.2.1 jsou znázorněna rozložení tlakového součinitele na měřené levé polovině zadní stěny (s předpokladem symetrie pole).

Všechny pole mají pro vzájemnou porovnatelnost stupně šedi odpovídající stejnému rozsahu hodnot c_p . Z jejich porovnání je zřejmé, že nejvyšší vyrovnanost vykazuje model v poloze uprostřed. Model v blízkosti dýzy má hodnoty c_p nižší a méně vyrovnané než předchozí ačkoliv charakter rozložení nehomogenit je dosti podobný. Při umístění modelu v blízkosti kolektoru vykazuje pole rozložení c_p výrazné odlišnosti od dvou předchozích. Především zcela odlišný charakter, který se vyznačuje výraznou závislostí součinitele tlaku na vertikální poloze odběru. V horizontálním směru je oproti tomu závislost nevýrazná. Dále v této konfiguraci dosahuje c_p extrémních hodnot, tedy jak minima tak maxima.



Obr. 3.2.1

Porovnání tlakových polí na zádi pro všechny varianty polohy modelu



Obr. 3.2.2

Pozn.: Všechny pole mají pro vzájemnou porovnatelnost stupně šedi odpovídající stejnému rozsahu hodnot c_p .

Vzhledem ke konstrukci modelu nebyl možno získat hodnoty z celého povrchu zadní stěny.

Z hlediska korekce na měření součinitele odporu, resp. jeho tlakové (tvarové) složky je důležité porovnání celkového účinku tlakových polí na základní plochu modelu. Vzhledem k rovnoměrnému rozmístění tlakových odběrů na vyšetřované ploše můžeme celkový účinek pro účely srovnání vyšetřovaných případů nahradit průměrnými hodnotami c_p pro dané tlakové pole. Z tohoto porovnání vyplývá následující:

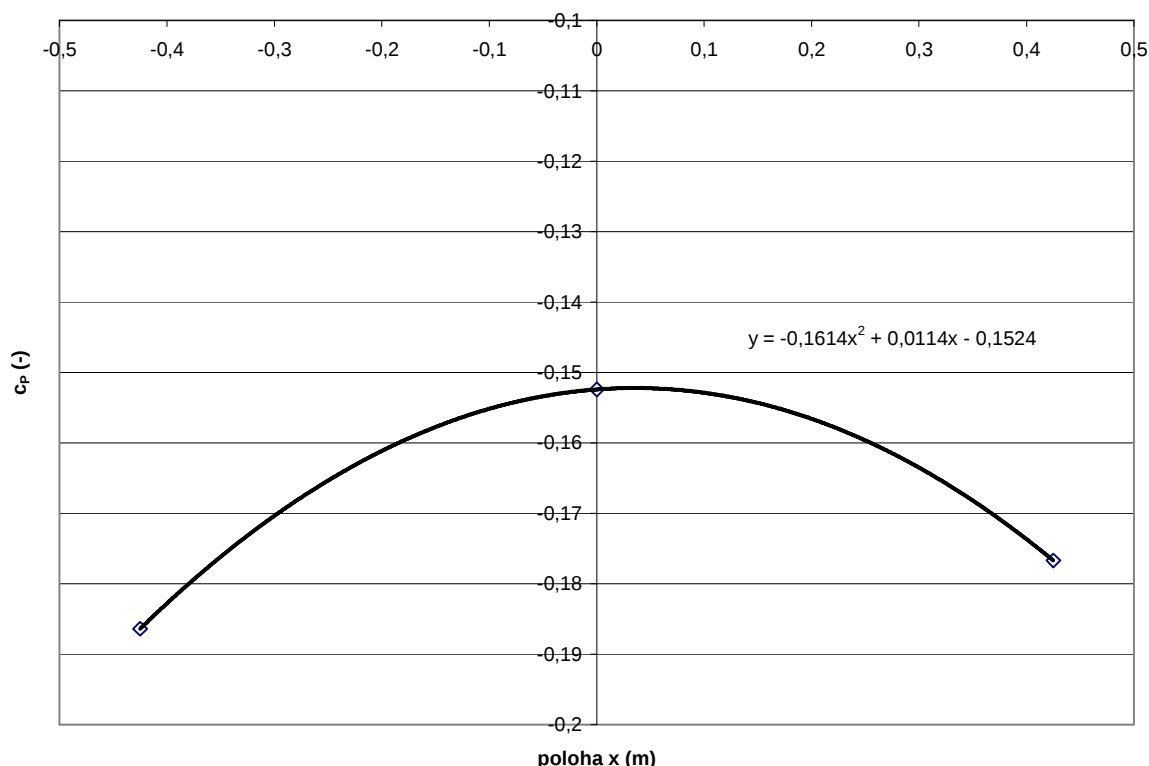
Maximální hodnoty definované jako „mean c_p “ je dosaženo při poloze uprostřed. Ačkoliv lokálních extrémních hodnot je dosaženo v poloze „u kolektoru“, střední hodnota dosahuje minima v poloze „u dýzy“.

Navrhovaná korekční funkce pro eliminaci vlivu polohy modelu na měřený tlakový součinitel má tvar součinu

$$c_{pc} = K(x)c_{pm} \quad (2)$$

kde c_{pc} je korigovaná hodnota, c_{pm} je měřený tlakový součinitel a K je korekční součinitel, který je funkcí polohy v měřicím prostoru, přičemž nabývá hodnoty $K = 1$ pro polohu uprostřed a souřadný systém je definován právě uprostřed délky měřicího prostoru.

Průměrné c_p při různých polhách modelu v měřicím prostoru tunelu



Obr. 3.2.2

Pro tento případ nabývá navržená funkce tvaru

$$c_{Pc} = c_{Pm} \frac{c}{ax^2 + bx + c}, \quad (3)$$

kde konstanty nabývají hodnot $a = -0.1614$; $b = 0.0114$; $c = -0.1524$. Tyto hodnoty platí ovšem pouze pro daný model.

Aby mohly být učiněny konkrétnější závěry, je nutné zjistit v budoucnu korelaci mezi provedenými měřeními tlakových polí na modelu a měřeními odporových sil působících na model opět v závislosti na poloze modelu v měřicím prostoru.

Navržená funkce je tedy pouze jedním řešením korekce vlivu kolektoru resp. dýzy a bude nutné její platnost ověřit dalšími experimenty, případně navrhnout její modifikaci.

5 ZÁVĚRY

Provedené experimenty potvrzují teoretický předpoklad o nezanedbatelném vlivu součástí měřicího zařízení (dýza, kolektor) na měřené veličiny při změně polohy modelu v měřicím prostoru aerodynamického tunelu s otevřeným měřicím prostorem.

Budeme-li brát hodnoty v poloze uprostřed měřicího prostoru jako neovlivněné, lze říci, že vliv kolektoru způsobuje výraznou nesymetrickou deformaci tvaru tlakového pole na zádi modelu. V důsledku toho je ve spodní části výšky modelu je tento výrazněji přisáván než v horní části. To může vést k ovlivnění měření momentových účinků na modely.

Dále byl identifikován vliv na tlakové pole na zádi i při umístění modelu v blízkosti dýzy. Je patrný vyšší podtlak působící na plochu, což patrně souvisí s vlivem ucpání dýzy. V tomto případě bude nutné ověřit možný vliv polohy modelu na snímání rychlosti proudu v dýze.

Vliv polohy modelu na rozložení tlakového součinitele na bočních stěnách a střeše je méně výrazný a z hlediska měření odporových sil vzhledem k symetrii proudového pole není nutné jej uvažovat.

Na základě provedených experimentů lze doporučit umístování modelů do polohy uprostřed měřicího prostoru, resp. volit rozměry modelu s ohledem na výše zmíněnou interakci s dýzou a kolektorem.

Aby mohly být učiněny konkrétnější závěry a pro ověření správnosti interpretace výsledků, je nutné zjistit v budoucnu korelaci mezi provedenými měřeními tlakových polí na modelu a měřeními odporových sil působících na model opět v závislosti na poloze modelu v měřicím prostoru.

Navržená funkce je tedy pouze jedním řešením korekce vlivu kolektoru resp. dýzy a bude nutné její platnost ověřit dalšími experimenty, případně navrhnout jinou funkci.

Rád bych také závěrem poděkoval kolegovi Jakubovi Gureckému za pomoc při realizaci experimentu.

6 LITERATURA

- [1] HUCHO, W.-H. *Aerodynamics of Road Vehicles*, Fourth Edition, p. 752, SAE, 1997;
- [2] MERCKER, E.; WIEDEMANN, J. *On the Correction of Interference Effects in Open Jet Wind Tunnels*, SAE Technical Paper 960671, 1996.
- [3] KOHÚT, P. *Stanovení korekce na zaplnění tunelu s otevřeným měřicím prostorem*, diplomová práce, 2005;