

Paré:







Orientační schéma:

Razítko oprávněné osoby:

Podpis: Datum:

Revize:	Datum:	Popis:	Kontroloval:
001	26.3.2025	Referenční dokumentace	Ing. Petr Makásek Ph.D.

Stavebník / investor:	Správa železnic, státní organizace	
Adresa:	Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1	
Zástupce investora:	Stavební správa západ	
Adresa:	Ke Štvanici 656/3, 186 00 Praha 8	

Zhotovitel díla:	Společnost „SP + SEU + Mott_Nemaše_DÚR, DSP“, správce SUDOP PRAHA a.s.		
Adresa:	Olšanská 1a, 130 00 Praha 3		
Kontakt:	T: +420 267 094 111 E: praha@sudop.cz		
Zhotovitel části / objektu:	Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.		
Adresa:	Národní 984/15, 110 00 Praha 1		
Kontakt:	T: +420 221 412 800 E: czech@mottmac.com		
Hlavní projektant (HIP):	Ing. Miloš Krameš	Specialista:	Ing. Petr Makásek Ph.D.

Název stavby / akce:	MODERNIZACE TRATI NEMANICE I - ŠEVĚTÍN REFERENČNÍ DOKUMENTACE		Označení (S-kód):	S631500294
			Zakázka:	20-185.201
Název části:	Tunely		Označení části:	D.2.1.7
Název objektu:	Chotýčanský / Hosínský tunel		Číslo objektu / komplexu:	-
Název přílohy:	Aerodynamické posouzení		Číslo přílohy:	1 . 004
Název dílčí části přílohy:			Stupeň dokumentace:	Referenční dokumentace (RD)
Odpovědný projektant:	Zpracovatel přílohy:	Měřítko:	Smluvní datum zpracování:	
Ing. Petr Makásek Ph.D.	kolektiv	Formáty: xA4		
Kraj:	Katastrální území:	TUDU:	03/2025	
Jihočeský	viz textová část	viz textová část		
S-kód:	Stupeň dokumentace:	Část:	Objekt:	Podobjekt:
S631500294	RDXX	D2107	S O X X X X X X X X	X X

Technická zpráva

číslo zakázky: TG_10_2024

Projekt: Nemaše D&B

Klient: Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.
Národní 984/15
110 00 Praha 1
Česká republika

Zpracovatel: Tunguard s.r.o.
Osloboditeľov 103/99
Trstené pri Hornáde 044 11
Slovenská republika

Hosínský and Chotýčanský Tunnel

Aerodynamické posouzení

VYPRACOVAL	KONTORLOVAL	SCHVÁLIL
B. Hagenah	R. Ockajak	
Date: 21.03.2025	Date: 21.03.2025	Date:

Obsah

	Strana
ZKRATKY A DEFINICE	4
1 VÝCHOZÍ SITUACE A CÍLE	5
2 ÚVOD	6
2.1 Tunely	6
2.2 Aerodynamický jev	6
2.3 Cílová kritéria	8
3 VÝSLEDKY	9
3.1 Charakteristický průběh tlaku	9
3.2 Síly na netěsněné vlakové soupravy	9
3.3 Hosínský tunel	10
3.4 Chotýčanský Tunel	18
4 TUNELOVÝ FAKTOR	26
5 ZÁVĚR	27
6 REFERENCE	28

Obrázek 1: Vzorový příčný řez (vlevo varianta TBM, vpravo varianta NRTM)	6
Obrázek 2: Průběh statického tlaku v tunelu	7
Obrázek 3: Umístění posuzovaných bodů ve vlakové soupravě	8
Obrázek 4: Průběh tlaků v tunelu (délky vlaků 200, 400 m, návrhová rychlost 200 km/h)	9
Obrázek 5: Přejížděcí tlak uvnitř vlaku	10
Obrázek 6: Přejížděcí tlak uvnitř vlaku	11
Obrázek 7: Maximální změny tlaků ve 4 s ve sledovaných místech (délka vlaku 200 m)	12
Obrázek 8: Maximální změny tlaků ve sledovaných místech (délka vlaku 200 m, těsněný vlak)	13
Obrázek 9: Maximální změny tlaků ve 4 s ve sledovaných místech (délka vlaku 400 m)	14
Obrázek 10: Maximální změny tlaků ve sledovaných místech (těsněný vlak, $\tau = 8$ s)	15
Obrázek 11: Tlakové rozdíly na povrchu karoserie pro uzavřený vlak pro těsněný vlak ($\tau = 8$ s)	16
Obrázek 12: Tlakové rozdíly na povrchu karoserie pro uzavřený vlak pro těsněný vlak ($\tau = 8$ s)	17
Obrázek 13: Přejížděcí tlak uvnitř vlaku	18
Obrázek 14: Přejížděcí tlak uvnitř vlaku	19
Obrázek 15: Maximální změny tlaků ve 4 s ve sledovaných místech (délka vlaku 200 m)	20
Obrázek 16: Maximální změny tlaků ve sledovaných místech (délka vlaku 200 m, těsněný vlak)	21
Obrázek 17: Maximální změny tlaků ve 4 s ve sledovaných místech (délka vlaku 400 m)	22
Obrázek 18: Maximální změny tlaků ve sledovaných místech (těsněný vlak, $\tau = 8$ s)	23
Obrázek 19: Tlakové rozdíly na povrchu karoserie pro uzavřený vlak pro těsněný vlak ($\tau = 8$ s)	24
Obrázek 20: Tlakové rozdíly na povrchu karoserie pro uzavřený vlak pro těsněný vlak ($\tau = 8$ s)	25

Zkratky a definice

Velká písmena

A_{vl}	Plocha vlaku (m^2)
A_{tun}	Plocha tunelu (m^2)
C_{vl}	Obvod vlaku (m)
C_{tun}	Obvod tunelu (m)
L_{vl}	Délka vlaku (m)
L_{tun}	Délka tunelu (m)
SEM	Sequential Excavation Method
TBM	Tunnel Boring Machine

Malá písmena

p_{dyn}	Dynamický tlak (Pa)
p_{stat}	Statický tlak (Pa)
p_{tot}	Statický tlak (Pa)
t	čas (s)

Řecká písmena

Δ	Malá změna; tj., Δp_{stat} pro změnu tlaku nebo Δt pro časový interval
λ_{tu}	Koeficient tření stěny tunelu (-)
λ_{tr}	Koeficient tření vlaku (-)
τ	Koeficient těsnosti vlaku (s)

1 Výchozí situace a cíle

Výchozí situace

Výstavba dvou nových tunelů Chotýčany a Hosínský je plánována jako klíčová součást modernizace železniční trati Nemanice I - Ševětín v České republice.

Společnost Tanguard s.r.o. byla požádána o zajištění aerodynamických simulací pro posouzení tlakového komfortu pro cestující a personál a ověření shody s kritériem zdravotní nezávadnosti dle TSI.

Cíle předkládané technické zprávy

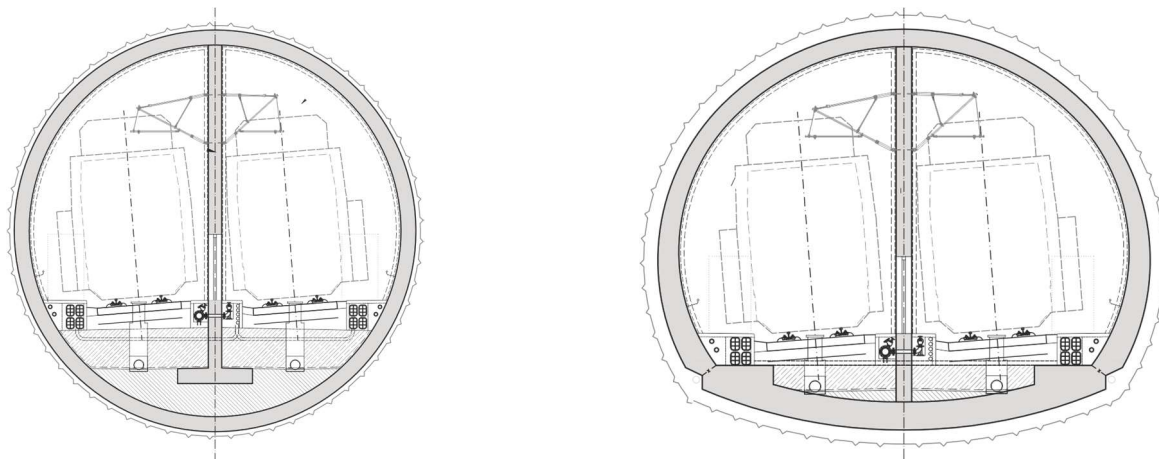
Cílem této zprávy je posoudit tlakový komfort cestujících v tunelech Hosínský a Chotýčanský na nové trati Praha-České Budějovice pro návrhovou rychlost 200 km/h.

2 Úvod

2.1 Tunely

Oba tunely jsou plánovány jako jeden ražený tunel s dělicí stěnou umožňující jednosměrný provoz. Tunely Hosín a Chotýčany měří 3120 m a 4824 m.

Jsou uvažovány dvě alternativy způsobu ražby tunelů: Tunelový stroj (TBM) a nová rakouská tunelovací metoda (NRTM), jak je znázorněno na obrázku. Ačkoli tabulka 1 ukazuje téměř shodné aerodynamické klíčové parametry obou profilů, pro toto hodnocení byl vybrán profil TBM, který vykazuje nepatrně menší příčný průřez.



Obrázek 1: Vzorový příčný řez (vlevo varianta TBM, vpravo varianta NRTM)

Tabulka 1: Charakteristické parametry tohoto posudku

Profil	TBM	NRTM
Parametr		
Světlý příčný profil [m ²]	42.01	42.12
Obvod [m]	24.6	24.3

Pro výpočet byl uvažován koeficient tření tunelové stěny $\lambda_{tu} = 0.02$ (-). Tato hodnota je uvažována jako přiměřeně konzervativní pro ostění tunelu (viz [1]).

2.2 Aerodynamický jev

Změny tlaku v tunelech vyvolané průjezdem vlaku

Změny tlaku v železničních tunelech závisí zejména na:

- Rychlosti vlaku.
- Poměru zaplnění tunelu, který je definován jako poměr průřezu vlaku k průřezu tunelu.
- Charakteristikách vlaku, včetně celkové délky, tvaru začátku a konce vlaku a drsnosti povrchu.
- Konstrukci portálu tunelu.

Kolísání tlaku v železničních tunelech vzniká v důsledku tlakových vln vyvolaných vlakem při jeho průjezdu tunelem. Tlakové, kompresní nebo expanzní vlny vznikají, když:

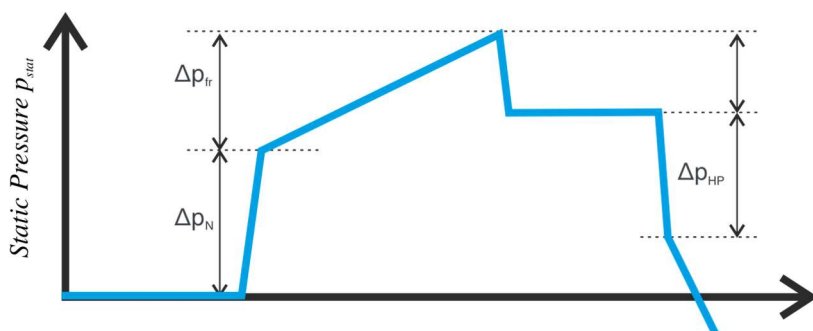
- Vlaky vjíždějí do tunelu nebo z něj vyjíždějí.
- Vlaky projíždějí změnami příčných profilů tunelu
- Vlaky míjí otvory do druhého tunelu (u tunelů s dvěma jednokolejnými troubami).

- Vlaky projíždějí šachtami nebo jinými otvory na povrch.

Tlakové vlny v tunelech se pohybují přibližně rychlostí zvuku. Pokud tlakové vlny narazí na portály, odrazí se jako expanzní vlny a naopak. Kromě toho vlaky způsobují tlakové zatížení zařízení tunelu v důsledku:

- Prudkého poklesu tlaku při průjezdu čela vlaku.
- Zvýšení tlaku podél vlaku.

Obrázek níže zobrazuje typický průběh tlaku vyvolaný průjezdem vlaku tunelem.



Δp_N ostrý nárůst statického tlaku způsobený vjezdem čela vlaku do tunelu

Δp_{fr} pozvolnější nárůst statického tlaku způsobený vjezdem hlavní části vlaku do tunelu

Δp_T ostrý pokles statického tlaku způsobený vjezdem konce vlaku do tunelu

Δp_{HP} ostrý pokles statického tlaku způsobený průjezdem uvažované polohy v tunelu čelem vlaku

Obrázek 2: Průběh statického tlaku v tunelu

Tlakové zatížení na vybavení v tunelu

Maximální odchylka tlaku Δp_{max} od okolního tlaku v libovolném bodě tunelu lze určit součtem čtyř složek (Δp_N , Δp_{fr} , Δp_T , Δp_{HP}) zobrazených na obrázku výše (viz [1]):

Jednokolejné tunely

$$\Delta p_{Max} = \Delta p_N + \Delta p_{fr} + \Delta p_T + \Delta p_{HP}$$

Tunelový faktor

Když vlak projíždí tunelem, zvyšuje se jeho aerodynamický odpor, který je známý jako tunelový faktor. K tomuto jevu dochází v důsledku stísněného prostoru tunelu a interakce mezi vlakem a vzduch v tunelu. Tunelový efekt je v podstatě důsledkem protlačení velkého objektu úzkým průchodem, což vede k výraznému stlačení vzduchu a zvýšení odporu. Poměr ucpání působí jako hlavní určující faktor velikosti tohoto efektu, zatímco vliv rychlosti vlaku a délky tunelu má menší vliv.

Okolní podmínky

Následující okolní podmínky byly uvažovány na obou portálech tunelu: (viz [1]):

- Teplota vzduchu: $T = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Atmosférický tlak: $p_{atm} = 101325 \text{ Pa}$
- Hustota vzduchu: $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$
- Rychlost zvuku: $c = 340 \text{ m/s}$

Železniční vozidla

Aerodynamické charakteristiky vlaku jsou:

- profil vlaku: 12 m² (UIC, Gabarit C)
- délka vlaku: 200 m, 400 m

Aerodynamické vlastnosti kolejových vozidel odpovídají referenčnímu vlaku podle TSI (EN 14067-5, tabulka 14) a lze je považovat za konzervativní.

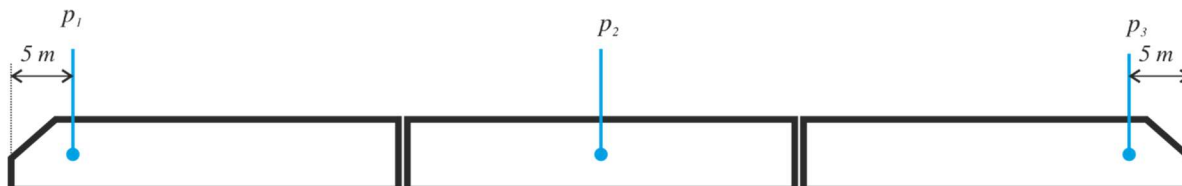
Návrhová rychlost vlaku

Pro jednotlivá posouzení byly použity následující návrhové rychlosti (v_{vi}) pro oba tunely:

Návrhová rychlost [km/h]	Zdravotní kritérium a kritéria komfortu	Tlakové zatížení na vozidla	Tunelový faktor
80			x
160			x
200	x	x	x

Umístění vyšetřovaných bodů ve vlakové soupravě

Pro vyšetření výkyvů aerodynamického tlaku ve vlacích jsou posouzena následující místa: 5 metrů od každého konce vlaku a střed vlaku (viz [1]):



p_1, p_3 statický tlak 5m od konce vlaku

p_2 statický tlak ve středu vlaku

Obrázek 3: Umístění posuzovaných bodů ve vlakové soupravě

2.3 Cílová kritéria

Zdravotní kritérium

Zdravotní kritérium je uvažováno v souladu s TSI [1]:

- Změny tlaku pro cestujícího ve vlaku nesmí během průjezdu tunelem překročit 10 000 Pa.

Kritérium zdravotní nezávadnosti by mělo zohledňovat výškové rozdíly podél tunelu, například různé výšky portálů. V delších tunelech může navíc tlakové podmínky ovlivnit více vlaků nebo zbytkové změny tlaku z předchozích vlaků. Tento projekt však není považován za kritický, pokud jde o kolísání tlaku.

Kritérium tlakového komfortu

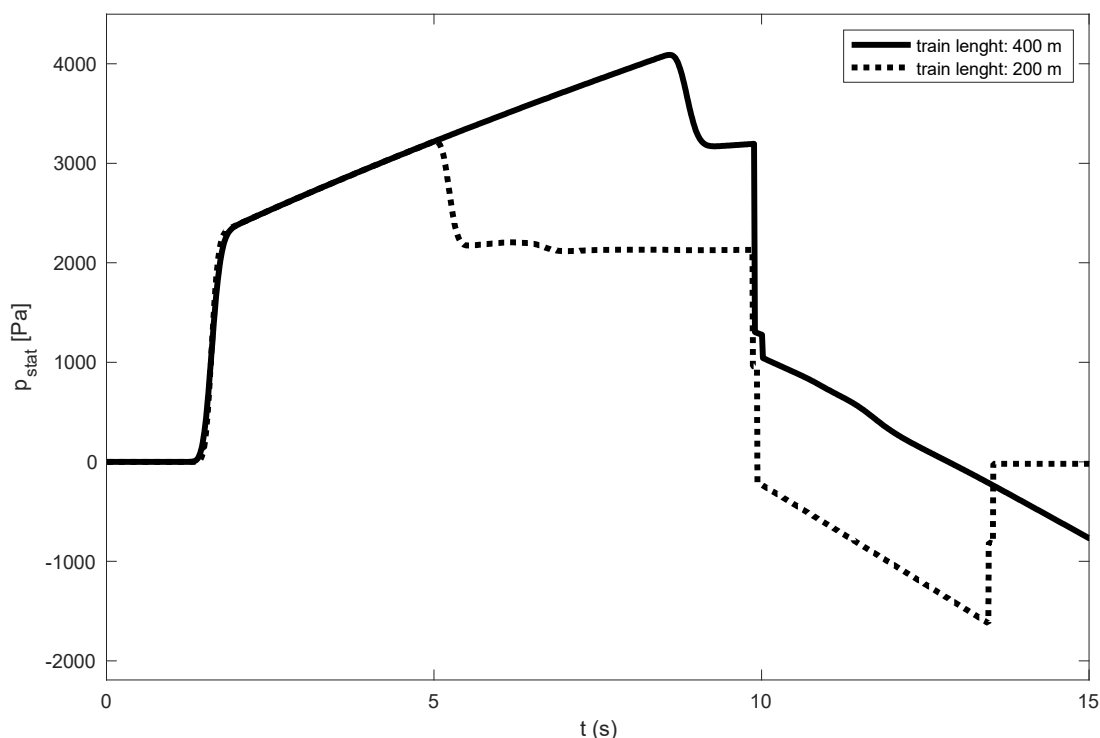
Kritérium tlakového komfortu pro netěsněné vlaky je doporučeno v [1]:

- Změny tlaku pro cestující v netěsněném vlaku by neměly překročit hodnotu:
 - Změna tlaku 4500 Pa za 4 s ve dvukolejných tunelech
 - Změna tlaku 3000 Pa za 4 s ve jednokolejných tunelech

3 Výsledky

3.1 Charakteristický průběh tlaku

Průběh tlaků ve vzdálenosti 550 m od vstupního portálu vznikajících vjezdem vlaku do tunelu pro vlaky délky 200 a 400 m je zobrazen na Obrázek 4.



Obrázek 4: Průběh tlaků v tunelu (délky vlaků 200, 400 m, návrhová rychlost 200 km/h)

Charakteristické hodnoty bodů pro oba vlaky jsou uvedeny v následující tabulce:

Délka vlaku [m]	Δp_N	Δp_{fr}	Δp_T	Δp_{HP}
200	2271	3216	1039	2335
400	2271	4089	913	2152

3.2 Síly na netěsněné vlakové soupravy

Příslušná pracovní skupina pod vedením společnosti Deutsche Bahn vypracovala směrnici pro stanovení tlaků na konstrukci vozů (viz [2]), která se od svého vydání používá jako doplněk normy EN 14067 ([1]) v příslušných odborných komisích.

Ověření odolnosti netěsněných kolejových vozidel proti změnám tlaku působícím na vozovou skříň se skládá ze statického ověření pro mimořádná zatížení a únavového ověření podle normy EN 12663-1.

Mimořádné zatížení

Mimořádná zatížení uvedená v pokynech vycházejí z normy UIC 566 ([3]):

- Pro rychlosti jízdy menší nebo rovné 160 km/h je stanovena hodnota ± 1900 Pa.

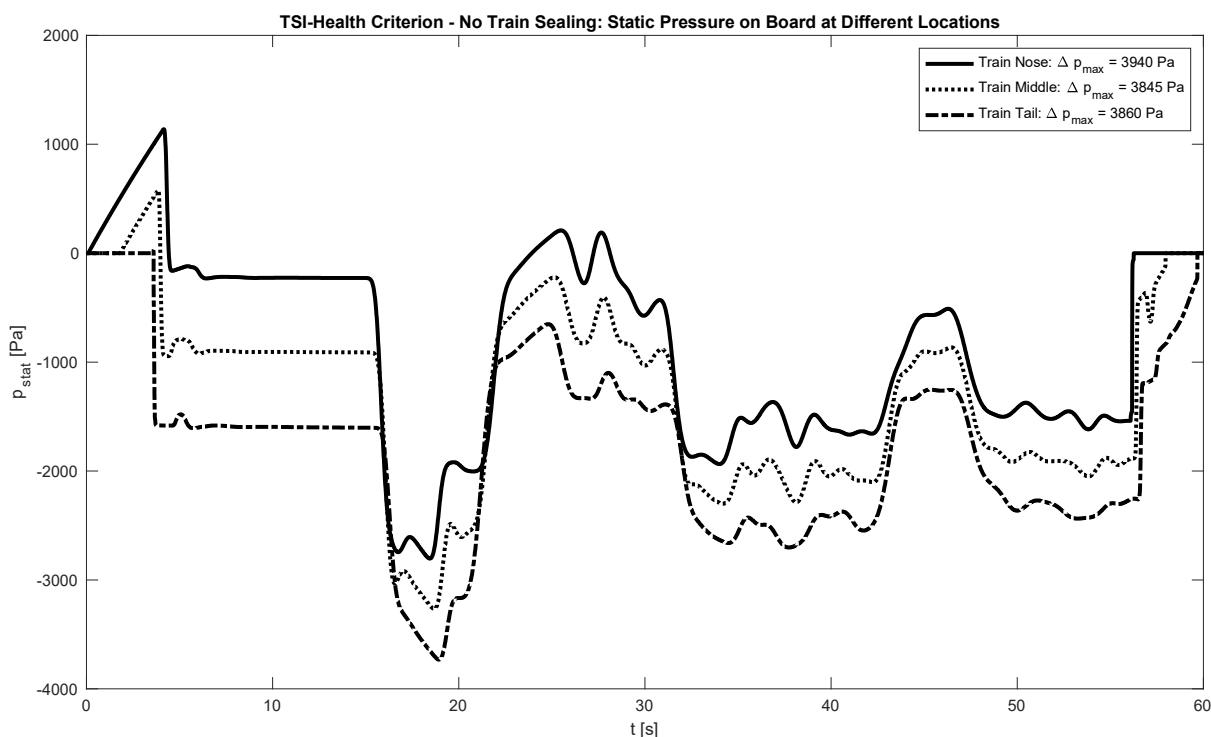
- Pro rychlosti jízdy menší nebo rovné 200 km/h je stanovena hodnota ± 2500 Pa.

Výslovně se uvádí, že simulace reálných projektů ukázaly, že při maximální rychlosti vozidla a čelním větru dochází k nerovnoměrnému rozložení tlaku s tlakovými špičkami v místě stagnace, ale průměrný tlak v čele vlaku je výrazně nižší než hodnoty podle UIC 566. Použití těchto hodnot je proto třeba považovat za dostatečně konzervativní. To se týká i zatížení z jízdy v tunelu se střetáváním vlaků.

3.3 Hosínský tunel

TSI zdravotní kritérium – délka vlaku: 200 m

Přechodný tlak na třech různých místech vlaku (v blízkosti čela vlaku, uprostřed vlaku a v blízkosti jeho ocasu, vně a uvnitř vlaku pro netěsněné vlaky) jsou znázorněny na Obrázek 5 níže.

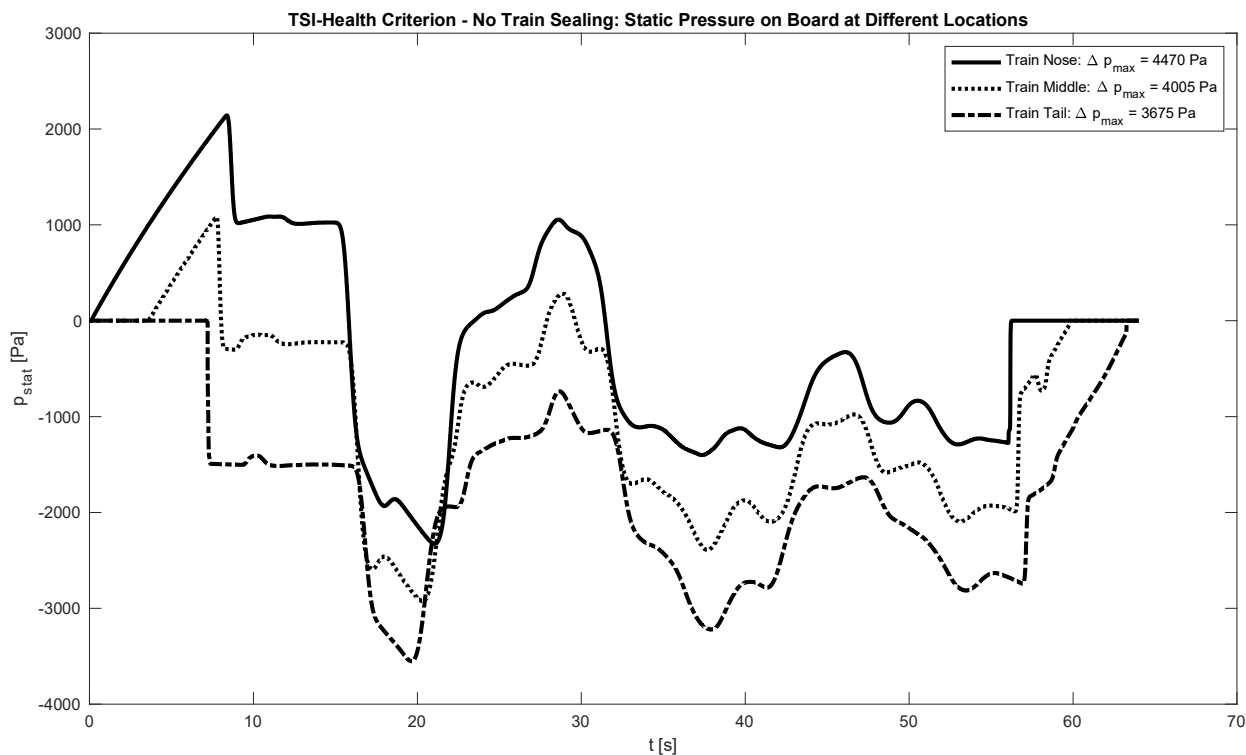


Obrázek 5: Přechodný tlak uvnitř vlaku

Je patrné, že kolísání tlaku uvnitř vlaku nepřesahuje 3940 Pa (na nose vlaku).

TSI zdravotní kritérium – délka vlaku: 400 m

Přechodný tlak na třech různých místech vlaku (v blízkosti čela vlaku, uprostřed vlaku a v blízkosti jeho ocasu, vně a uvnitř vlaku pro netěsněné vlaky) jsou znázorněny na obrázku Obrázek 6 níže.

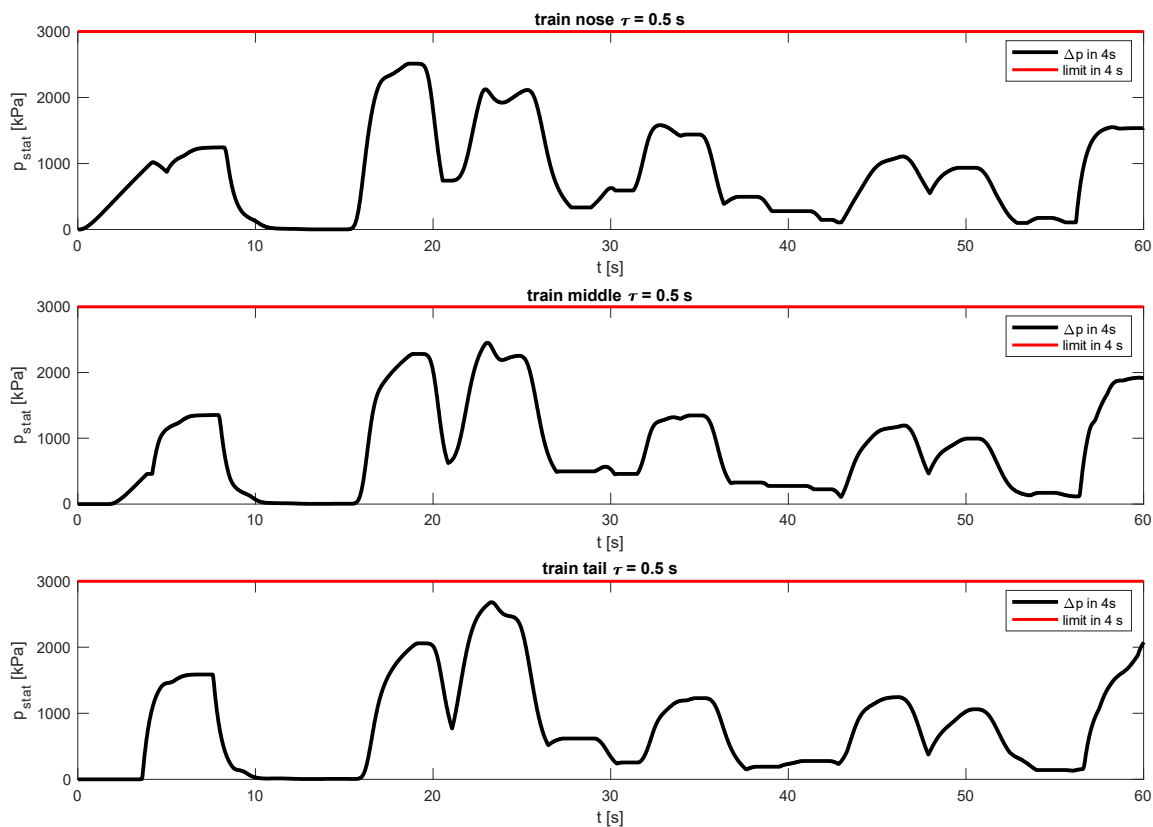


Obrázek 6: Přechodný tlak uvnitř vlaku

Je patrné, že kolísání tlaku uvnitř vlaku nepřesahuje 4470 Pa (na nosu vlaku).

Kritéria komfortu – délka vlaku: 200 m (netěsněné vlaky, $\tau = 0,5$ s)

Přechodný tlak na třech sledovaných místech uvnitř vlak je zobrazen na Obrázek 7 níže.

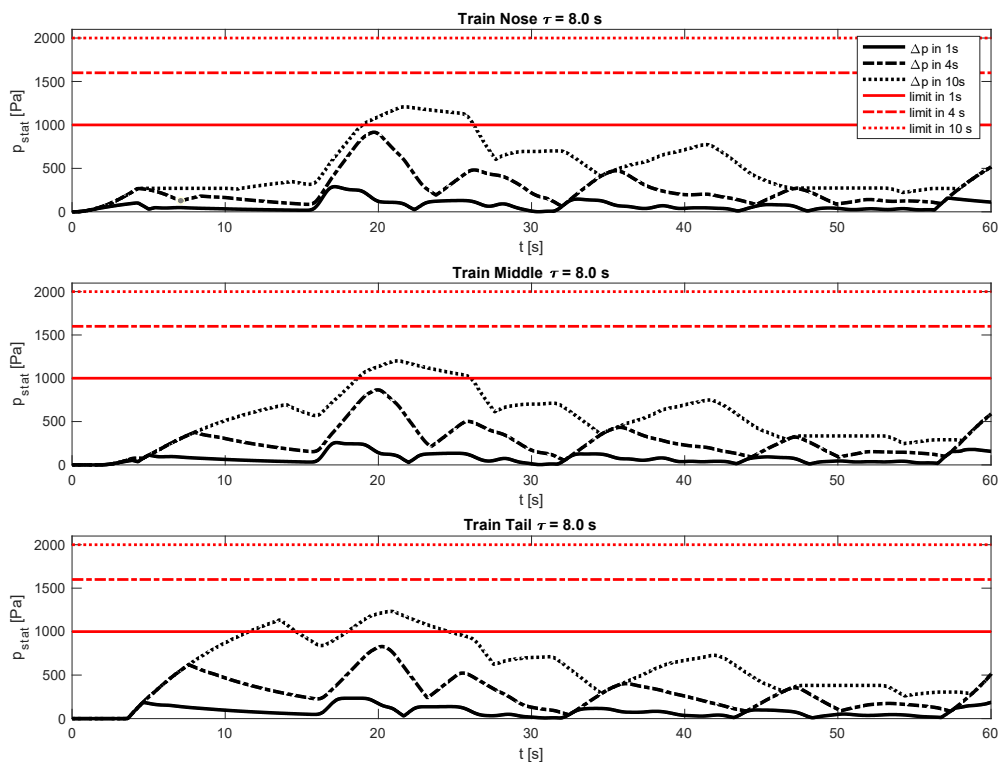


Obrázek 7: Maximální změny tlaků ve 4 s ve sledovaných místech (délka vlaku 200 m)

Je patrné, že stanovená konfigurace (tunelový profil, profil vlaku, návrhová rychlost) splňuje požadovaná kritéria komfortu.

Kritéria komfortu – délka vlaku: 200 m (vlak $\tau = 8$ s)

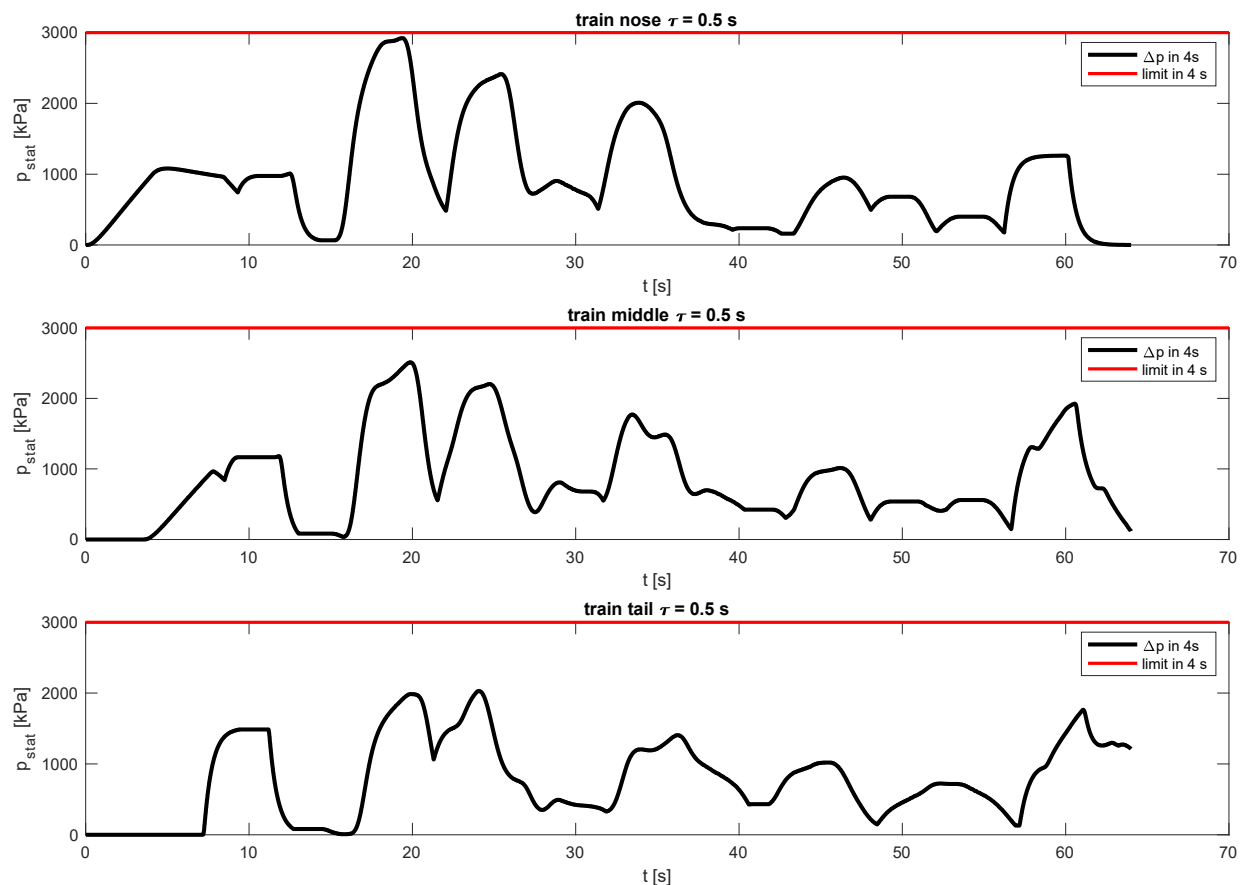
Přechodný tlak na třech sledovaných místech uvnitř vlak je zobrazen na Obrázek 8.



Obrázek 8: Maximální změny tlaků ve sledovaných místech (délka vlaku 200 m, těsněný vlak)

Kritéria komfortu – délka vlaku: 400 m (netěsněné vlaky, $\tau = 0,5$ s)

Přechodný tlak na třech sledovaných místech uvnitř vlak je zobrazen na Obrázek 9.

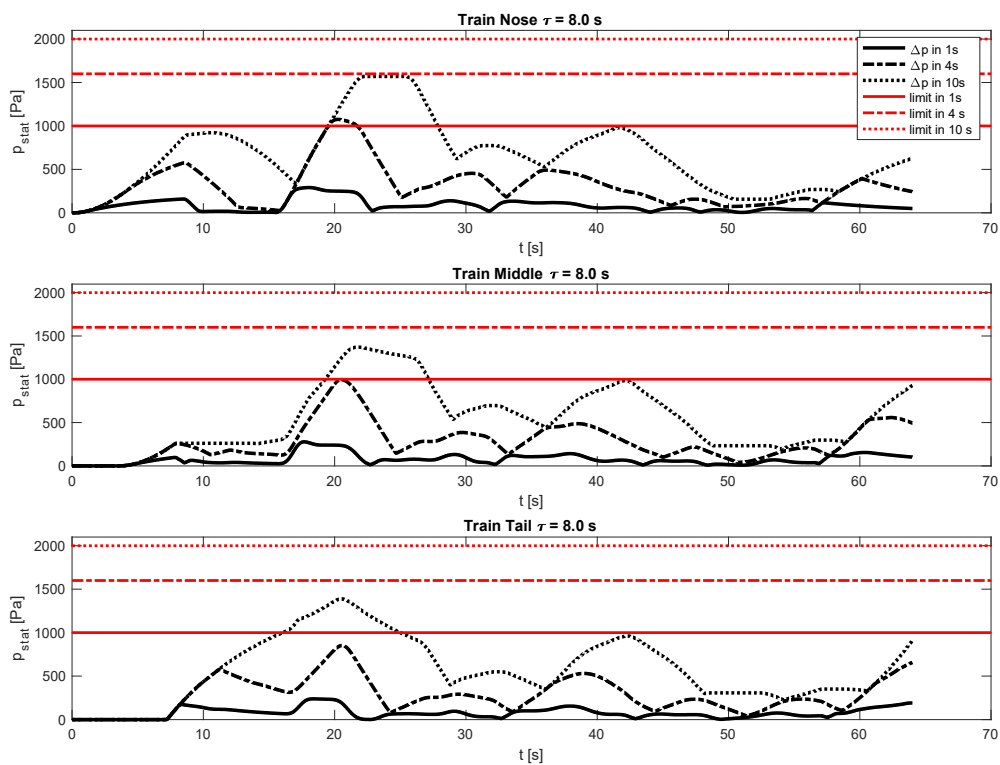


Obrázek 9: Maximální změny tlaků ve 4 s ve sledovaných místech (délka vlaku 400 m)

Je patrné, že stanovená konfigurace (tunelový profil, profil vlaku, návrhová rychlost) splňuje požadovaná kritéria komfortu.

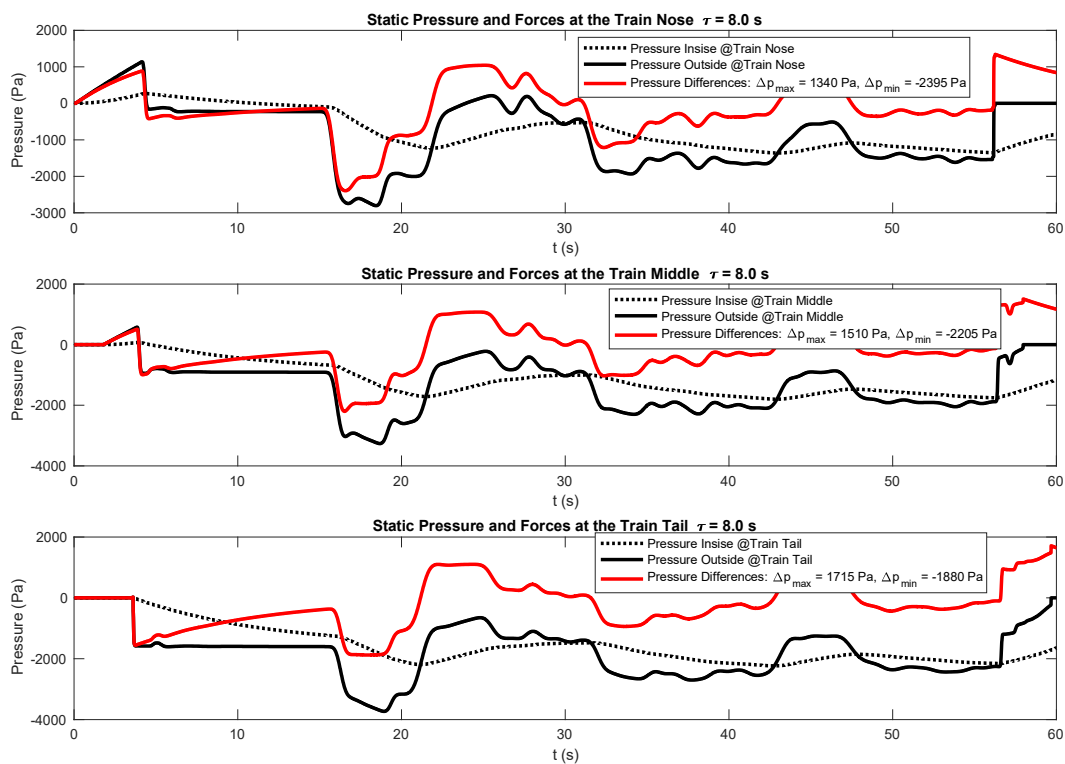
Kritéria komfortu – délka vlaku: 400 m ($\tau = 8.0$ s)

Přechodný tlak na třech sledovaných místech uvnitř vlak je zobrazen na Obrázek 14.



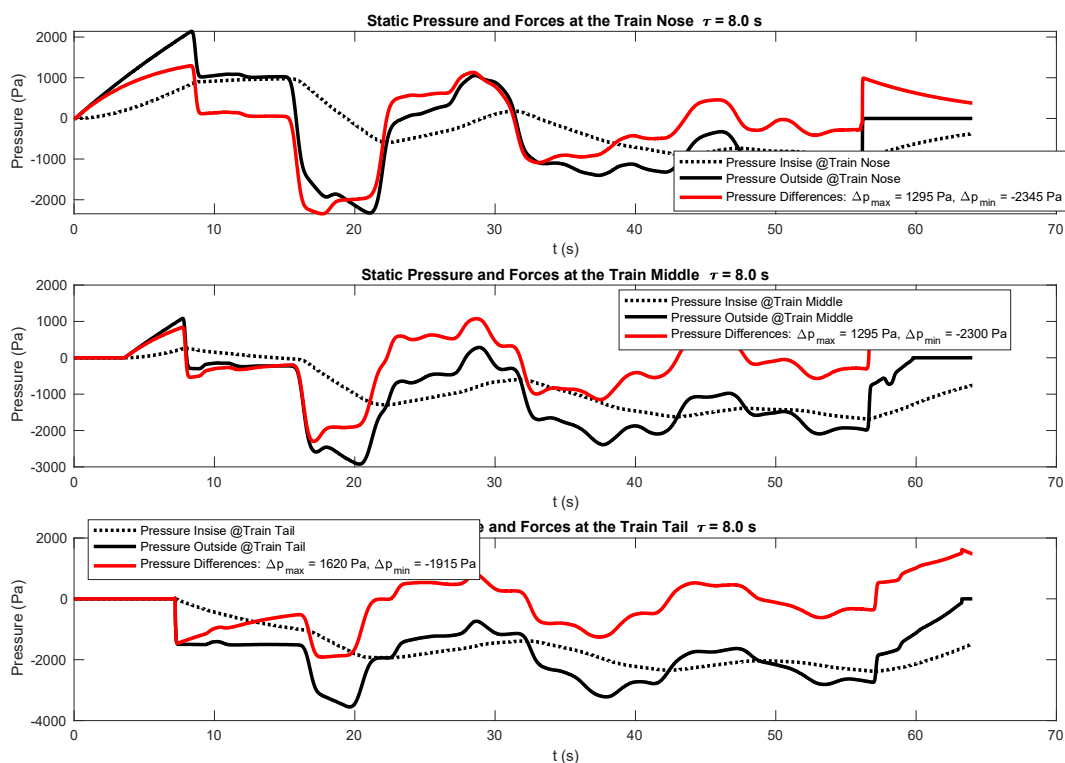
Obrázek 10: Maximální změny tlaků ve sledovaných místech (těsněný vlak, $\tau = 8$ s)

Tlakové rozdíly na povrchu karoserie vlaku délky 200 m (těsněný vlak, $\tau = 8$ s)



Obrázek 11: Tlakové rozdíly na povrchu karoserie pro uzavřený vlak pro těsněný vlak ($\tau = 8$ s)

Tlakové rozdíly na povrchu karoserie vlaku délky 400 m (těsněný vlak, $\tau = 8$ s)

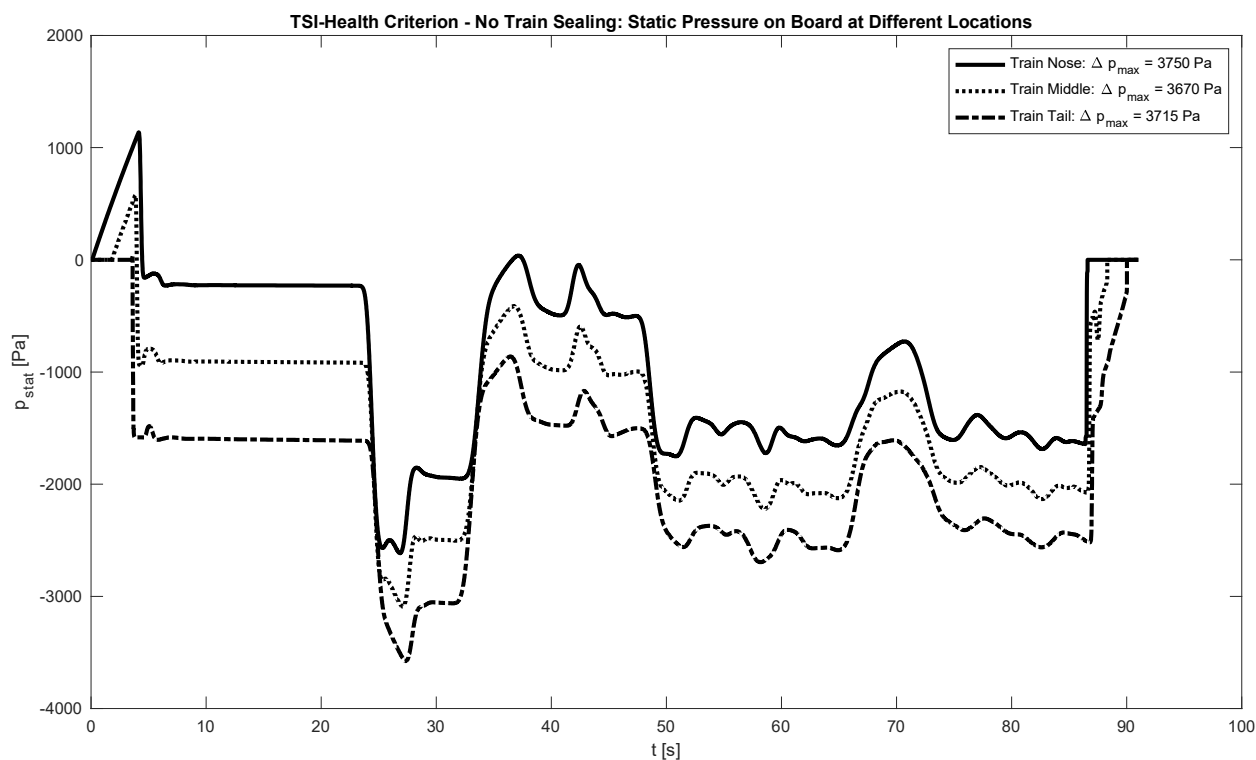


Obrázek 12: Tlakové rozdíly na povrchu karoserie pro uzavřený vlak pro těsněný vlak ($\tau = 8$ s)

3.4 Chotýčanský Tunel

TSI zdravotní kritérium – délka vlaku: 200 m

Přechodný tlak na třech různých místech vlaku (v blízkosti čela vlaku, uprostřed vlaku a v blízkosti jeho ocasu, vně a uvnitř vlaku pro netěsněné vlaky) jsou znázorněny na Obrázek 13 níže.

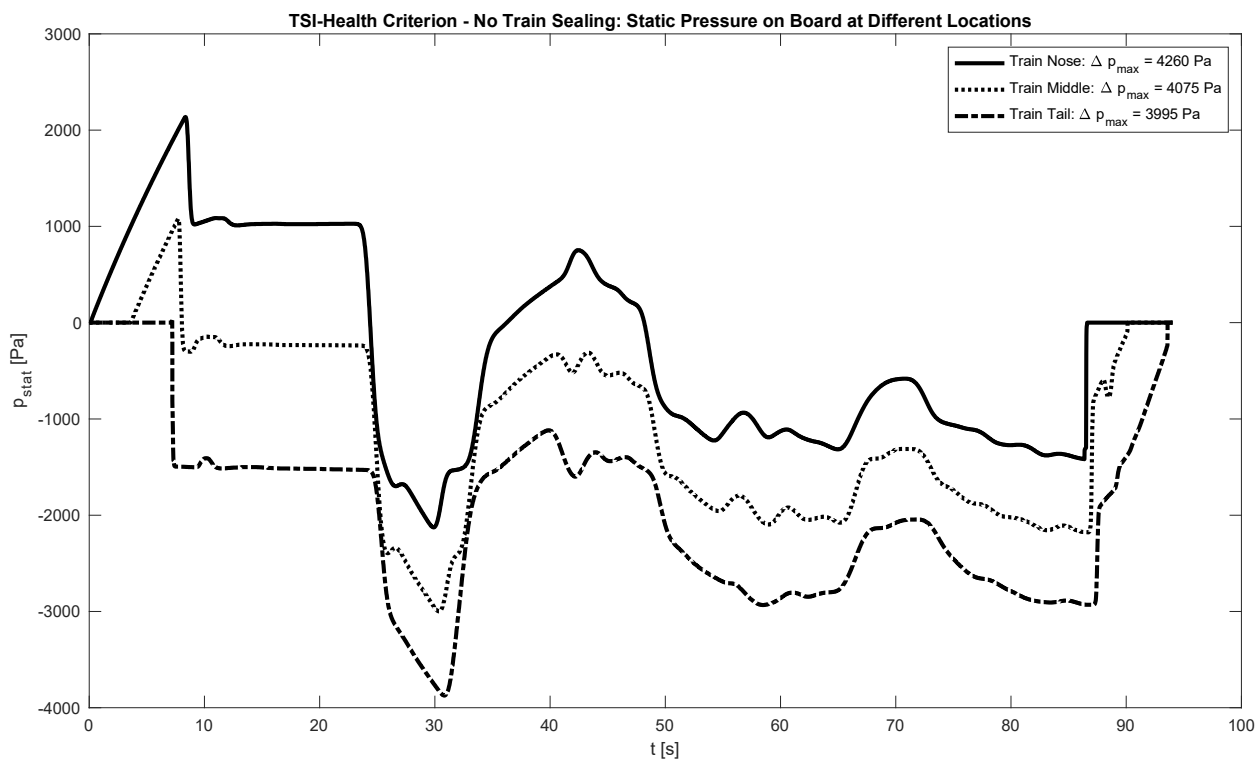


Obrázek 13: Přechodný tlak uvnitř vlaku

Je patrné, že kolísání tlaku uvnitř vlaku nepřesahuje 3750 Pa (na nose vlaku).

TSI zdravotní kritérium – délka vlaku: 400 m

Přechodný tlak na třech různých místech vlaku (v blízkosti čela vlaku, uprostřed vlaku a v blízkosti jeho ocasu, vně a uvnitř vlaku pro netěsněné vlaky) jsou znázorněny na obrázku Obrázek 14 níže.

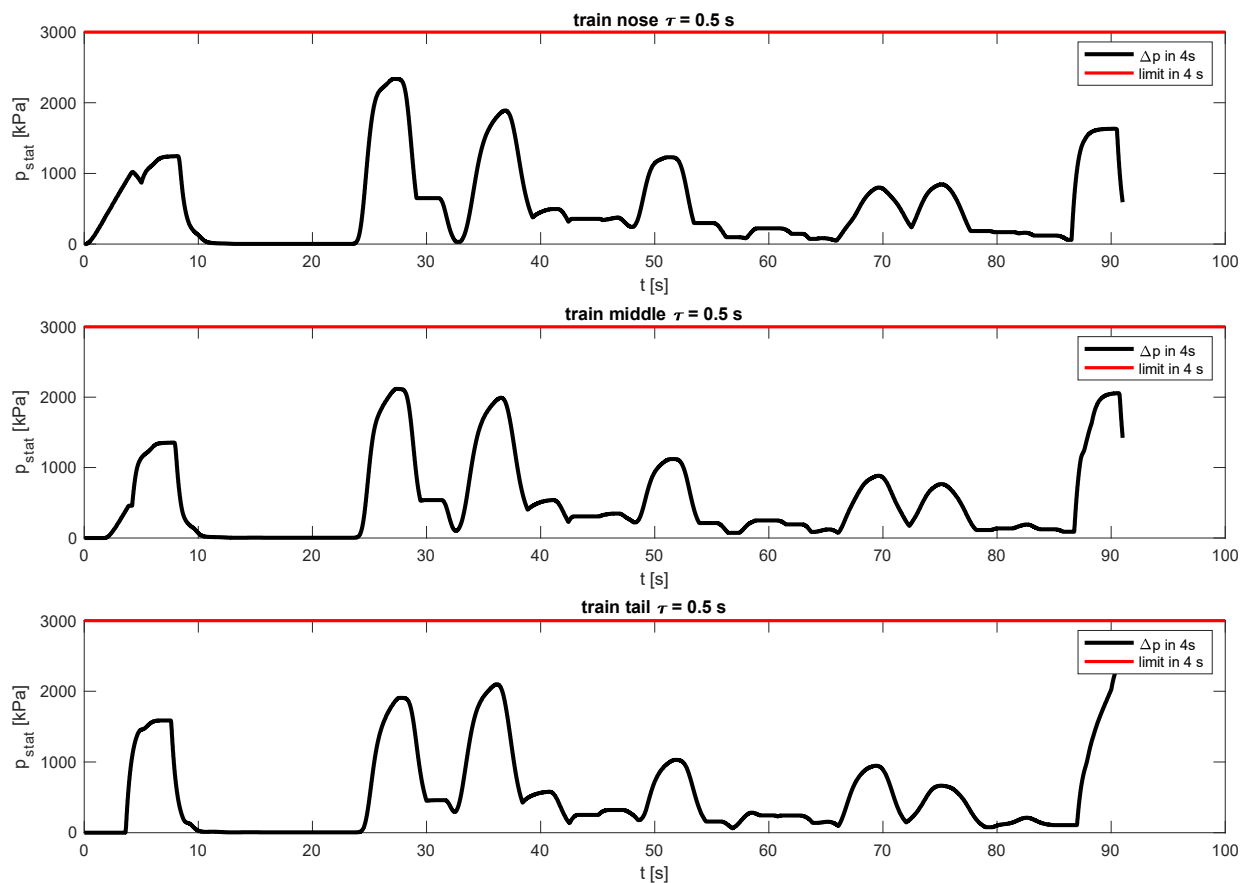


Obrázek 14: Přechodný tlak uvnitř vlaku

Je patrné, že kolísání tlaku uvnitř vlaku nepřesahuje 4260 Pa (na nosu vlaku).

Kritéria komfortu – délka vlaku: 200 m (netěsněné vlaky, $\tau = 0,5$ s)

Přechodný tlak na třech sledovaných místech uvnitř vlak je zobrazen na Obrázek 15 below.

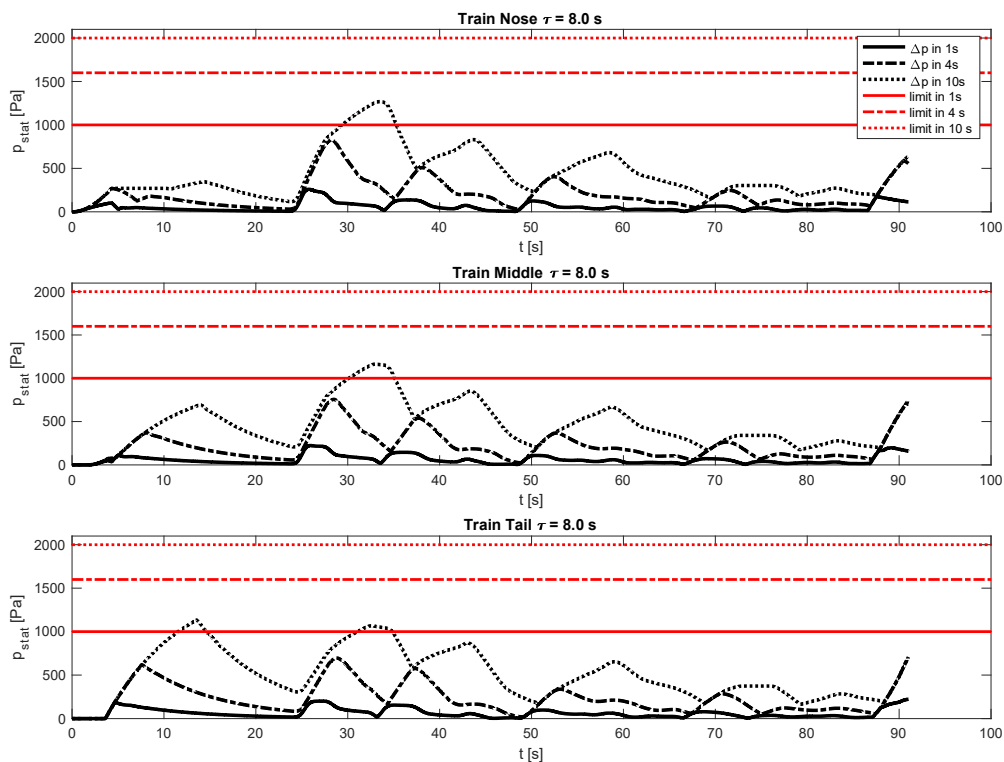


Obrázek 15: Maximální změny tlaků ve 4 s ve sledovaných místech (délka vlaku 200 m)

Je patrné, že stanovená konfigurace (tunelový profil, profil vlaku, návrhová rychlost) splňuje požadovaná kritéria komfortu.

Kritéria komfortu – délka vlaku: 200 m (vlak $\tau = 8$ s)

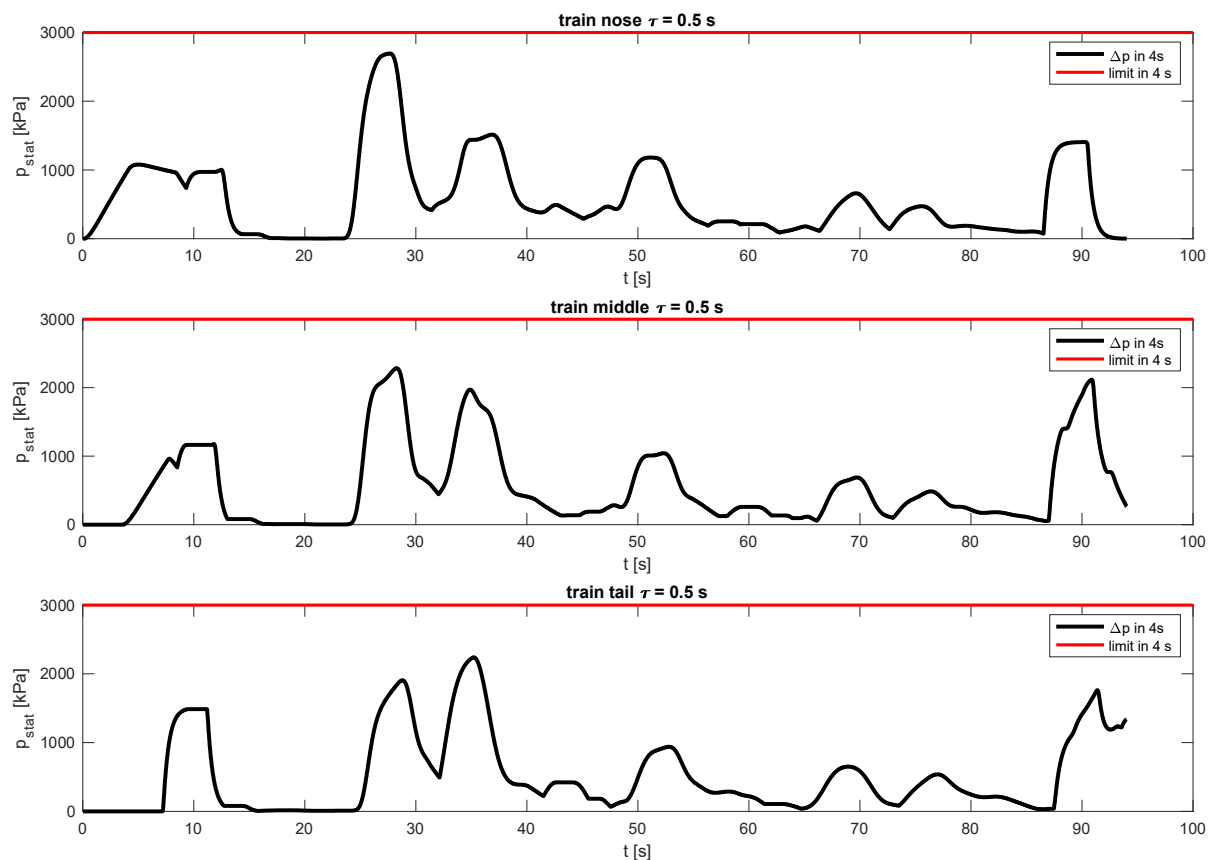
Přechodný tlak na třech sledovaných místech uvnitř vlak je zobrazen na Obrázek 16 níže.



Obrázek 16: Maximální změny tlaků ve sledovaných místech (délka vlaku 200 m, těsněný vlak)

Kritéria komfortu – délka vlaku: 400 m (netěsněné vlaky, $\tau = 0,5$ s)

Přechodný tlak na třech sledovaných místech uvnitř vlak je zobrazen na Obrázek 17 níže.

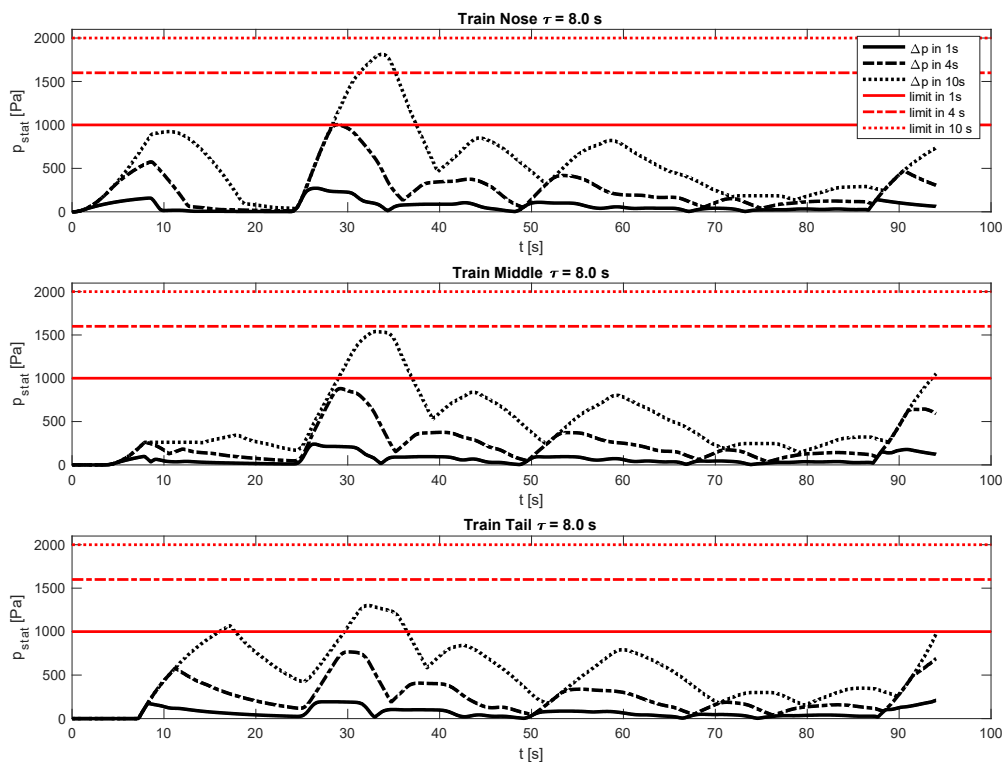


Obrázek 17: Maximální změny tlaků ve 4 s ve sledovaných místech (délka vlaku 400 m)

Je patrné, že stanovená konfigurace (tunelový profil, profil vlaku, návrhová rychlost) splňuje požadovaná kritéria komfortu.

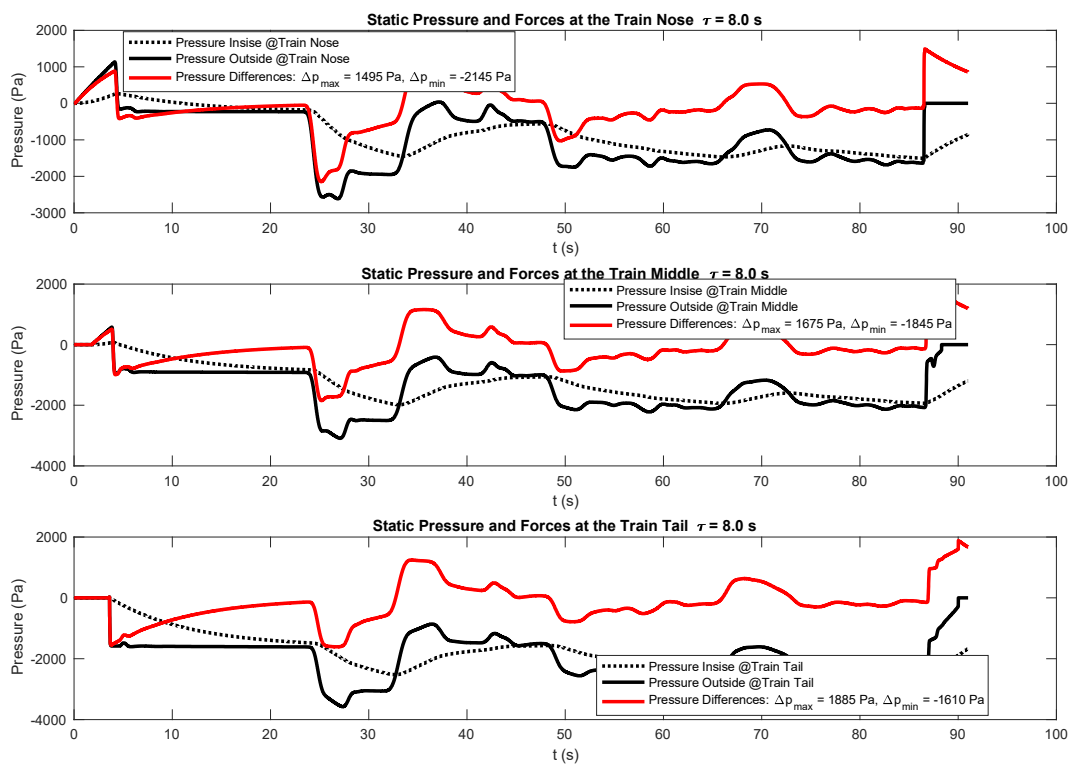
Kritéria komfortu – délka vlaku: 400 m ($\tau = 8.0$ s)

Přechodný tlak na třech sledovaných místech uvnitř vlak je zobrazen na Obrázek 18 níže.



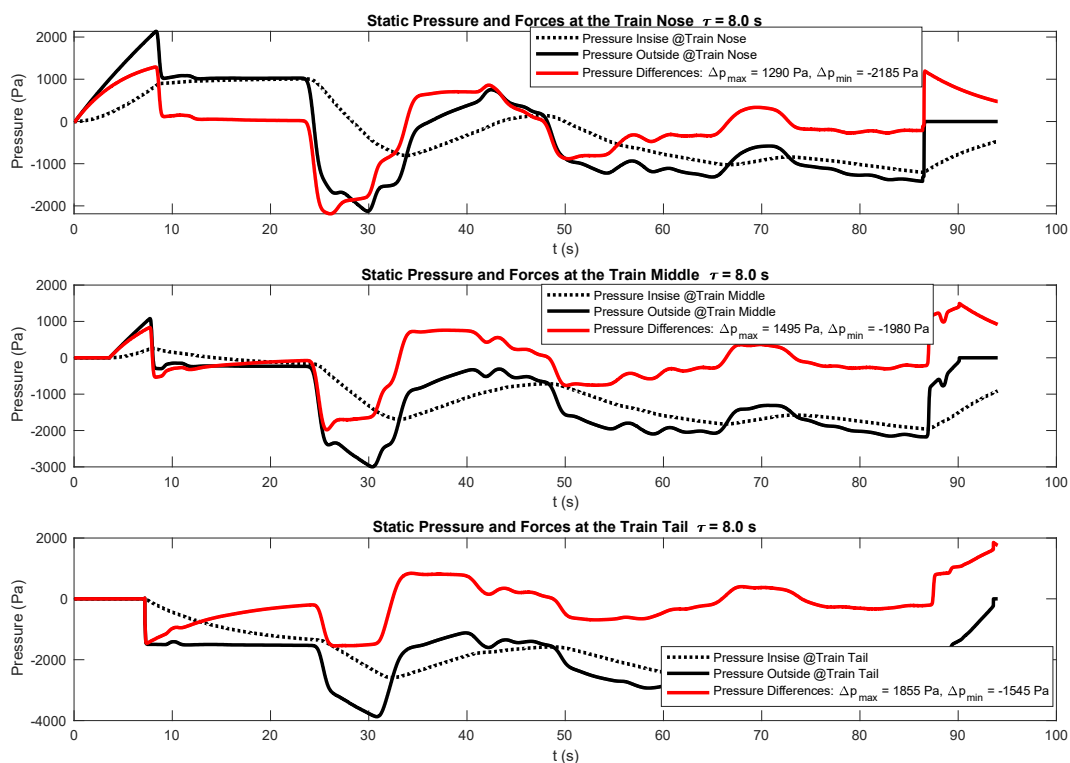
Obrázek 18: Maximální změny tlaků ve sledovaných místech (těsněný vlak, $\tau = 8$ s)

Tlakové rozdíly na povrchu karoserie vlaku délky 200 m (těsněný vlak, $\tau = 8$ s)



Obrázek 19: Tlakové rozdíly na povrchu karoserie pro uzavřený vlak pro těsněný vlak ($\tau = 8$ s)

Tlakové rozdíly na povrchu karoserie vlaku délky 400 m (těsněný vlak, $\tau = 8$ s)



Obrázek 20: Tlakové rozdíly na povrchu karoserie pro uzavřený vlak pro těsněný vlak ($\tau = 8$ s)

4 Tunelový faktor

Tunelový faktor se používá k porovnání aerodynamického odporu v tunelu s aerodynamickým odporem na otevřené trati. Rozhodujícím faktorem je poměr blokování, zatímco vliv rychlosti jízdy je považován za malý. Hodnoty uvedené v následující tabulce z velké části odpovídají hodnotám ze standardní literatury (viz [4]). Pro stanovení aerodynamických podmínek na otevřené trati byla použita práce Gaillarda a Hucho (viz [6], [4]). Pro aerodynamické podmínky při jízdě v tunelu byly navíc zohledněny výpočtové metody Gackenhofze (viz [5]). Je třeba poznamenat, že zjištěné tunelové faktory platí pro kvazistacionární stav během průjezdu tunelem. Vyšší hodnoty se vyskytují krátkodobě, např. při vjezdu do tunelu, zatímco nižší hodnoty se vyskytují po počátečním dopadu tlakové vlny odražené od výjezdového portálu na vlak. Zohlednění kvazistacionárního stavu je běžným parametrem, který poskytuje orientaci pro provozní plánování (požadavky na výkon).

Byly zjištěny následující faktory tunelu:

Tunel	$V_{vl} = 80 \text{ km/h}$	$V_{vl} = 160 \text{ km/h}$	$V_{vl} = 200 \text{ km/h}$
Hosínský tunel	1.7	1.77	1.82
Chotýčanský tunel	1.82	1.95	1.97

5 Závěr

Kritérium zdravotní TSI a tlaková kritéria pro netěsněné vlaky jsou splněny pro oba tunely a posuzovanou konfiguraci (délka vlaku 400 m, rychlost vlaku 200 km/h).

Stanovené tunelové faktory se pohybují v rozmezí 1,7 (Hosínský tunel s rychlostí 80 km/h) až 2,0 (tunel Chotýčanský s rychlostí 200 km/h) a jsou plně v souladu s literárními hodnotami a zkušenostmi ze stávajících tunelů.

6 Reference

- [1] EN14067-5:2021, Železniční aplikace - Aerodynamika - Část 5: Požadavky a zkušební postupy pro aerodynamiku v tunelech, listopad 2020.
- [2] Arbeitskreis Aerodynamik im Auftrag des Lenkungskreises Fahrzeuge in Zusammenarbeit mit DIN FSF NA 087-00-04 AA Festigkeit, Kollisionssicherheit, Leitfaden Bestimmung Aerodynamischer Lasten für Schienenfahrzeuge, Schließung einer Regelungslücke in EN 12663-1 und EN 14067 bei Wagenkastennachweisen, 12.02.2019
Aerodynamics Working Group on behalf of the Steering Committee Vehicles in cooperation with DIN FSF NA 087-00-04 AA Strength, Collision Safety, Guideline for the Determination of Aerodynamic Loads for Railway Vehicles, Closing a Regulatory Gap in EN 12663-1 and EN 14067 for Car Body Verification, 12.02.2019
- [3] UIC 556, Loadings of Coach Bodies and their Components
- [4] Hucho, Wolf-Heinrich, Aerodynamik der Stumpfen Koerper (Blut Body Aerodynamik), Vieweg Verlag, 2. Edition, 2011
- [5] Gackenholtz, L., Beitrag zur Ermittlung der Aerodynamischen Verhältnisse in Langen Eisenbahntunneln bei Schnellen Zugdurchfahrten, Dissertation, Hannover, 1973
- [6] Gaillard, M., Zur Aerodynamik der Zugbegnung im Tunnel und auf Offener Strecke, Dissertation, Zürich, 1973