

Paré:


Orientační schéma:

Razítko oprávněné osoby

Podnisi:

Datum

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

Stavebník / investor:	Správa železnic, státní organizace	 SPRÁVA ŽELEZNIC
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:		Posouzení vzniku sonického třesku										Číslo přílohy:		1 . 002																	
Název dílčí části přílohy:																															
Odpovědný projektant:		Zpracovatel přílohy:					Měřitko:					Stupeň dokumentace:																			
Ing. Petr Makásek Ph.D.		kolektiv					Formáty: xA4							Referenční dokumentace (RD)																	
Kraj:		Katastrální území:					TUDU:					Smluvní datum zpracování:																			
Jihočeský		viz textová část					viz textová část							03/2025																	
S-kód:		Stupeň dokumentace:					Část:					Objekt:					Podobjekt:					Příloha:					Revize:				
S631500294		_ R D X X _					D 2 1 0 7					_ S O X X X X X X X					_ X X _					_ 1 _ 0 0 2 _					_ 0 0 1				



DB Systemtechnik GmbH
Völkerstraße 5 | 80939 München

Tunguard s.r.o
Róbert Očkaják
Žižkova 39
040 01 Košice
Slovakia

DB Systemtechnik GmbH
TT.TVE 341
Engineering Aerodynamics and Air Conditioning (HVAC)
Völckerstraße 5
80939 München
Germany

Michael Staudinger
Michael.Staudinger@deutschebahn.com
Your ref.: TT.TVE 341 Sr

3/20/2025


MPW investigation – NemaSe – D&B

Dear Sir or Madam,


The investigation of micro-pressure wave (MPW) emissions has been completed. All the tasks stated in our offer (No. 77067-001-0) dated February 7, 2025, which were commissioned on January 24, 2025 have been successfully completed. Please find the outcome of the investigation on the following pages of the short report.

Best regards

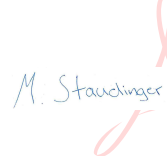
DB Systemtechnik GmbH


Peter Deeg
2025.03.20
17:40:51
+01'00'

Dipl. Ing. Peter Deeg
TT.TVE 341
(Approved)


Digital
unterscriben
von Michael Hieke
Datum: 2025.03.20
15:35:22 +01'00'

Dipl. Ing. Michael Hieke
TT.TVE 341
(Verified)


Digital
unterscriben
von Michael
Staudinger
Datum: 2025.03.20
09:42:17 +01'00'

Michael Staudinger M.Sc.
TT.TVE 341
(Created)

DB Systemtechnik GmbH
Registered Office Minden
Registry Court Bad Oeynhausen
Commercial Register No.: 12643

VAT No.: DE 278 387 628

Bank details:
Postbank Berlin
IBAN: DE74 1001 0010 0061 1711 06
BIC: PBNKDEFF

Chairperson of the Supervisory Board:
Dr. Daniela Gerd tom Markotten

Management Board:
Dr. Hille-Mai Unger (Chairwoman)
Stefan Schneider,
Christoph Kirschinger



Popis situace

Na připravované trati Praha – České Budějovice v úseku Nemanice – Ševětín jsou navrženy dva dlouhé tunely, Hosínský tunel (3120 m) a Chotýčanský tunel (4806 m). Pro oba tunely bude posouzena potřeba dodatečných protipatření z hlediska tvorby mikrotlakových vln (sonický třesk), aby se zabránilo nevhodným akustickým událostem. V případě nutnosti aplikace protipatření bude navrženo a posouzeno technické řešení těchto opatření.

Metodologie

Vzhledem k tomu, že v České republice neexistují žádné technické předpisy týkající se emisí mikrotlakových vln a norma EN 14067-5 [2] se vztahuje pouze na fázi vjezdu vlaku do tunelu, je posouzení provedeno v souladu se směrnicí Deutsche Bahn Ril 853 [1]. Směrnice Ril 853, včetně podčásti (Ril853.1002A01), který upravuje jev MPW (Micro-Pressure Waves), je pro Německo dobře zavedená a poskytovala základ posouzení několika již realizovaným tunelům. Posouzení případné potřeby dalších protipatření, je provedeno v souladu s limity uvedenými ve této směrnici.

Jev MPW lze rozdělit do tří fází:

První fází je vjezd vlaku do tunelu, kde vzniká vstupní tlaková vlna. Tato fáze se zkoumá pomocí přechodové 3D CFD simulace s pohyblivými sítěmi. Simulace využívá referenční vlak, v souladu s normou EN 14067-5 [2], vjíždějící do tunelu rychlostí 250 km/h. Podle normy EN 14067-5 [2] se tato vyšší vjezdová rychlost ve srovnání s návrhovou rychlostí používá k zohlednění jiných konstrukcí vlaků s méně aerodynamicky účinnými tvary hlavy ve srovnání s referenčním vlakem, které by však mohly v tunelu jet návrhovou rychlostí.

Druhou fází je šíření tlakové vlny tunelem. Zde je použit nejmodernější jednorozměrný (1D) simulační model, založený na výpočetním modelu popsáném v [3]. Tento model zohledňuje účinky tření a tlumení v tunelu.

Třetí fáze zahrnuje uvolnění MPW na protějším portálu, která je modelována pomocí zjednodušeného akustického přístupu formulovaného profesorem Ozawou [4] z Japonska.

Nakonec se maximální tlaková amplituda emitovaného MPW převede na akustický signál a vyhodnotí se v příslušných polohách v blízkosti portálu a u nejbližší obytné zástavby.

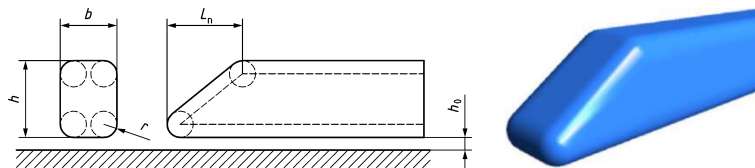
Okrajové podmínky

▪ Meteorologické podmínky:

Podle platné normy EN 14067-5 [2], se všechny simulace provádějí při teplotě okolí $\theta = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, tlaku okolí $p_{\text{atm}} = 101325\text{ Pa}$ a fyzikálních vlastnostech suchého vzduchu.

▪ Referenční vozidlo:

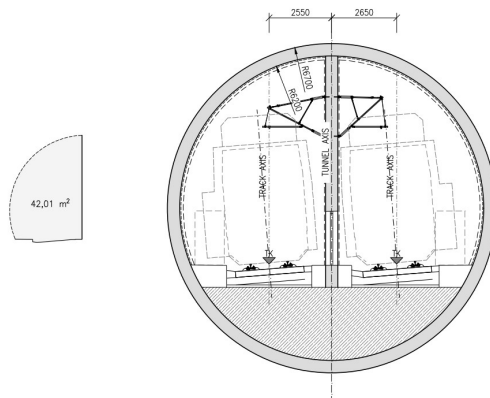
Aerodynamické vlastnosti referenčního vlaku jsou definovány takto, viz Obrázek 1: $S_{\text{tr}} = 11\text{ m}^2$, $b = 3\text{ m}$, $L_n = 4\text{ m}$, $r = 0.75\text{ m}$, $h_0 = 0.25\text{ m}$, and $h = (S_{\text{tr}} + (4r^2 - \pi r^2)) / b$. Vlak má nekonečnou délku, protože je zde relevantní pouze vstup nosu vlaku. Vlak vjíždí do tunelu rychlostí 250 km/h.



Obrázek 1: Referenční vozidlo podle EN14067-5 [2]

■ Tunel:

Zkoumány jsou dvě délky tunelů, Hosínský tunel 3120 m a Chotýčanský tunel 4806 m. Oba tunely jsou vybaveny pevnou jízdni dráhou (hladká plocha) a hladkým ostěním. Oba tunely obsahují dvě tratě, které jsou od sebe vzduchotěsně odděleny dělicí stěnou (mezi oběma prostory nejsou žádné trvalé otvory). V tunelech nejsou žádné šachty ani odbočky. Volná plocha průřezu 42 m² je podél tunelů pro každou část tunelu konstantní. Pro simulaci je zvolena konstrukce TBM, viz Obrázek 2. Aerodynamické účinky ostatních vnitřních konstrukcí jsou podobné. Očekává se však, že průřez TBM bude fungovat hůře, protože má nejmenší vodorovné vzdálenosti mezi vlakem a stěnami tunelu, což vytváří největší tlakové gradienty na vjezdu.



Obrázek 2: Vzorový příčný řez varianty TBM

■ Úprava portálu (vnitřní délka 30 m):

Další simulace se provádějí s dodatečnými protiopatřeními v podobě dvou různých konfigurací portálových částí o délce 30 m. Obě konfigurace se obdobně skládají ze dvou stejně dlouhých bloků délky 15 m. První portálový blok délky 15 m má konstantní plochu rovnou 1,5násobku typického světelného průřezu 63 m² (1,5 × 42 m²). Následující druhý blok, rovněž dlouhý 15 m, má konstantní plochu 1,25násobku 52,5 m² (1,25 × 42 m²). Obě konfigurace mají pět odlehčovacích otvorů, z nichž tři jsou umístěny v prvním bloku a dva ve druhém bloku. Jejich umístění a rozměry jsou uvedeny v Tabulka 1, přičemž rozdíly konfigurací jsou zvýrazněny **zeleně** u konfigurace 1 (svislý portál) a **modře** u konfigurace 2 (šikmý portál), viz Obrázek 3.

Tabulka 1: Pozice a rozměry odlehčovacích otvorů pro Konfigurace 1 and Konfigurace 2

Otvor*	Pozice* [m]	šířka in [m]	výška in [m]	plocha v [m ²]
1	3.0	2.5	4.0 / 3.0	10.0 / 7.5
2	7.0	2.5	4.0 / 3.0	10.0 / 7.5
3	12.9	2.5	3.2 / 2.4	8.0 / 6.0
4	20.0	1.4	3.2	4.5
5	25.0	1.4	1.8	2.5

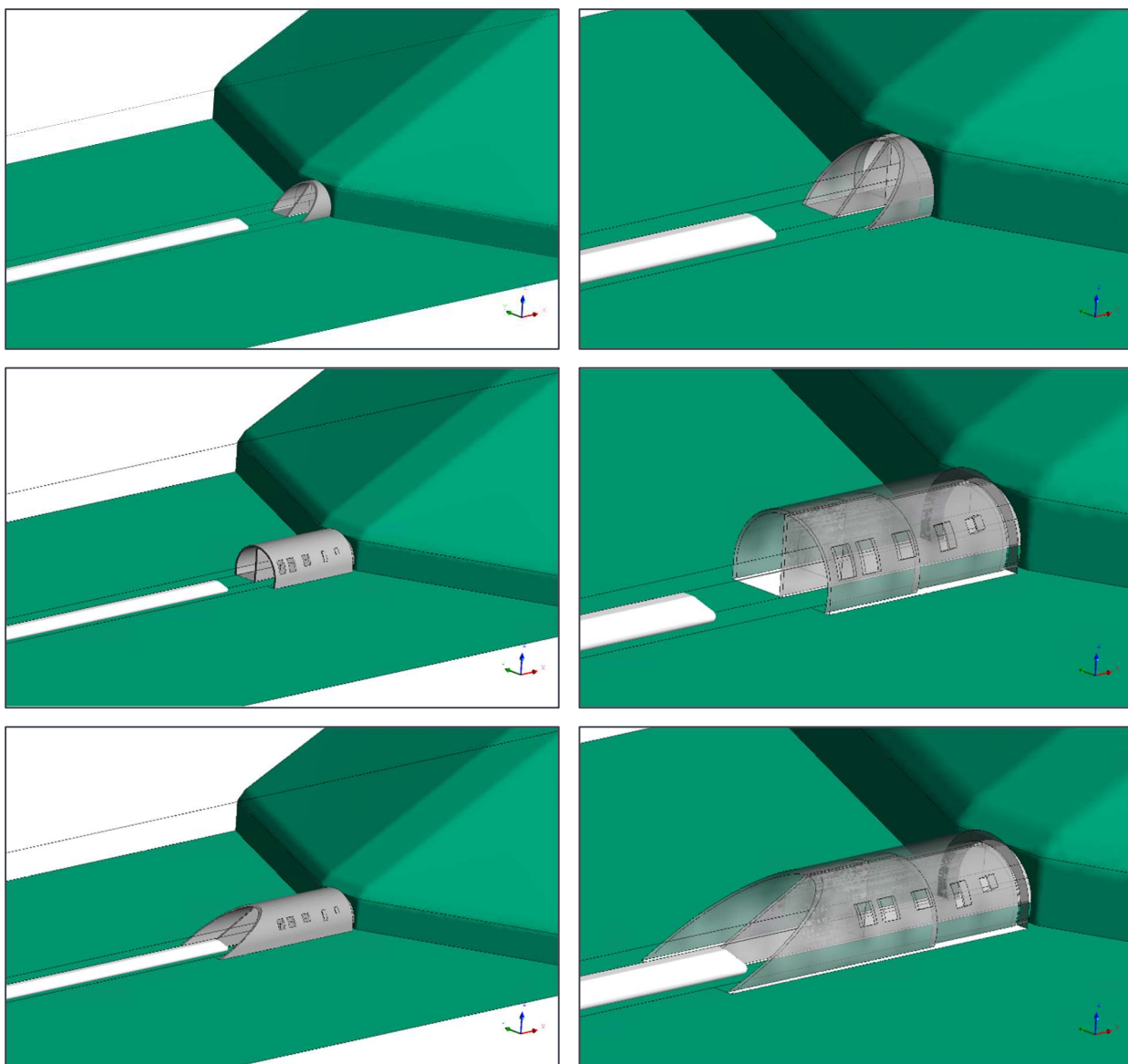
*Tlakový otvor 1 se nachází nejbližší portálu, zatímco otvor 5 je nejdále směrem do tunelu.

* Poloha = vzdálenost mezi hranou portálu a středem otvoru

Kromě toho je portálová úprava konfigurace 2 doplněna šikmými zdmi ve sklonu 2:1, jak je znázorněno na Obrázek 3 (níže).

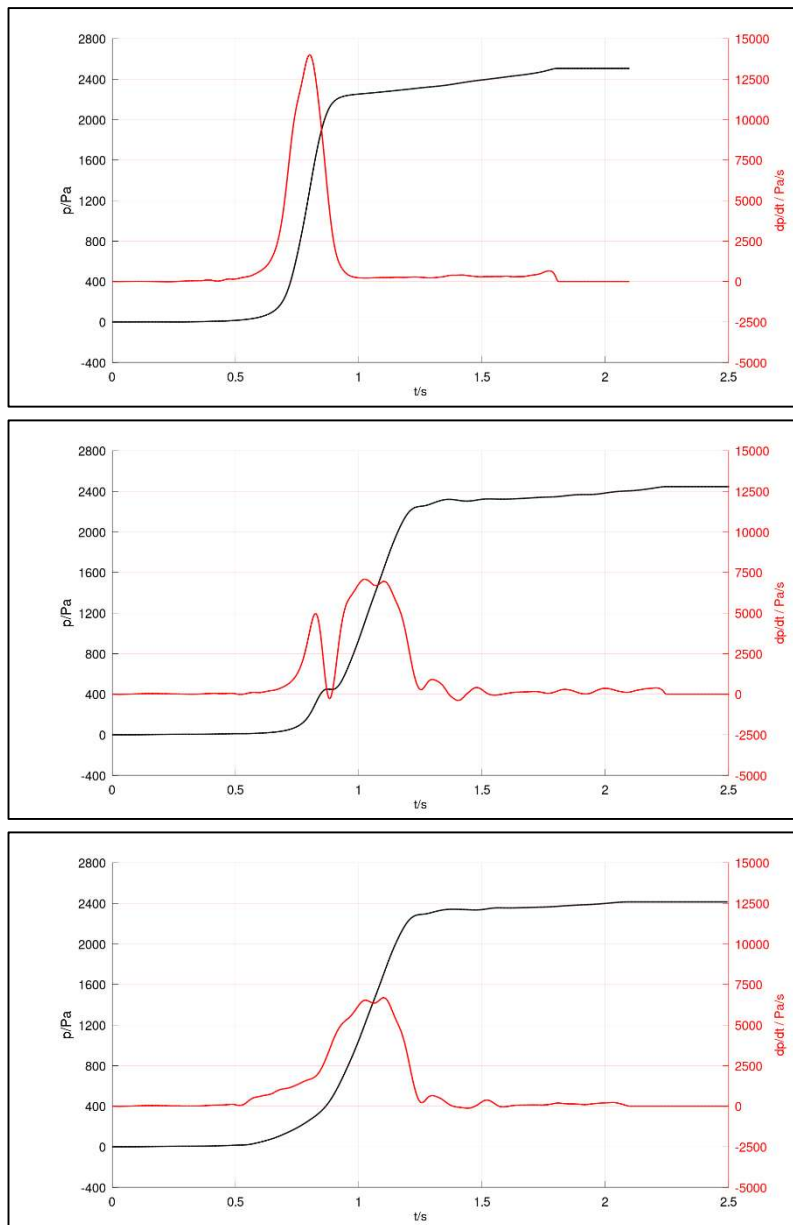
Výsledky

Vjezdová tlaková vlna generovaná vlakem vjíždějícím do tunelu rychlostí 250 km/h je simulována pomocí 3D modelu v programu ANSYS CFX verze 18. Nastavení je v souladu s požadavky normy EN 14067-5 [2]. Počáteční scénář bez dodatečných protiopatření je zobrazen nahoře na Obrázek 3. Varianta s 30 m dlouhou úpravou portálové konstrukce a svislým portálem je znázorněn uprostřed a varianta s 30 m dlouhou úpravou portálové konstrukce s náběhovými stěnami je zobrazena dole.



Obrázek 3: Simulační modely bez dodatečných protiopatření (nahore), Konfigurace 1 (uprostřed) a Konfigurace 2 (dole) - každý transparentně (vlevo) a v detailním pohledu (vpravo).

Maximální vstupní tlakový gradient je 14030 Pa/s u případu bez dalších protiopatření, 7097 Pa/s s portálovou úpravou podle konfigurace 1 a 6698 Pa/s s portálovou konfigurací 2. Výsledky jsou uvedeny na obrázku 4.

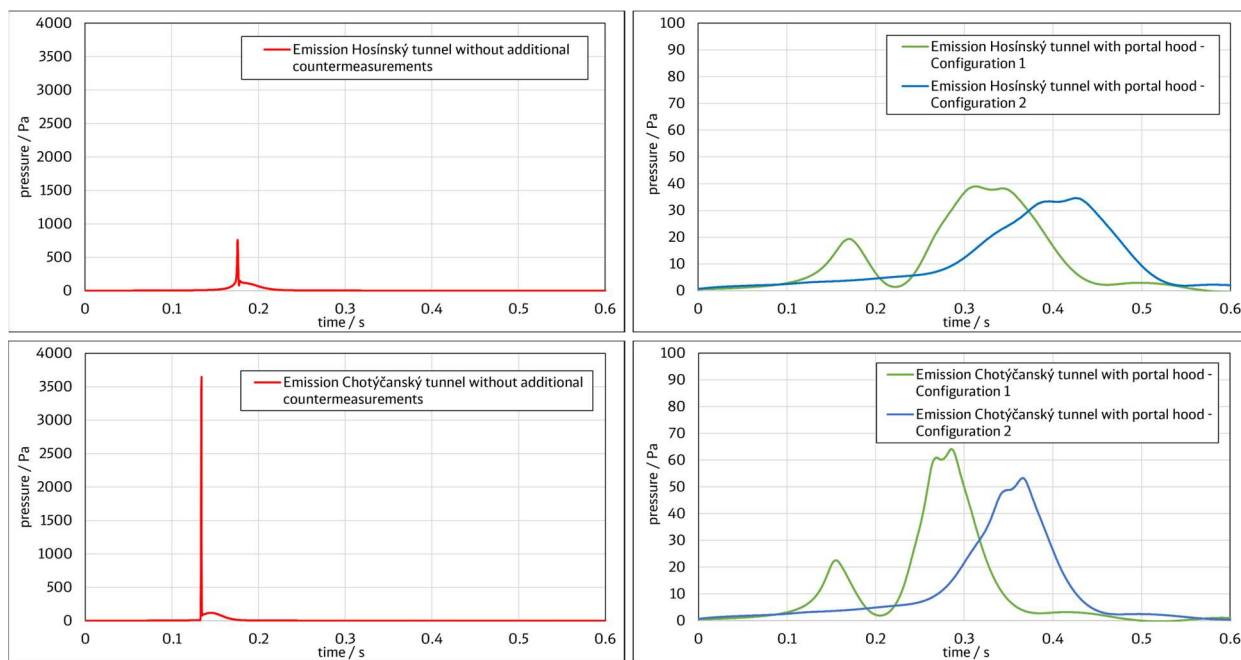


Obrázek 5: Tlakové vlny při vjezdu referenčního vlaku do tunelu rychlostí 250 km/h bez dodatečných protiopatření (nahore), s portálovou konfigurací 1 (uprostřed) a portálovou konfigurací 2 (dole).

Nejlepším případem by bylo pomalé, plynulé a lineární zvyšování tlaku s malým gradientem tlaku v čase, dokud čelo vlaku zcela nevjede do tunelu. Toho lze dosáhnout umístěním odlehčovacích otvorů v konstrukci tunelu. Celkovou účinnost opatření ovlivňují klíčové faktory: přesná velikost otvoru a vzdálenost od portálové stěny ke středu otvoru. Například 30 m dlouhá úprava s dobře optimalizovanými otvory může mít lepší efekt než 50 m dlouhá úprava se špatnou konfigurací otvorů.

Vstupní tlakové vlny se dále použijí při simulaci šíření vln v tunelu. Používá se konzervativní přístup s nízkými třecími a tlumícími ztrátami. To je rozumné, pokud nejsou k dispozici podrobné informace o finálním interiéru tunelu a jeho aerodynamicky relevantních vlastnostech.

Nakonec se šířené tlakové vlny převezmou do simulace emisí. Předpokládá se emise z výstupního portálu v řezu. Emitované MPW jsou znázorněny na Obrázek 6 (různá měřítka).



Obrázek 6: Emitované MPW bez dodatečných protipatření (vlevo) and s opatřeními (vpravo)

Časově závislé tlakové signály vysílaných mikrotlakových vln se převedou na odpovídající hladiny akustického tlaku L_{CE} u nejbližších obytných budov od výstupního portálu a L_{pCpeak} ve vzdálenosti 25 m od výstupního portálu.

Podle podčlásku 853.1002A01 [1] by předpokládané emise MPW z jedné události neměly překročit tyto uvedené směrné hodnoty:

- vážená C hladina akustické expozice u obytných budov: $L_{CE} \leq 70 \text{ dB(C)}$
- vážená C špičková hladina zvuku ve vzdálenosti 25 m od výstupního portálu: $L_{pCpeak} \leq 115 \text{ dB(C)}$

Klasické hladiny zvuku vážené A (hluk z dopravy) rovněž splňují platné limity – na základě zkušeností z Německa – pokud jsou splněna předložená kritéria vážená C.

Hodnocené vzdálenosti obytných budov od portálů pro oba tunely jsou uvedeny v Tabulka 2.

Tabulka 2: Vzdálenosti mezi nejbližšími obytnými budovami a tunelovými portály

Tunel	Vzdálenost k nejbližší obytné budově	
Hosínský tunel (3120 m)	Výjezdový portál Hosín	725 m
	Vjezdový portál Hrdějovice	375 m
Chotýčanský tunel (4806 m)	Výjezdový portál Ševětín	300 m
	Vjezdový portál Dobřejovice	800 m

Předpokládané akustické výsledky pro počáteční výpočtový scénář bez protiopatření jsou uvedeny v Tabulka 3. Předpokládané akustické výsledky pro portálovou konfiguraci 1 jsou uvedeny v Tabulka 4 a pro konfiguraci 2 v Tabulka 5. **Červeně** zvýrazněné hodnoty překračují výše uvedené limity, zatímco **zeleně** zvýrazněné hodnoty spadají do přijatelného rozmezí.

Tabulka 3: Předpokládané hladiny akustického tlaku L_{CE} and L_{pCpeak} **bez opatření**

Tunel	L_{CE} [dB(C)] Vzdálenost od výstupního portálu				L_{pCpeak} in dB(C) 25 m od výstupního portálu
	300 m	375 m	725 m	800 m	
Hosínský (3120 m)	-	100.6	94.9	-	148.4
Chotýčanský (4806 m)	114.6	-	-	106.1	164.2

Tabulka 4: Předpokládané hladiny akustického tlaku L_{CE} and L_{pCpeak} **pro portálovou konfiguraci 1**

Tunel	L_{CE} [dB(C)] Vzdálenost od výstupního portálu				L_{pCpeak} in dB(C) 25 m od výstupního portálu
	300 m	375 m	725 m	800 m	
Hosínský (3120 m)	-	67.3	61.6	-	99.6
Chotýčanský (4806 m)	75.8	-	-	67.3	107.4

Tabulka 5: Předpokládané hladiny akustického tlaku L_{CE} and L_{pCpeak} **pro portálovou konfiguraci 2**

Tunel	L_{CE} [dB(C)] Vzdálenost od výstupního portálu				L_{pCpeak} in dB(C) 25 m od výstupního portálu
	300 m	375 m	725 m	800 m	
Hosínský (3120 m)	-	59.8	54.1	-	93.6
Chotýčanský (4806 m)	70.0	-	-	61.4	104.3

Závěr

Predikované akustické výsledky = hladiny akustické expozice i špičkové hladiny zvuku – překračují limity uvedené v podčlásku 853.1002A01 německé směrnice [1] pro oba tunely (Hosínský a Chotýčanský) pro počáteční technické řešení bez použití protiopatření.

Portál konfigurace 1 s celkovou vnitřní délkou 30 m vyhovuje stanoveným limitům německého předpisu pro všechny portály s výjimkou vjezdového portálu Dobřejovice Chotýčanského tunelu. Proto ji lze považovat za účinné akustické protiopatření pro tyto tři portály. Naproti tomu akustické výsledky pro konfiguraci portálu 2, která má vnitřní délku 30 m a šikmé stěny, zůstávají v mezích stanovených v německé směrnici i pro vjezdový portál Dobřejovice.

I když pro Českou republiku žádný předpis neexistuje, získané hodnoty pro výchozí nastavení bez protiopatření jsou v řádu, kdy by emise mikrotlakových vln mohly znít jako výbuch. Navrhuje se snížit tyto emise pomocí protiopatření, jak je uvedeno v této zprávě.

Portál v konfiguraci 1 lze použít pro oba portály Hosínského tunelu a výjezdový portál Chotýčanského tunelu, zatímco portál konfigurace 2 je vhodný pro všechny portály.



Reference

- [1] DB Netz AG: *Modul 853.1002A01 in Richtlinie 853 "Eisenbahntunnel planen, bauen und instandhalten"*, available at DB Kommunikationstechnik GmbH, Karlsruhe, dzd-bestellservice@deutschebahn.com

- [2] DIN EN 14067-5:2023-3, Railway applications - Aerodynamics - Part 5: Requirements and test procedures for aerodynamics in tunnels, English Version EN 14067-5:2021 + AC:2023.

- [3] Adami S., Kaltenbach H.-J., Sensitivity of the wave-steepening in railway tunnels with respect to the friction model, Proceedings of the 6th International Colloquium on: Bluff Body Aerodynamics and Applications, Milano, Italy, 2008.

- [4] Ozawa S., Murata K., Maeda T., Effect of ballasted track on distortion of pressure wave in tunnel and emission of micro-pressure wave, Proceedings of the 9th International Symposium on Aerodynamics & Ventilation of Vehicle Tunnels, Aosta Valley, Italy, 1997, BHR Group, pp. 935- 947.