

VYSOKORYCHLOSTNÍ VLAKY A AERODYNAMIKA

BC. JAN POPL

České vysoké učení technické v Praze,
Fakulta dopravní

Abstrakt:

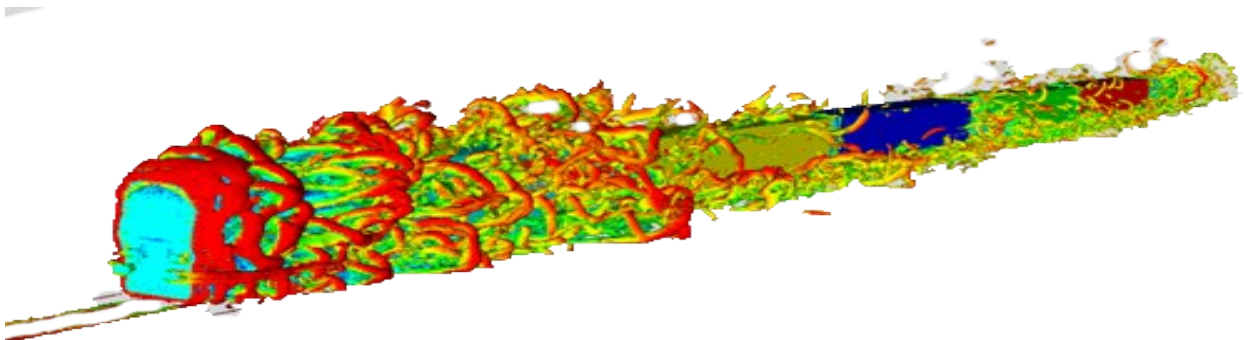
Příspěvek se věnuje tématu aerodynamické interakce vysokorychlostního vlaku a jeho okolí, především tunelů, ostatních vlaků a zařízení podél trati. Je popsán vznik aerodynamických rázových vln, jejich působení, vliv změn tlaku na cestující v jejich důsledku a používaná řešení k zamezení nežádoucích vlivů. Nastíněny jsou možnosti numerických simulací vnější aerodynamiky kolejových vozidel a způsob používání modelů v aerodynamických tunelech.

Klíčová slova:

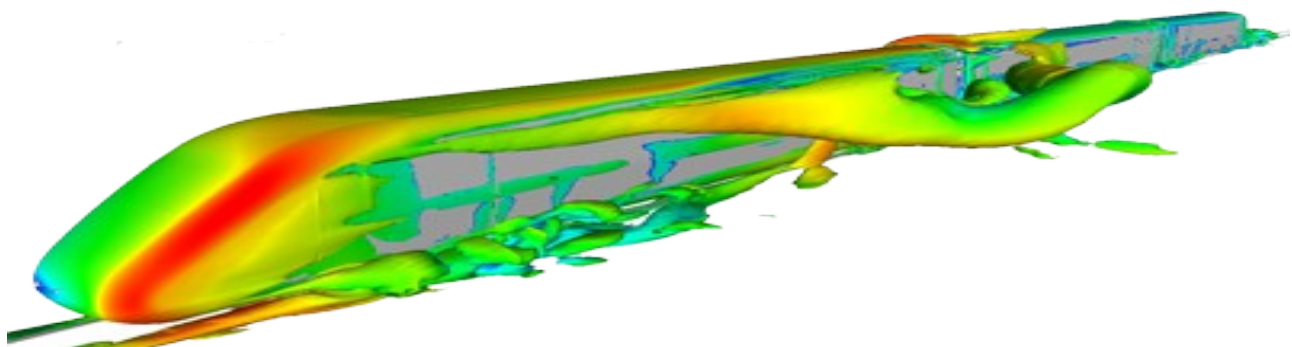
vlak, aerodynamika, simulace, měření, .rázové vlny, aerodynamický tunel, model, tlak

1) Nezbytnost aerodynamiky pro dosažení vysokých rychlostí

Jízdní odpor vlaku jedoucího vysokou rychlostí je tvořen zejména jeho aerodynamickým odporem $w = a + c * v^2$. Výkon je dán součinem síly potřebné pro překonání odporu a rychlosti. Potřebný výkon pro dosažení vysokých rychlostí tedy roste se třetí mocninou rychlosti $P = k * v^3$. Chceme-li tedy zdvojnásobit rychlost (například ze 160 km/h na 320 km/h) musíme osadit vozidla osmkrát výkonnějším trakčním motorem. Bohužel při dnešních znalostech motorů, ať už spalovacích nebo elektrických to možné není. Nabízí se ale možnost výrazně snížit aerodynamický odpor vozidla. Požadované rychlosti tedy můžeme dosáhnout se čtyřikrát příznivějším aerodynamickým odporem a pouze dvakrát výkonnějším motorem, tato varianta již je realizovatelná. Doprovodným, ale velice důležitým efektem je nízká energetická náročnost vysokorychlostní železniční dopravy.

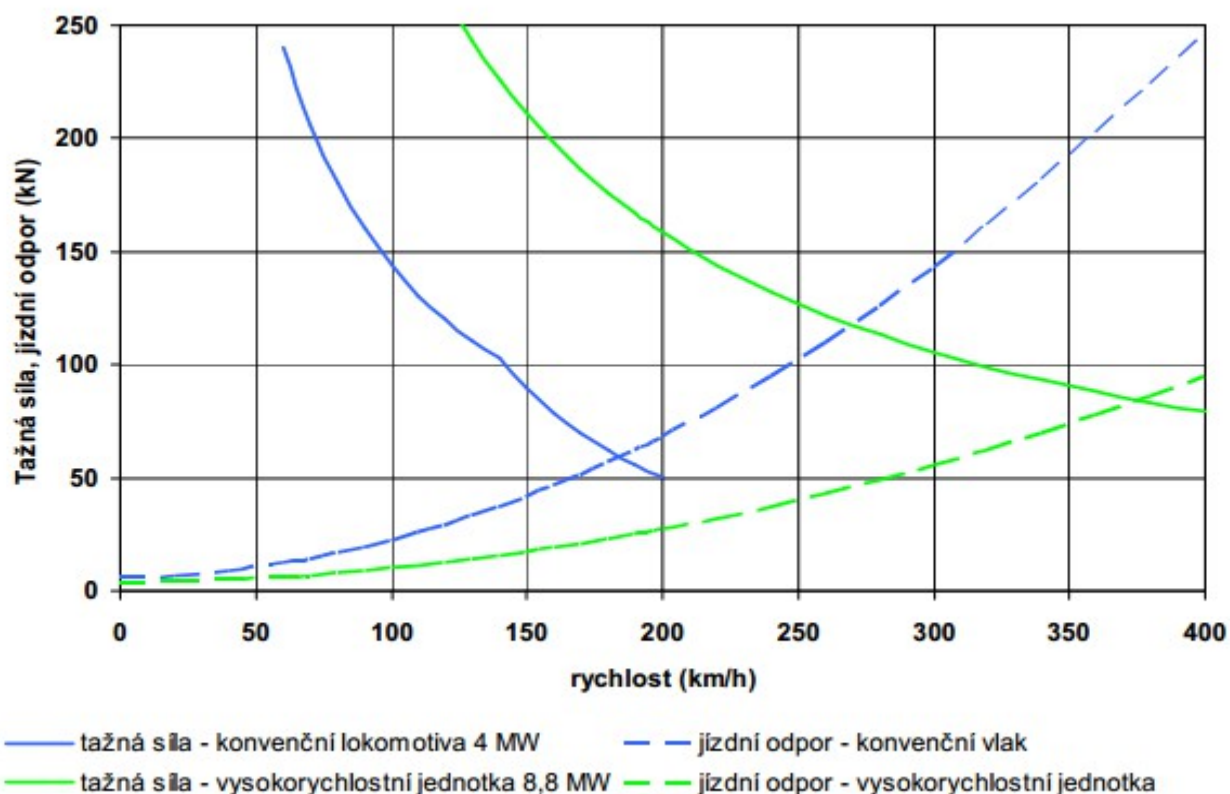


Obr. 1 proudění vzduchu v okolí vlaku bez aerodynamického uzpůsobení pro vysoké rychlosti



Obr. 2 proudění vzduchu v okolí vlaku s aerodynamickým uzpůsobením pro vysoké rychlosti

Spotřeba energie je úměrná tažné síle, tažná síla překonává pouze jízdní odpor, spotřeba energie je tedy přímo úměrná velikosti jízdního odporu. Vzhledem k řádově lepší aerodynamice vysokorychlostních vozidel, jejich jízdní odpor tedy nestoupá se zvyšující se rychlostí tak rychle jako u konvenčních vozidel. Jak je vidět i na grafu 1 díky aerodynamicky uzpůsobenému tvaru vozidla můžeme při stejné tažné síle dosahovat podstatně vyšších rychlostí. U vysokorychlostní jednotky je při rychlosti 270 km/h zapotřebí stejné tažné síly jako u konvenčního vozidla při rychlosti 160 km/h.



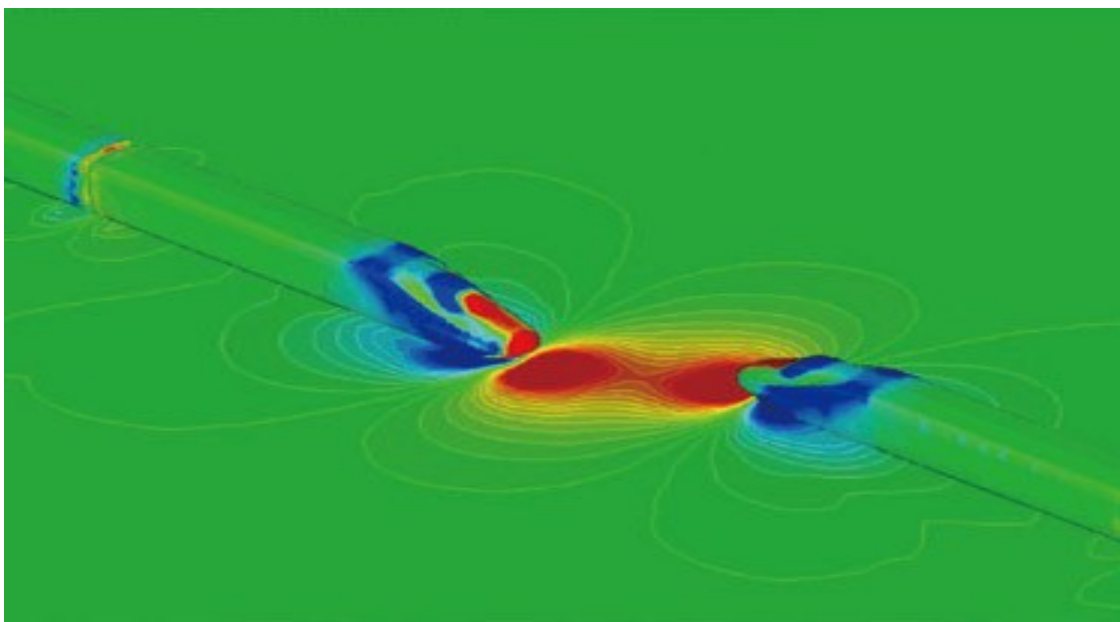
Graf 1 rychlost – tažná síla, konvenční lokomotiva vysokorychlostní jednotka

2) Setkání vysokorychlostního vozidla s konvenčním

Důvodů proč není žádoucí provozování konvenčních vozidel na vysokorychlostních tratích je více. Nejvýznamnějším z těchto důvodů jsou obavy z následků účinku tlakových vln, generovaných vysokorychlostními vlaky na konvenční vozidla, u kterých není jisté, zda by takové náporů vydržela. Dalšími důvody je snižování propustnosti tratě (nerovnoběžný grafikon, pomalé projíždění oblouků s velkým přebytkem převýšení, které má za následek namáhání vnitřní kolejnice.

Míjení rychle jedoucích vlaků a jejich průjezd tunelem jsou doprovázeny silnými tlakovými rázy. Aby bylo zamezeno náhlým změnám tlaku v interiéru vozidla, jsou vozidla pro vysoké rychlosti zásadně řešena jako tlakotěsná. Tuto vlastnost, však konvenční vozidla nemají a mohlo by docházet při míjení ke změnám tlaku v interiéru, které způsobují cestujícím nepříjemné zaléhání v uších (mezní fyziologicky akceptovatelná hodnota rychlosti změny tlaku vzduchu v interiéru vozidla je zhruba 500 Pa/s).

Tlakový ráz vnějšího vzduchu vyvolává značné mechanické namáhání skříní vozidel, oken, dveří a dalších jejich částí, u tlakotěsných vozidel se ještě k těmto silám přidává namáhání způsobené rozdílem vnitřního a vnějšího tlaku. Vozidlo proto musí být nejen tlakotěsné, ale i tlakopevné a náležitě tuhé. Vysokorychlostní vozidla jsou těmto namáháním uzpůsobená, ale konvenční vozidla která nejsou na takové podmínky dimenzována je nemusí vydržet. Následkem může být nepohodlí, ale i zdravotní újma cestujících, nebo poškození vozidel. Obzvláště ohrožená jsou potom okna, dveře a nekapotované podvozky konvenčních vozidel. Vzniká-li například při míjení vysokorychlostních vlaků v tunelu tlakový ráz ± 7 kPa působí na bočnici vozu o ploše 70 m² sílový ráz ± 490 kN, což odpovídá tíze tělesa o hmotnosti 50 t. Použitím tlakopevných a tlakotěsných vozidel lze optimalizovat průřez tunelu. Toto opatření vede snížení ceny stavby tunelu a tím i ke snížení nákladů pro výstavbu tratí. Na takové trati se pak mohou ale pohybovat jen vozidla k tomu speciálně řešená.

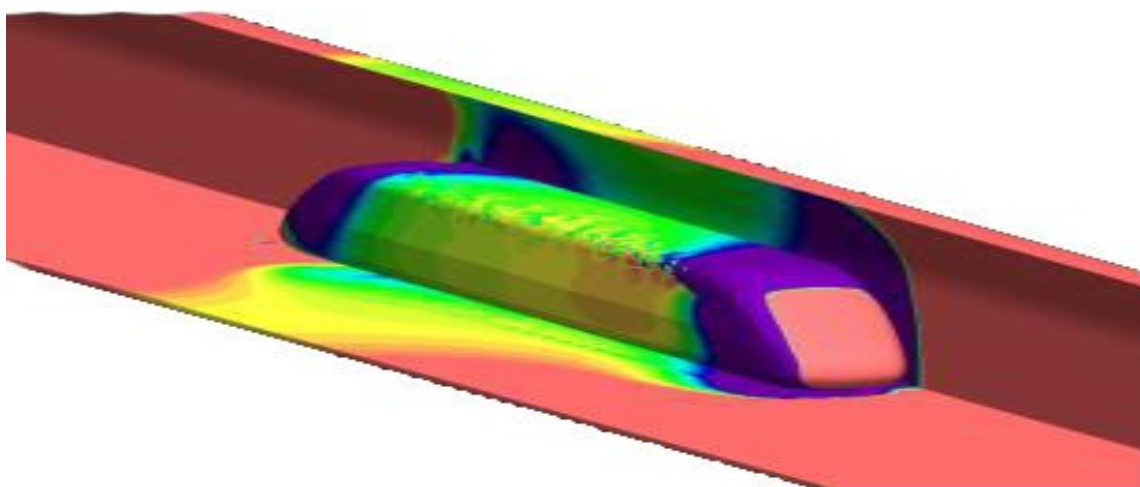


Obr. 3 Vznik a šíření tlakového rázu, při míjení dvou vysoko rychlostních vlaků

3) Jízda vlaku tunelem

Jak již bylo naznačeno v předchozí kapitole jízda vlaku tunelem, značně ovlivňuje jeho aerodynamiku. V tunelu, se značně zvyšuje aerodynamický odpor $w = a + k * c * v^2$ oproti jízdě ve volném prostoru se zvyšuje k-krát. Tunelový faktor k, závisí na délce, průřezu a provedení tunelu. Hodnoty k se typicky pohybují mezi hodnotami 2 – 3. Jízda tunelem, ale nezvyšuje pouze aerodynamický odpor a tím spotřebu energie, vznikají při ní též tlakové vlny.

Po vjetí vlaku do tunelu se od jeho čela ve směru jízdy začne šířit tlaková vlna rychlostí vzduchu. Po dosažení předního portálu se od něj tlaková vlna odrazí a jako podtlaková se šíří zpět proti jedoucímu vlaku. Podtlaková vlna působí na vlak mine ho a pokračuje k zadnímu portálu tunelu, od něž se opět odrazí. Směřuje opět k vlaku a působí na něj. Tyto amplitudy, nejenže působí tlakovými silami na vlak, ale svou amplitudou mohou vlak rozkmitávat a tím způsobit zrychlené opotřebení techniky v jehož důsledku se snižuje bezpečnost dopravy. Tunelový faktor zvýšení jízdního odporu v tunelu a amplituda tlakových vln závisí na poměru příčných průřezů vozidla a tunelu.



Obr. 4 tlakové síly působící na vysokorychlostní vlak v tunelu

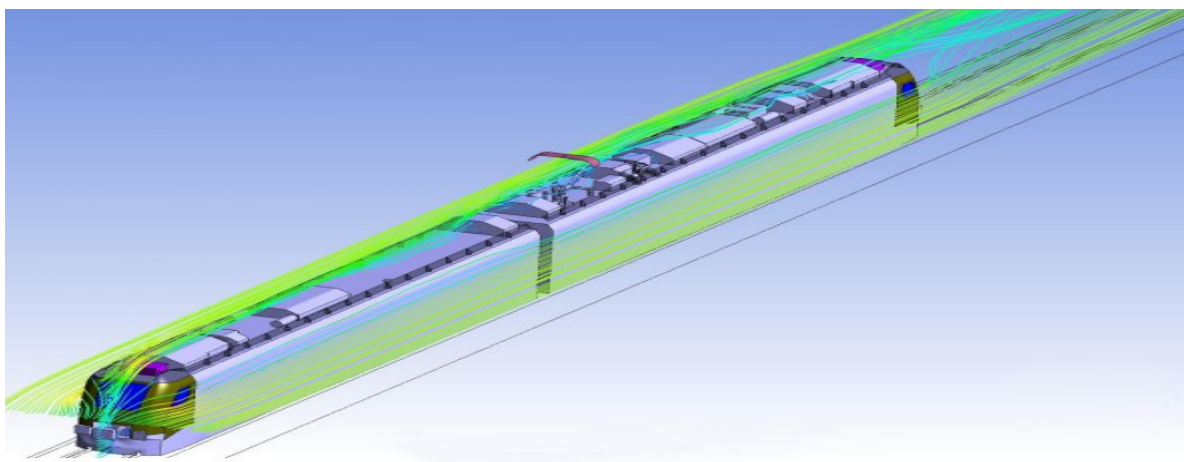
Tlakové rázy a tlakové změny jsou pro člověka nepříjemné, proto jsou vysokorychlostní vlaky řešeny jako tlakotěsné. Je nutné aby vlaky byli schopni udržet rozdíl vnitřního a vnějšího tlaku, musejí samozřejmě vydržet působení sil s tímto spojených. Jestliže jede vlak volným prostorem, klimatizace distribuuje vzduch z vnějšku do vnitřku vlaku. Pokud však vlak vjede do tunelu klimatizace se přepne do systému 100% recirkulace, nenasává tedy žádný vnější vzduch, jedná se o pasivní tlakovou ochranu.

Recirkulace má však za následek postupné zhoršování kvality vzduchu, především zvyšování koncentrace oxidu uhličitého. Pokud se jedná o krátký tunel přívod vnějšího vzduchu se rychle obnoví, jde-li však o tunel delší, není možné použít tuto pasivní ochranu a je nutné použít ochranu aktivní. Aktivní ochrana funguje na principu ventilátorů s přetlakovými komorami, přivádí čerstvý vzduch do vlaku i za jízdy tunelem a zároveň postupně vyrovnává vnější a vnitřní tlak.

4) Využití numerických simulací, při výzkumu aerodynamiky kolejových vozidel

Kolejové vozidlo je za jízdy namáháno aerodynamickým odporem a zároveň svým průjezdem také ovlivňuje okolní infrastrukturu (tj. stavby a objekty v blízkosti tratě). Znalost vzájemného silového působení mezi jedoucím kolejovým vozidlem a jeho okolím je potřeba pro návrh, konstrukci a zkoušky nového vozidla pro zajištění bezpečného provozu.

Experimentální výzkum vnější aerodynamiky kolejových vozidel sebou nese nemalé problémy. Asi nejzákladnějším je jeho ekonomická náročnost, při testování skutečných vozidel (pronájem zkušební trati, snímací čidla atd) dále jsou to technické problémy, jako dosažení potřebné rychlosti s nedokončeným vozidlem v průběhu vývoje, určení měřítek a následných přepočtu u modelů pro aerodynamické tunely. Jako alternativa se proto jeví simulace, se svoji nesrovnatelně menší časovou a ekonomickou náročností. Další podstatnou výhodou simulací je jejich variabilita co se měření týče. U simulací vnější aerodynamiky kolejových vozidel, stejně jako při reálných pokusech můžeme vytyčit dva základní principy, simulace v aerodynamickém tunelu, simulace jízdy vlakové soupravy. V prvním případě se jedná o simulaci obtékání stojícího vozidla kapalinou (vzduchem) ve druhém případě jde o složitější úlohu jízdy vlaku která vede k nestacionárním výpočtům.



Obr. 5 simulace obtékání soupravy v aerodynamickém tunelu

5) Vysokorychlostní vlaky v aerodynamických tunelech

Aerodynamika je v dnešní době základem pro vývojáře vysokorychlostních vlaků, ovlivňuje jejich provoz, ekologičnost, ekonomickou efektivitu a bezpečnost. Proto jsou v dnešní době tak často používány aerodynamické tunely, výsledky z nich získané jsou často v reálu neměřitelné. Díky aerodynamickým tunelům byla stanovena i maximální bezpečná rychlost pro dvě míjející se soupravy (při standardní osově vzdálenosti kolejí) na 320 – 350 km/h. Možnosti aerodynamických tunelů překonávají možnosti reálných testů v mnoha ohledech, ukázalo se to například při rekordní jízdě AGV (574,8 km/h). Data naměřená při této jízdě byla takřka identická s daty z aerodynamického tunelu neměřenými dříve. Další nespornou výhodou aerodynamických tunelů je použití zmenšených modelů a interpolací dat získání hodnot pro reálnou velikost.



Obr. 6 model v aerodynamickém tunelu

5) References

- Schuster M., „Simulations of aerodynamic effects of rail vehicles“,
26. konference "Výpočtová mechanika 2010", Nečtiny, ZČU Plzeň, 2010
- Krajnović Siniša, „Dynamic instability and discomfort of high-speed trains,
in particular induced by aerodynamics in tunnels“,
Vehicle Aerodynamics Laboratory 2002
- Pohl J., „Společná optimalizace parametrů vozidel a tratí pro vysokorychlostní železniční
dopravu“,
Siemens Kolejová vozidla s.r.o. 2007
- Pohl J., „Vzájemný soulad vozidel a infrastruktury v dálkové a regionální dopravě“,
Czech Raildays Ostrava, 2010
- Anonym, „Research progress on aerodynamics of high-speed railway train “
Chinese academy of sciences 2009
- C. Barker, „Train aerodynamics problems & solutions“
Railway strategies, 2010
- Pohl J., „SOULAD PARAMETRŮ TRATÍ A VOZIDEL“,
Siemens Kolejová vozidla s.r.o., 2008
- Schuster M., „Řešení vnější aerodynamiky kolejových vozidel“
Konference Ansys, 2011