

# HLUKOVÉ ZÁTĚŽE V OBYTNÝCH OBLASTECH PŘI VYÚSTĚNÍ MĚSTSKÝCH TUNELŮ

Ondřej Šupka, Michal Šitych, Antonín Brnušák, Vladimír Brejcha, Vladimír Křístek

## ÚVOD

Hluk je považován za jev mající významný negativní vliv na životní prostředí. Podrobné zdravotní studie prokazují závislost výskytu řady civilizačních chorob na tom, jakému hlukovému zatížení jsou osoby vytaveny (hladina hluku, trvání hlukové zátěže). Z těchto skutečností následně jsou stanovena doporučení a normové limity přípustných hodnot hlukové zátěže, které je nutno dodržovat. Ty se rozdělují na limity na straně zdrojů hluku, tj. jsou definovány mezní hodnoty hluku vyvozovaného např. stroji, vozidly a apod., na druhé straně jsou limity, které určují ještě přípustné zatížení hlukem pro definovaná prostředí. Z hlediska této studie je důležitá druhá skupina, tedy ta, která omezuje úroveň zatížení hlukem pro daná prostředí a zdroj hluku.

Cílem výzkumu je návrh technických opatření a návrh optimálních metod s realizací pro snížení nepříjemně vysoké úrovně hladiny hluku v obydlených oblastech v okolí výjezdů z intravilánových tunelů, která je způsobena dopravním provozem, čímž je velmi významně ovlivněno životní prostředí v okolní bytové zástavbě.

Výzkum se zaměřuje na analýzu a vývoj nových produktů, postupů a technologií pro snižování dopadu dopravy na veřejné zdraví a životní prostředí, je cílen na komplexní podrobné vyšetření hlukové situace v obydlených oblastech v okolí výjezdů z tunelů, zahrnující rozsáhlé dlouhodobé sledování a monitoring negativních efektů nepříznivě ovlivňujících životní prostředí v těchto oblastech se záměrem návrhu a doporučení pro jejich odstranění, nebo aspoň omezení na přijatelnou míru. Jsou zkoumány a vyvíjeny nové i současné konstrukční materiály se zaměřením na výběr těch nejvhodnějších pro potlačení nepříznivých faktorů, aplikovatelných pro dosažení záměrů, zejména zpracování variantních návrhů konstrukčních opatření pro eliminaci, příp. pro redukci hlukových zátěží, zahrnující jejich detailní dopracování po stránce projektové, stavební a ekonomické.

Při technickém návrhu jsou řešeny dvě problematiky: návrh vhodného akusticky pohltivého materiálu a tvarování a implementace materiálu v tunelech. Akusticky pohltivý materiál je volen s důrazem na vysoký činitel zvukové pohltivosti.

Akustické parametry jsou měřeny pomocí impedanční trubice, pro vybrané materiály je měření činitele zvukové pohltivosti prováděno v dozvukové komoře. Druhou neméně důležitou složkou je vhodné tvarování akusticky pohltivých materiálů.

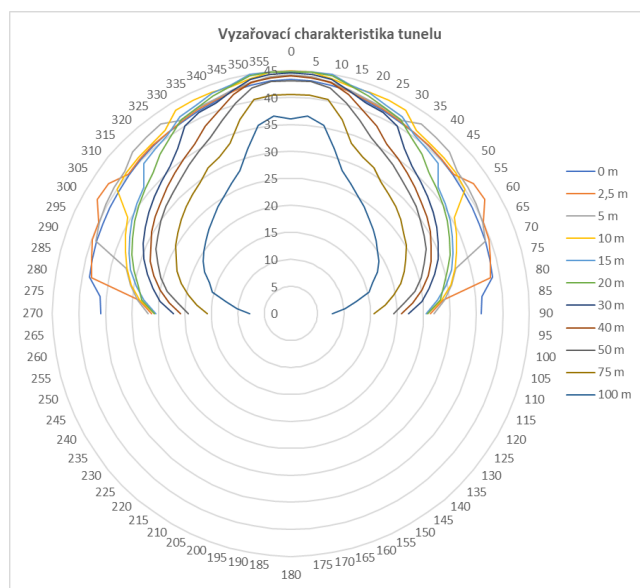
## MĚŘENÍ A ANALÝZA

Za účelem získání vstupních dat, následné kalibrace a ověření relevantnosti výpočtového modelu je prvotním úkolem zmapování akustického chování typových případů ústí městských tunelů.

Měření je třeba rozdělit do dvou kategorií. Za účelem zmapování charakteru hluku provozu poslouží **měření za běžného provozu tunelu**. Minimálně jedno měření musí proběhnout uvnitř tunelu – ideálně více než 30 m od ústí, další měření před ústím tunelu v minimální vzdálenosti 10 m od ústí. Náměry vypovídají jednak o frekvenčním charakteru hluku a dále orientačně o vlivu ústí tunelu na šíření hluku.

Druhou kategorií měření je **měření bez provozu**. Toto měření je cílené na detailnější zmapování vlivu ústí tunelu na šíření hluku. Jako zdroj hluku slouží všesměrový zdroj se signálem, který odpovídá spektrálním složením normovanému hluku podle ČSN EN 1793-3. Velký vliv, jak bylo potvrzeno počítačovou simulací, hraje vzdálenost zdroje hluku od ústí tunelu - viz Graf. 1 kde je zřejmý předpokládaný jev, tj. že s rostoucí vzdáleností zdroje od ústí

tunelu bude vyzařovací charakteristika směrovější (lalok bude užší). Od určité vzdálenosti se tvar laloku mění jen minimálně a pouze se celkově zmenšuje. V nasimulovaném případě v Grafu 1 se jedná o vzdálenost 15–20 m. To je dáno samozřejmě geometrií tunelu a tato vzdálenost je přímo úměrná šířce tunelu. Tato vzdálenost je nejmenší vzdáleností pro ideální umístění zdroje hluku při měření. V takové vzdálenosti začíná být zanedbatelný přímý zvuk zdroje a podstatnou složku tvoří odrazy od stěn tunelu. Přímý zvuk nemůžeme potlačit, proto se zaměříme na zvuk odražený. Kromě přímého a odraženého zvuku tvoří vnější složku hluku ještě zvuk, který vznikl difrakcí přímého zvuku o hrany tunelu. Tato složka bude však pravděpodobně zanedbatelná, nicméně je nutno jí věnovat pozornost v počítačovém modelu.



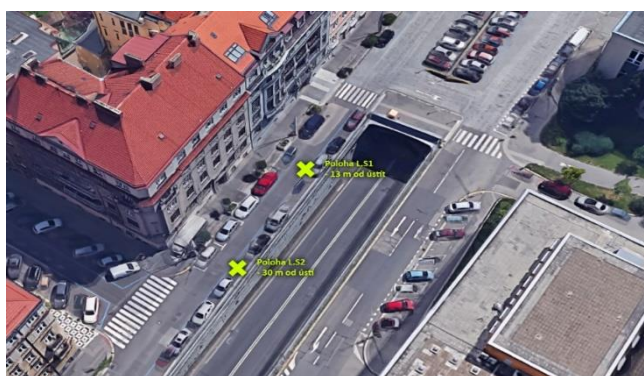
*Graf 1: Vyzařovací charakteristika simulovaného modelu tunelu (šíře 8 m, půlkruhový průřez) v závislosti na vzdálenosti zdroje hluku od ústí tunelu (hodnoty měřeny ve vzdálenosti 25 m od ústí tunelu); zobrazené hodnoty jsou  $L_{Aeq}$  v dB.*

### Měření za běžného provozu tunelu

Pro měření byly vybrány tři dostupné typy ústí tunelu. Při výběru byla zohledněna zejména předpokládaná hluková zátěž tunelu, dostupnost tunelu z hlediska přístupu při měření, možnost měření v tunelu bez provozu (během uzavírky tunelu) a typ ústí.

- **Strahovský tunel – jižní portál** (viz Obr.1); pravý tubus (při pohledu vně tunelu)
- **Strahovský tunel – severní portál** (viz Obr.2); jednotlivé tubusy se sbíhají před samotným portálem
- **Letenský tunel – severní portál** (viz Obr.3); ústí s postupným zapaštěním pod úroveň vozovky; portál ústí v husté zástavbě

Obr. 1 a 2: Jižní a severní portál Strahovského tunelu – měření za provozu



Obr. 3: Severní portál Letenského tunelu – měření za provozu



Obr.4: Měření za běžného provozu – poloha mikrofону S.J1 u jižního portálu Strahovského tunelu



Obr.5: Měření za běžného provozu – poloha mikrofonu S.J2 u jižního portálu Strahovského tunelu



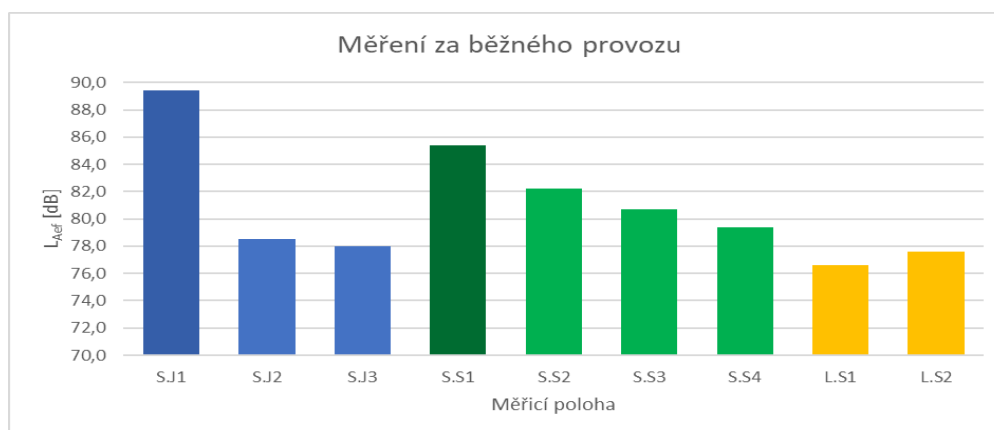
Obr.6: Měření za běžného provozu – poloha mikrofonu S.S2 u severního portálu Strahovského tunelu

Naměřené hodnoty pro tyto případy jsou uvedeny v Tab. 1. Hluk měřený vně tunelu je součtem hluku zářené tunelem a hlukem projíždějících automobilů

Tab. 1: Naměřené hodnoty při provozu

f [Hz]	širokopásmově	63	125	250	500	1000	2000	4000
poloha	$L_{Aeq}$ [dB]	$L_{Zeq}$ [dB]						
S.J1	89,4	88,7	85,1	84,2	84,4	86,4	82,3	72,8
S.J2	78,5	81,4	75,0	73,2	72,7	76,0	70,7	61,7
S.J3	78,0	81,8	76,8	73,3	72,2	75,7	69,3	59,9
S.S1	85,4	85,6	81,6	81,0	80,3	82,8	77,7	68,3
S.S2	82,2	83,7	77,6	77,9	76,7	79,7	74,5	64,4
S.S3	80,7	82,8	77,8	76,8	75,3	78,3	72,5	61,6
S.S4	79,4	86,3	85,2	81,0	75,1	75,4	70,2	59,3
L.S1	76,6	87,9	83,5	78,6	72,9	72,1	65,8	56,5
L.S2	77,6	88,7	84,4	79,5	74,4	72,8	67,0	57,7

Naměřené hodnoty za provozu (viz Tab. 1 a Graf 2) vytvářejí představu o hladině akustického tlaku a spektrálním složení hluku uvnitř tunelu a před ústím tunelu. Tyto hodnoty jsou významné při tvorbě počítačového modelu pro jeho kalibraci.



*Graf 2: Naměřené hodnoty za běžného provozu*

Průjezdnost vozidel během 30 min. intervalu měření je uvedena v Tab. 2.

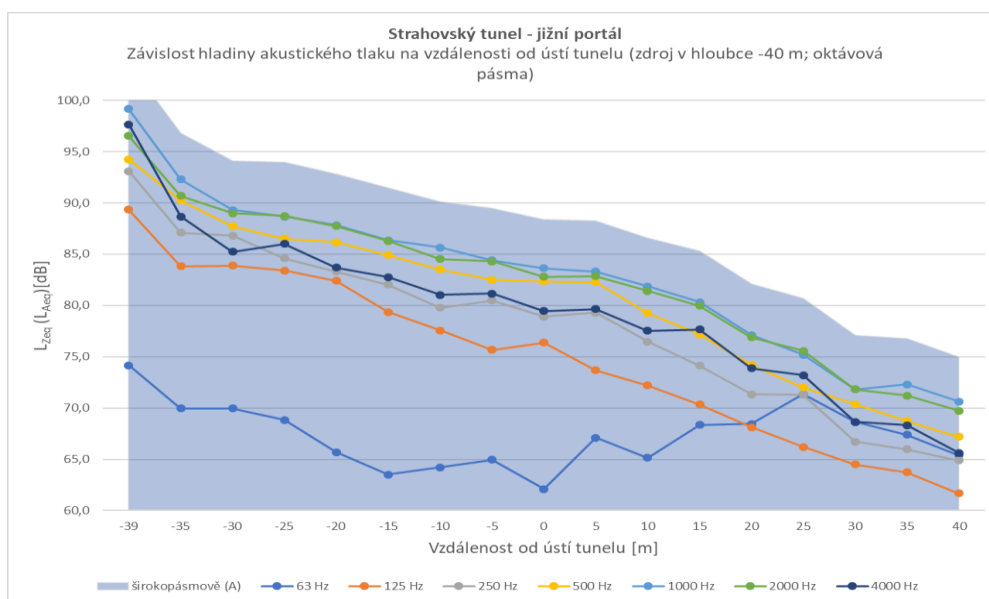
*Tab. 2: Průjezdnost při měření*

portál	Strahov Sever		Strahov Jih		Letenský Sever
	levý	pravý	levý	pravý	
tubus/pruh					oba
osobní vozidlo (<3,5 t)	1296	912	1368	1104	486
nákladní vozidlo (> 3,5 t)	78	57	75	57	18
motocykl	18	12	36	12	12

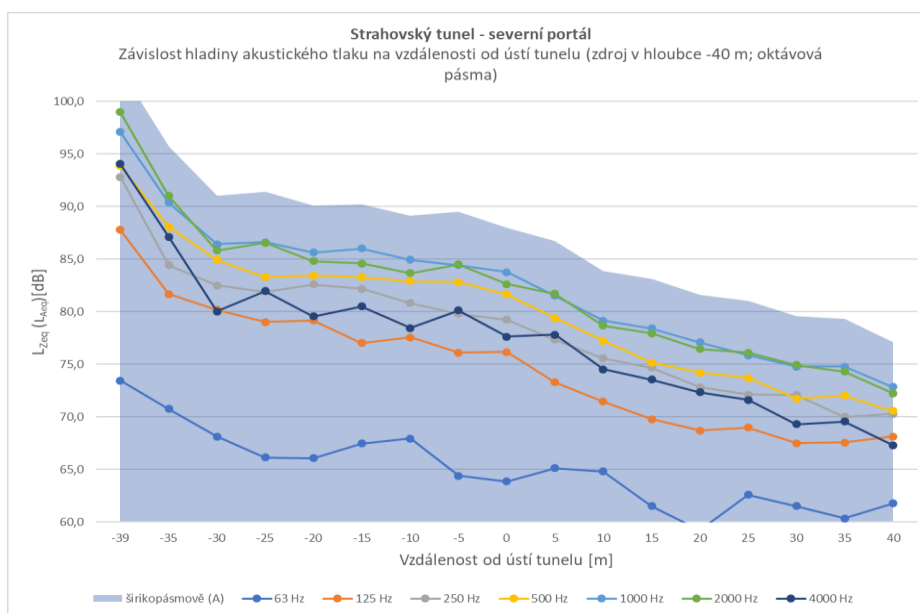
Hlavní výsledky měření ukazují souhrnně Grafy 3, 4 a 5.

## Měření bez provozu

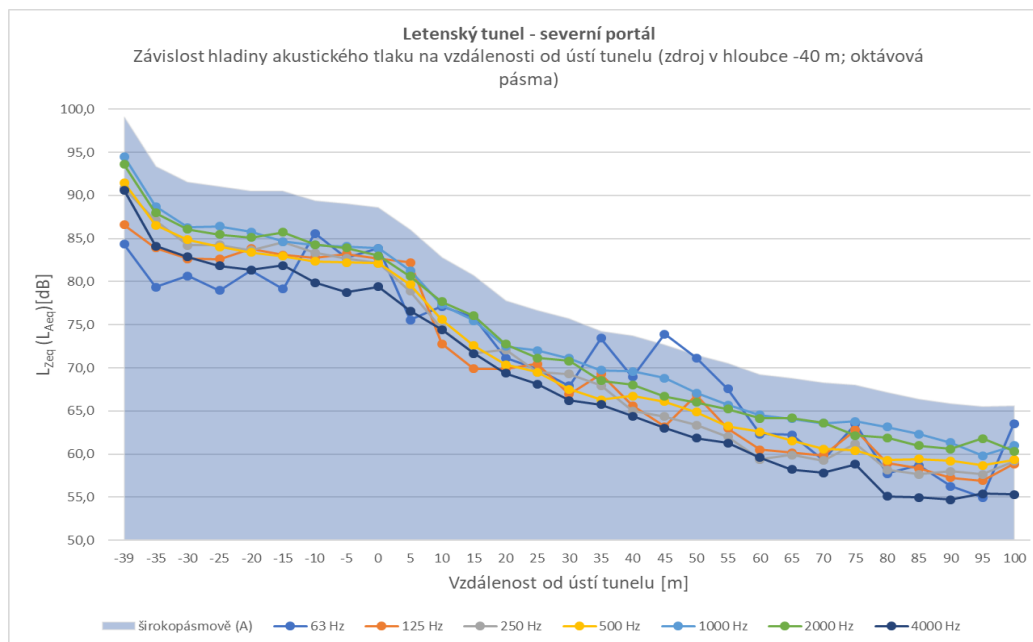
Na níže uvedených grafech je zobrazena závislost hladiny akustického tlaku na vzdálenosti od ústí tunelu. Samotné ústí tunelu reprezentuje místo měření 0.



Graf 3: Závislost ekvivalentní hladiny akustického tlaku v oktávních pásmech na vzdálenosti od ústí tunelu. Jižní portál Strahovského tunelu



Graf 4: Závislost ekvivalentní hladiny akustického tlaku v oktávních pásmech na vzdálenosti od ústí tunelu. Severní portál Strahovského tunelu



Graf 5.: Závislost ekvivalentní hladiny akustického tlaku v oktávových pásmech na vzdálenosti od ústí tunelu. Severní portál Letenského tunelu

U všech sledovaných tunelů je na grafech naměřených hodnot patrný nejprve prudký pokles, který je způsoben vzdalováním se od blízké zóny zdroje. Poté se průběh linearizuje – tendence poklesu v této části vypovídá o odrazivosti tunelu (v případě absolutně odrazivého tunelu bude pokles téměř nulový). Po této části nastává lom, který vypovídá o impedančním přizpůsobení ústí tunelu vůči prostředí před tunelem. Šíření před tunelem se bude odvíjet od odrazivých ploch v prostoru před tunelem, jinak se bude řídit běžnými pravidly pro šíření hluku ve volném prostoru.

Z provedených měření je patrná tendence poklesu, která se více či méně láme někde za úrovní ústí tunelu. Tento lom je patrný zejména u Letenského tunelu (viz Graf 5). Tunel pro hluk funguje jako zvukovod (obvykle velmi dobrý, kvůli absenci pohltivých ploch) a při otevření tunelu do volného prostoru dochází k rozhraní prostředí s různou impedancí. Z impedančního přizpůsobení tohoto rozhraní bude vyplývat charakter lomu v grafu. Pokles hladiny akustického tlaku je také ovlivněn pohltivostí vzduchu, která se odvíjí podle teploty a vlhkosti, přičemž rozdíly se projevují zejména na vysokých a středních frekvencích. Na velké vzdálenosti však může být rozdíl velmi patrný.

Měření, které proběhlo při výluce, bylo podrobnější a tvoří tak detailnější představu o šíření hluku z tunelu a vlivu profilu tunelu a typu ústí na pokles hladiny akustického tlaku. Jelikož všechna měření při výluce proběhla s bodovým všesměrovým zdrojem, nejde o simulaci provozu, ale pouze o zmapování chování tunelu vůči bodovému zdroji. V reálném provozu se bude jednat o několik pohybujících se bodových zdrojů, z většího měřítka pak o lineární zdroj.

Oproti naměřeným hodnotám je nutno počítat i s běžným provozem před tunelem, který bude s rostoucí vzdáleností od ústí tunelu maskovat vliv tunelu. Budoucím cílem je tedy snížit vliv ústí tunelu na kritickou zónu před ústím tunelu a jeho okolí tak, aby hladina nebyla významně nad hladinou běžného provozu.

## Poděkování

Prezentované výsledky jsou produktem řešení projektu Technologické agentury ČR č. TH03030120 *ELIMINACE HLUKOVÝCH A ENVIRONMENTÁLNÍCH ZÁTĚŽÍ*

V OBYTNÝCH OBLASTECH PŘI VYÚSTĚNÍ MĚSTSKÝCH TUNELŮ řešeného SMP CZ, a.s. a Inženýrskou akademií České republiky.



**Ing. Ondřej Šupka**

**Aveton s.r.o.**

Vystudoval ČVUT Fakulta elektrotechnická, obor Komunikace, multimédia a elektronika. Pracuje ve společnosti Aveton s.r.o. jako akustik v rámci projekce, realizace a řešení výzkumných úkolů v oblasti prostorové a hlukové akustiky a elektroakustiky.



**Ing. Michal Šitych**

**Aveton s.r.o.**

Vystudoval ZČU fakulta elektrotechnická, Elektrotechnika a informatika, obor Komerční elektrotechnika. Je spolumajitelem a jednatelem společnosti Aveton s.r.o., kde působí v oblasti stavební, prostorové a hlukové akustiky. Spolupodílel se na vývoji nových akustických materiálů prostorové akustiky a v oblasti hlukové akustiky u dopravních staveb.



**Ing. Antonín Brnušák, FEng.**

**SMP CZ, a.s., Inženýrská akademie ČR**

Vystudoval ČVUT fakulta stavební, obor Konstrukce a dopravní stavby. Pracuje ve společnosti SMP CZ, a.s jako technický ředitel. Je členem Inženýrské akademie České republiky. Působil jako projektant mostů, ředitel divize a technický ředitel. Spolupodílel se řešení výzkumných úkolů v oblasti mostních konstrukcí a stavebních materiálů.

e-mail: brnusak@smp.cz



**Ing. Vladimír Brejcha, FEng.**

**SMP CZ, a.s., Inženýrská akademie ČR**

Vystudoval ČVUT fakulta stavební, obor Konstrukce a dopravní stavby, viceprezident IAČR, čestný člen Betonářské společnosti ČSSI, mostní expert, autorizovaný inženýr v oboru Mosty a inženýrské konstrukce

e-mail: brejcha@smp.cz





**Prof. Ing. Vladimír Křístek, DrSc., dr.h.c., FEng.,  
Stavební fakulta ČVUT, Inženýrská akademie ČR**

Vystudoval Stavební fakultu, obor Konstrukce a dopravní stavby ČVUT v roce 1962. Pracuje na Katedře betonových a zděných konstrukcí, v období 1989 – 2004 jako vedoucí katedry. Je členem Inženýrské akademie České republiky a autorizovaným inženýrem v oboru Mosty a inženýrské konstrukce. Hlavním zaměřením je oblast teorie stavebních konstrukcí. Působil na několika prestižních zahraničních univerzitách. Autor 10 knižních publikací a více než 750 článků v českých a

zahraničních odborných časopisech.

e-mail: [VladimirKristek@seznam.cz](mailto:VladimirKristek@seznam.cz)