



**26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH
VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko**

<https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.04>

AERODYNAMICKÉ POŽADAVKY NA VOZIDLA V KONTEXTU DALŠIEHO ROZVOJE ŽELEZNICE

AERODYNAMIC REQUIREMENTS ON VEHICLES IN THE CONTEXT OF FURTHER RAILWAY DEVELOPMENT

Emanuel MERGL^{*)}

1 SYSTEMATICKÁ ANALÝZA POŽADAVKŮ

Na úplný úvod je uvedeno širší zamyšlení nad souvislostmi, které daly podnět ke vzniku tomuto textu. Při současném rozvoji železnice v České republice, které je reprezentováno především nově vznikajícími tratěmi pro rychlosti vyšší než 160 km/h, se začínají objevovat úkoly, které vyžadují upravit přístup k projektování železničních vozidel. Na významu nabývají doposud okrajová témata, například požadavky aerodynamiky, která při těchto rychlostech již nezanedbatelně ovlivňují bezpečnost provozu. Jedním z cílů tohoto textu je proto iniciovat diskuzi nad těmito otázkami, upozornit na vhodné postupy při jejich řešení a pokusit se nastavit systematickou analýzu problematiky už při koncepčním návrhu nových řešení.

Při pohledu do zahraničí, kde se na železnici vyskytuje rychlost vyšší než 160 km/h, lze pozorovat několik aktivit, které na národní úrovni systematicky a dlouhodobě probíhají. Jedná se především o vznik a činnost národních skupin (tzv. Mirror Group), které rozpracovávají a do praktické aplikace zavádějí požadavky definované na evropské úrovni v technických směrnících pro interoperabilitu (TSI) nebo v souboru norem EN 14067.

Vedle toho tyto skupiny zpracovávají témata, která TSI nebo EN 14067 podrobně nepostihují (tzv. open points) nebo k nim nestanovují jednoznačné požadavky definující nezbytné rozhraní pro návrh vozidla i infrastruktury. Navržené postupy a požadavky shrnují do metodických pokynů, které jsou nezbytné pro praktickou aplikaci a které umožňují realizovat návrhy nových řešení systematicky v souladu se stanoveným národním konceptem železnice.

Tyto činnosti probíhají za účasti všech subjektů zapojených do železničního průmyslu, tj. výrobců vozidel, projektantů staveb, správce infrastruktury, dopravců a výzkumných institucí. Při stanovování požadavků probíhají nejen podrobné analýzy, ale i hledání vhodného kompromisu pro všechny subsystemy, jelikož aerodynamické efekty se vyskytují na jejich rozhraní. Kompromis často odráží rozdílné nároky a dopady při zavádění nových požadavků a odehrává se na pozadí zachování bezpečnosti, funkčnosti a efektivity celého železničního systému.

Toto nám naznačuje, kam železniční průmysl v České republice musí také zaměřit svoji pozornost, pokud má za cíl naplnit svoje plány rozvoje železniční sítě. Jen základní povědomí, že aerodynamické efekty jsou ve většině případů úměrné druhé mocnině

^{*)} **Ing. Emanuel MERGL**, VÚKV a.s., Bucharova 1314/8, 158 00 Praha 5, Česká republika.
Tel.: +420 736 519 952, e-mail: mergl@vukv.cz. Specializuje se na aerodynamiku v železniční aplikaci ve vazbě na kolejová vozidla i infrastrukturu.

rychlosti vozidla, by měly být dostatečným upozorněním a důvodem pro podrobnou analýzu těchto efektů.

Ačkoliv bylo v zahraničí mnoho témat detailně zkoumáno, výsledky publikovány a často začleněny do souboru norem EN 14067, nelze se jednoduše domnívat, že problematika je vyřešena i pro prostředí České republiky. Aerodynamické efekty vznikají v konkrétních podmínkách, ve kterých se objevují i existující řešení, často vyplývající z odlišného historického vývoje. Je také žádoucí porozumět fyzikální podstatě těchto efektů a umět jejich velikost vyhodnotit v nových okrajových podmínkách, které bude požadovat naše řešení železnice.

Ačkoliv pravidelný provoz vyššími rychlostmi nás teprve čeká, je nutné realizovat již dnes důležité rozbory a kvantifikaci efektů, které se vyskytují v současných provozních podmínkách při rychlostech do 160 km/h. Zejména vyhodnotit:

- velikosti aerodynamických zatížení vozidel při průjezdu a jejich míjení v tunelech;
- úroveň tlakového komfortu ve vozidlech;
- jízdní odpory vozidla na širé trati i v tunelech;
- stabilitu vozidla při účincích bočního větru a výskyt kritických rychlostí větru na infrastruktuře.

Důvodem pro tato hodnocení současného stavu je několik, ale pro rozvoj, výstavbu či modernizaci železnice v České republice je zde jeden velmi podstatný. Každá nová trať nebo nové provozní podmínky přináší otázku, zda stávající vozidla jsou schopna bezpečně vyhovět i novým podmínkám. Bez znalosti velikosti efektů v dnešním provozu bude obtížné nové podmínky srovnávat a hodnotit.

Pro problematiku aerodynamiky bohužel neplatí, že řešení lze snadno nalézt jen na straně jednoho subsystému. Tento úvodní komentář tak směřuje na všechny subjekty – výrobce vozidel, projektanty infrastruktury, správce infrastruktury nebo dopravce, aby společně hledali řešení pro nově vznikající řešení na železnici. VÚKV a.s. je připravena tuto aktivitu po odborné stránce podpořit. Výpočty, simulace nebo zkoušky týkající se aerodynamiky v železniční aplikaci jsou dnes ve VÚKV a.s. běžnou praxí a umožňují efektivně řešit základní témata již v průběhu vytváření konceptu.

2 SOUČASNÉ POŽADAVKY AERODYNAMIKY

Požadavky na hodnocení účinků aerodynamických efektů jsou v současnosti obsaženy v několika dokumentech. Jedním z nich jsou legislativní požadavky obsažené v technických specifikacích pro interoperabilitu (TSI), v současné době zejména v aktuálním vydání směrnice o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému kolejová vozidla – lokomotivy a kolejová vozidla pro přepravu osob (TSI LOC PAS).

Požadavky a doporučení pro problematiku aerodynamiky v železniční aplikaci včetně metod pro hodnocení efektů dnes nejpodrobněji popisuje soubor evropských norem EN 14067:

- Část 4: Požadavky a zkušební postupy pro aerodynamiku na širé trati, návrh 2022;
- Část 5: Požadavky a zkušební postupy pro aerodynamiku v tunelech, revize 2023;
- Část 6: Požadavky a zkušební postupy pro hodnocení účinků bočního větru, revize 2022.

Tyto normy jsou důležitým základem, který předkládá ucelený přehled témat a který zároveň pro některé body obsahuje požadavky, které definují podmínky rozhraní (interoperability) v evropském prostředí. Témata přehledně shrnuje **Tab. 1**, která doplňuje i souvislosti těchto požadavků k infrastruktuře nebo provozním otázkám.

TAB. 1 P rehled t emat a požadavků aerodynamiky na vozidla dle norem EN 14067 a jejich souvislosti k infrastruktuře nebo provozu**TABLE 1** Overview of aerodynamic topics and requirements relating to the vehicles according to EN 14067 standards and their context to infrastructure and operation

T�ema	Rychlost	Rozhraní / ekvivalent u infrastruktury	Rozhraní / ekvivalentu provozu
�ir� trat'			
Tlakov� vlna na čele vlaku	> 160 km/h	Tlakov� zat�izen� konstrukcí pod�el trati	-
Rychlosti proud�en� v úplavu	> 160 km/h	Zat�izen� na komponenty pod�el trati, bezpečnost osob na nástupišti	-
Zat�izen� konstrukce vlivem provozu (míjení vozidel, působení větru)	> 140 km/h	-	-
�cinky na svr�ek	-	Zat�izen� komponent v prostoru svršku	-
Odl�t�van� štěrku	> 250 km/h	Odl�t�van� �t�rku	-
J�zdn� odpor	-	-	Spotřeba energie
Bo�n� vítr	> 140 km/h	Hodnocen� působení větru na infrastrukturu	Hodnocen� rizik při bo�n�m větru
Tunely			
Maxim�ln� kolísání tlaku v tunelu	� 200 km/h	Zdravotn� kritérium	-
Tlakov� gradient na vjezdu do tunelu	� 200 km/h	Mikrotlakov� vlny	-
Zat�izen� konstrukce při p�r�jezdu tunelem (sólo jízda, míjení vozidel)	> 140 km/h	Zat�izen� konstrukcí v tunelu vlivem tlakových změn	-
Tlakov� komfort (tlakotěsnost)	-	Tlakov� komfort (netlakot�sn� vozidla)	-
J�zdn� odpor	-	-	Spotřeba energie, trakc�n� výkon
Kontaktní síla sběrač – trakc�n� veden�	-	�cinky sběrače na trakc�n� veden�	-

Nedílnou součastí stanoven  a hodnocení aerodynamických efektů na železnici je p esn  definice okrajových podmínek, kter  se souhrnn  označují jako referenční sc n r a kter  pro různé aplikace definují referenční vozidla, infrastrukturu, atmosferick  podmínky nebo provozní situace. Referenční sc n r je souborem parametrů, kter  ovlivn j  absolutn  velikost sledovaného efektu, a zároveň praktickou pomůckou při hodnocení efektů pro  irok  spektrum řešení jednotlivých subsystémů.

3 VLIV KONCEPTU ŽELEZNICE NA ŘEŠENÍ VOZIDLA

Koncepční návrh železnice utváří požadavky a následně i provedení vozidel, jehož návrh tak začíná již při tvorbě tohoto konceptu. Ten by se měl v České republice pokoušet o zachování jednotnosti požadavků v Evropě nebo alespoň regionu střední Evropy z důvodu minimalizace vzniku specifických národních požadavků. Je zřejmé, že s ohledem na některá naše řešení nelze ideálního stavu pravděpodobně dosáhnout, ale každá redukce požadavků je pro železnici, její efektivitu a ekonomičnost nezanedbatelným přínosem.

Pro maximální rychlost vozidla nebo traťovou rychlost větší než 140 km/h je v současnosti nezbytné provádět analýzu aerodynamických efektů a podrobně identifikovat rizika u relevantních témat. Už ve fázi tvorby konceptu je nutné zhodnotit dopady do řešení vozidla a vznik případných omezení. Cílem je dosažení kompatibility tratí a vozidel bez provozních omezení, tj. exitující vozidla mohou bez omezení přistupovat na nové tratě a naopak. Případy, kdy zavedení provozních omezení nebo dodatečné prověření vozidel jsou nezbytné, lze nicméně očekávat a budou nedílnou součástí při rozhodování o volbě řešení.

Proces koncepčního návrhu by mělo podpořit vytvoření metodických postupů nebo předpisů pro návrh železnice v podmínkách České republiky. Za vhodné lze považovat i vytvoření koncepční technické specifikace vozidel, které jednak definují okrajové podmínky pro návrh infrastruktury a zároveň vytvoří technické zadání na nová vozidla pro potřeby dalších subjektů včetně samotných výrobců.

4 POSTUP STANOVENÍ POŽADAVKŮ NA VOZIDLO

Návrh vozidla musí zohlednit současnou infrastrukturu a referenční scénáře, které definují rozhraní analogicky aplikované při návrhu nové infrastruktury. Musí být zohledněny i další okrajové podmínky, například míjení s jinými vozidly reprezentované obvykle stanovenou referenční množinou vozidel.

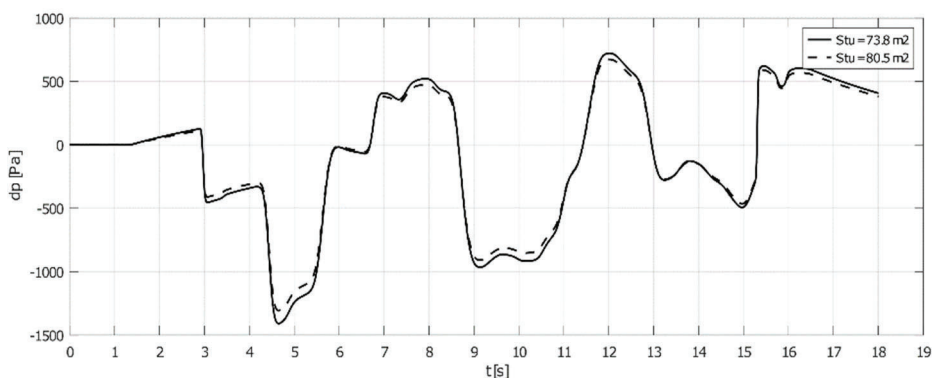
Dimenzování vozidel na aerodynamická zatížení v tunelech patří mezi nejčastější otázky a lze na jeho příkladu ukázat některé souvislosti v procesu stanovení požadavků. Související zatížení jsou důsledkem tlakových změn, která vznikají při interakci vozidla, infrastruktury a provozních podmínek (např. míjení vozidel), jejichž konkrétní parametry se proto projeví na velikosti zatížení.

Při návrhu vozidla musí být na začátku definováno a při projektu zohledněno následující:

- a) Infrastruktura a její maximální traťová rychlost, na které má být vozidlo provozováno – Konkrétně toto představuje určení států, regionů nebo vybraných tratí, ke kterým jsou shromážděny jejich základní parametry. Dnes toto efektivně umožňuje například evropský registr infrastruktury RINF. Pro některé státy (např. Německo) jsou navíc dnes připraveny referenční tratě, které představují nejhorší scénář pro zatížení, a eliminují pracné vyhodnocení jednotlivě pro všechny tunely vyskytující se na dané infrastruktuře.
- b) Provozní podmínky – Ty jsou reprezentované především typy míjených vozidel a jejich provozní rychlostí. K tomuto účelu se dnes obvykle používá tzv. TSI referenční vozidlo, které generuje mezní velikosti tlakových změn. V některých případech se však mohou na infrastruktuře vyskytovat i další vozidla (nesplňující požadavky TSI), která musí zohledněna v podobě jiné referenční množiny.

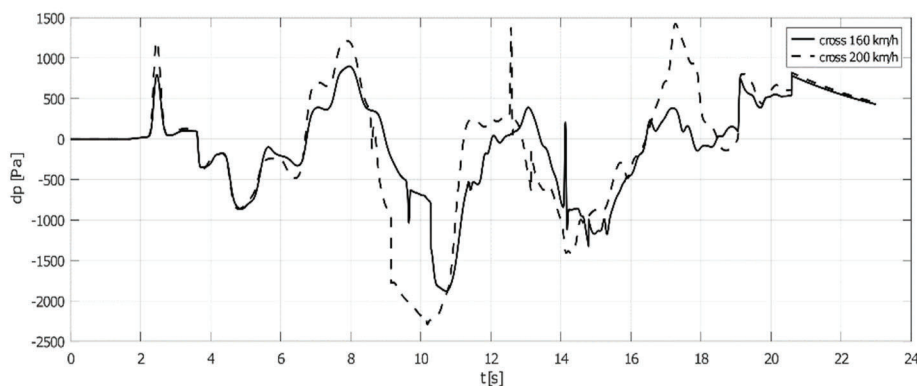
V souboru těchto vstupních podkladů by měly být zahrnuty i projektované tratě nebo plánovaný provoz, a to zejména v případech, kdy neexistuje na jejich straně zhodnocení ve vztahu k existujícím řešením. Důležitou roli v tomto procesu hraje aktivita autora konceptu železnice, což stručně vysvětluje kapitola 3 tohoto textu. Oddělený návrh tunelů nebo volba provozních podmínek může totiž nakonec pečlivé dimenzování vozidla znehodnotit a znemožnit jeho bezpečný provoz. Příklady, kdy tyto nové podmínky navyšují

aerodynamick a zat izen ia jsou zobrazeny na **obr. 1** a **obr. 2**. Ty současne ukazují, že vliv provozn ich podm inek m uže b yt v mnoha p rípadech v znamn y a vyžaduje často největší pozornost.



Obr. 1 Srovn n i aerodynamick ych zat izen i p sob c i uprostred d elky vozidla (s celkovou d elkou 150 m, dynamickou tlakot esnost  4 s, jedoucí 200 km/h) p r i jeho sólo p r jezdu tunely s rozdílnou plochou p r ezu 73,8 a 80,5 m²

Fig. 1 Comparison of aerodynamic loads acting in the middle of length of the vehicle (with total length of 150 m, dynamic pressure tightness of 4 s, running at 200 km/h) during its solo run through tunnels with different cross-section area of 73.8 and 80.5 m²

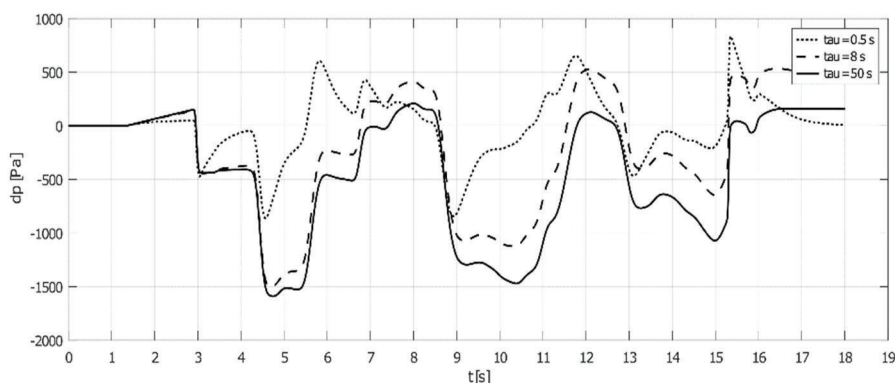


Obr. 2 Srovn n i aerodynamick ych zat izen i p sob c i uprostred d elky vozidla (s celkovou d elkou 150 m, dynamickou tlakot esnost  4 s, jedouc  160 km/h) p r i m jen i s vozidlem odpov daj c mu mezn m požadavk m TSI s rozd lnou rychlostí 160 a 200 km/h v tunelu s plochou p r ezu 73,8 m²

Fig. 2 Comparison of aerodynamic loads acting in the middle of length of the vehicle (with total length of 150 m, dynamic pressure tightness of 4 s, running at 160 km/h) during its crossing with a vehicle corresponding to limits of TSI requirements with different speed of 160 a 200 km/h in the tunnel with cross-section area of 73.8 m²

Postup ur en i zat izen i doprov z i i zohledn n i dalších vlastn st  vozidla. Zat izen i je nap r ıklad v znamn e ovlivn no jeho tlakot esnost , kter  se zav d  z d vodu zlepšení tlakového komfortu ve vozidle. Změnu zat izen i v závislosti na rozd ln  tlakot esnosti zobrazuje **obr. 3**. Návrh vozidla v tomto p r pade představuje hledání kompromisu pro vhodnou u roveň

tlakotěsnoti, jelikož její vysoká úroveň je sice spojena se zvyšováním tlakového komfortu, ale zároveň navyšuje působící zatížení a zvyšuje nároky na údržbu vozidla. Naopak nižší úroveň tlakotěsnoti působí na tyto vlastnosti nebo nároky opačně.



Obr. 3 Srovnání zatížení působící na vozidlo v závislosti na jeho rozdílné dynamické tlakotěsnoti o velikosti 0,5; 8 a 50 s při sólo průjezdu tunelem

Fig. 3 Comparison of aerodynamic loads acting on the vehicle in dependancy on its different dynamic pressure tightness of 0.5; 8 and 50 s during solo run through the tunnel

Konečná podoba požadavků, vyjádřená příslušnou hodnotou zatížení, je tedy výsledkem mnoha vnějších faktorů. Ty nepřímo ovlivňují samotné konstrukčního řešení a vytvářejí případná omezení pro optimalizaci řešení z pohledu dalších vlastností vozidla. Nevhodně zvoleným zadáním mohou být ovlivněny aspekty jako spolehlivost (při nárůstu složitosti řešení) nebo ekonomičnost (při navýšení výrobních, provozních a údržbových nákladů).

Konstrukční řešení vozidla je tímto úzce spojeno s parametry infrastruktury a provozu, které jsou definovány během jeho návrhu a předurčují tak aplikaci vozidla na dobu jeho životnosti. Neprovádění této analýzy nebo špatně zvolené zadání dnes představuje významné riziko vzniku omezení v přístupu vozidla na nové tratě nebo do nových provozních podmínek.

5 SHRNUTÍ A ZÁVĚR

Příspěvek stručně shrnuje aktuální témata z oblasti aerodynamiky v železniční aplikaci. Kromě jejich vyjmenování se snaží upozornit, že význam požadavků je nutné hodnotit v kontextu celkového řešení železnice a že požadavky na vozidla jsou ovlivněny řešením infrastruktury nebo provozu. Projekt vozidla musí tyto parametry a podmínky, při nichž má být po dobu své životnosti provozováno, zohlednit.

Závěrem lze shrnout nezbytný postup pro současné a budoucí projekty. Rozvoj železnice, spojený se vznikem nových řešení, vyžaduje systematickou analýzu aerodynamických efektů. Pro rozhodnutí o její realizaci existuje základní kritérium a provádí se dnes pro všechna vozidla s maximální rychlostí větší než 140 km/h nebo provozována na tratích s traťovou rychlostí větší než 140 km/h.

Je proto důležité zahájit změny v přístupu při projektování vozidel, aby sledoval i současný rozvoj železnice v České republice. To je samozřejmě možné jen v úzké spolupráci s projektanty infrastruktury, správcem infrastruktury a dopravci. Jedna z rolí projektantů vozidel je podpora této spolupráce aktivním přístupem, předkládáním kompromisních návrhů a vysvětlováním souvislostí ovlivňující konečné řešení vozidla.

Literatura

[1] Nařizen  Komise (EU)  . 1302/2014 ze dne 18. listopadu 2014 o technick e specifikaci pro interoperabilitu subsyst emu kolejov a vozidla – lokomotivy a kolejov a vozidla pro p
eppravu osob železničního syst emu v Evropsk e unii (TSI LOC PAS). [2] Evropsk a norma prEN 14067-4: Railway applications - Aerodynamics - Part 4: Requirements and test procedures for aerodynamics on open track, 2022. [3] Evropsk a norma EN 14067-5: Railway applications - Aerodynamics - Part 5: Requirements and test procedures for aerodynamics in tunnels, 2023. [4] Evropsk a norma EN 14067-6: Railway applications - Aerodynamics -Part 6: Requirements and test procedures for cross wind assessment, 2022. [5] Pracovní dokumenty V UKV a.s.: Koment aře k t emat m aerodynamiky v souvislosti se zad vn m po adavk  pro návrh vozidel a infrastruktury ve spolup
aci s Ing. Jiřim Pohlem (Siemens Mobility, s.r.o.), 2023.



Resumé

*P
isp vek p
edkl d a stru n y koment ař k sou asn m požadavkům na železniční vozidla v oblasti aerodynamiky a jejich rozřiovn  v důsledku rozvoje železniční sítě v  esk e republice. Jsou uvedeny p
iklady, kter  ukazují vliv nových infrastrukturn ch staveb (tunely) nebo provozních podmínek (m jenn  s vozidly jedoucí v řř  rychlostí). Text uvádí tyto požadavky do souvislosti s návrhem vozidla a analyzuje jejich potenciln  dopady do jeho budoucího provozu. Koment ař se snař  upozornit na nezbytnou změnu v p
 stupu p
i projektování vozidla, kdy musí být zohledněny nejen jeho vlastn  parametry ale i o ekvan  provozní podmínky a infrastruktura, na kter  m být provozováno po dobu své životnosti.*

Summary

The article presents a brief comment regarding recent requirements on railway vehicles in the aerodynamics and their growth as a result of railway network development in the Czech Republic. There are provided examples that shows influence of new infrastructure (tunnels) or operational conditions (crossing with vehicles running at higher speeds). The text puts these requirements into the context of vehicle design and analyses their potential influence on its future operation. The comment draws attention to the important change in an approach during the vehicle projects when there shall be considered not only vehicle parameters but also expected operational conditions and infrastructure on that it will be operated during its life time.

