ARENAL s.r.o., Písečná 448/1, 182 00 - Praha 8 WWW. ARENAL.CZ-
Zápis v OR vedeného Městským soudem v Praze, oddíl C, vložka 17696
IČ : 48584312 DIČ: CZ48584312
Bankovní účet: 2200755351/2010 FioBanka Plzeň
Ing. Milan Brož, PhD., jednatel
mobil: 603 498 605, e-mail.: milanbrogy@seznam.cz
Ing. Jaroslav ŠTRUNC, jednatel

Nezávislý posudek vlivu vibrací na zástavbu nad železničním tunelem Praha-Dejvice - Praha-Veleslavín

Objednatel : METROPROJEKT Praha a.s.
Ing. Kamil Bednařík
Argentinská 1621/36
17000 Praha 7

Zhotovitel:
ARENAL, s.r.o.
Písečná 448/1
182 00 Praha á
milanbrogy@seznam.cz

Vypracoval : Ing. Milan Brož, Ph.D.

Praha září 2020

ARENAL s.r.o. IČO: 48584312, DIČ: CZ48584312

Obsah :

1. Úvod ……. 2
2. Limity vibrací – vliv na stavební konstrukce……. 3
3. Limity vibrací – vliv na obyvatele……3
4. Metodika použití měření vibrací pro posouzení hluku podle hygienický předpisů ……..……..…...5
5. Porovnání naměřených vibrací z jiných zdrojů …….….6
6. Komentář k tlumení vibrací s hloubkou…….…..8
7. Seismická měření v Ejpovickém tunelu …….….11
8. Komentář ke vhodnosti 4 variant vedení trasy z hlediska vibrací…....15
9. Literatura …….….16

10. Příloha č. 1 Měření seismických účinků průjezdů vlaků v tunelu Ejpovice (v elektronické formě)

1. Úvod

Na objednávku společnosti Metroprojekt, Praha, a.s. vypracovala geofyzikální firma ARENAL,s.r.o., nezávislý odborný posudek pro zhodnocení vlivu vibrací na objekty nad plánovaným železničním tunelem Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín. Momentálně zadavatel pracuje se čtyřmi možnostmi vedení trasy tunelu – variantou HLOUBENOU, SEVER, STŘED A JIH. Tyto varianty jsou podrobně popsány ve studii Porovnání variant tunelových tras v úseku Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín, Metroprojekt Praha, 02/2020. Tento nezávislý posudek hodnotí tyto čtyři varianty z pohledu potenciálního vlivu vibrací na zástavbu nad tunelem.
Problematika přenosu vibrací a hluku při průjezdu vlaků tunely není standartní záležitostí měření seismických účinků a vyžaduje speciální instrumentaci s vysokou citlivostí v daných frekvenčních pásmech. Tato problematika se přesto několikrát řešila v Praze pro zástavbu nad trasami staveb Metra a silničních tunelů např. při vlivu vibrací na sbírky Státního Archivu na Prašném mostě, Centrum ČSOB v Praze 5, na občanskou zástavbu na Barrandově a vliv vibrací na stavební záměry při rekonstrukci budovy MSNP ve Vysočanech.
Součástí této zakázky bylo i provedení terénních seismických měření na železničním tunelu Ejpovice pro možné analogické použití výsledků naměřených vibrací pro tunel Dejvice-Veleslavín (stejný způsob ražby, obdobná hloubka tunelu, obdobná geologie). Při průjezdech vlaků tunelem Ejpovice byla realizována seismická měření a to jak v tubusu tunelu, tak i v jeho nadloží, na povrchu. Vzhledem k tomu, že geologie a tektonika této lokality je podrobně popsána, je možné z výsledků měření učinit poměrně dobře použitelné závěry pro obdobné geologické prostředí jaké je v Praze.
Předložené výsledky měření jsou z hlediska útlumu vibrací z hloubek 40m až 80m velmi příznivé. Maximální amplitudy rychlosti kmitání dosahovaly na povrchu hodnot jen 0,005 mm/s a to ve frekvenčním pásmu 40 - 60 Hz. Tyto vibrace nemohou způsobit porušení stavebních objektů a neměly by způsobit ani nadměrnou hlučnost, přesahující dané hygienické normy. Působení hluku na obyvatele je řešeno hygienickými posudky a je možné je stanovit objektivním přepočtem seismického vlnění na hodnoty hluku

za předpokladu znalosti frekvence těchto kmitů. Přepočtená hodnota amplitudy zrychlení pro frekvenci 45 Hz je A= 0,138 mm/s^2.
Měření v Ejpovickém tunelu prokázaly jednak správnou volbu instrumentace a výsledky těchto měření mají obecně platnou hodnotu použitelnou i pro přípravu projektu tunelů Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín.
Seismická měření citovaná v této zprávě byla prováděna Geofyzikálním ústavem AV ČR v kooperaci s firmou ARENAL, s.r.o a to na zakázky od firmy INSET, ČVUT, Swietelsky, Gazda, s.r.o a Metroprojekt.a.s.

2. Limity vibrací – vliv na stavební konstrukce

ČSN EN 1991-1-7 uvádí limity mezních rychlostí vibrací, při kterých vzniknou první známky poškození stavebních konstrukcí – tyto limity jsou uvedeny v Obr. 1.

TAB. 5 Vzniknou prvé známky poškození při následujících rychlostech kmitání

Třída odolnosti (dle TAB. 2)	Charakteristika	Mezní r rychlost odezvy stavební konstrukce (mm/s) Kategorizace odezvy konstrukce pro jednotlivé třídy objektů podle EN 1991-1-7					
		Třída CC3 Významné objekty	Třída CC2b Inženýrské stavby sloužící dopravě	Třída CC2a Objekty obytné a občanské	Třída CC1 Objekty skladů	Možnost poruch	5 % objektu je poškozeno
A	Staré, chatrné nebo historické budovy	0,2	0,6	0,8	1,2	4,5	7,0
B	Běžné cihlové řadové domky bez věnce	0,4	1,0	1,4	2,0	9,0	14,0
C	Běžné cihlové řadové domky řádně postavené s věncem	0,95	1,8	2,4	3,0	25,0	50,0
D	Velké budovy z cihel a tvárnic panelové a montované	1,1	2,4	2,8	4,0	40,0	80,0
E	Budovy z monolitickou kostrou z oceli nebo železobetonu	1	3,0	4,0	6,0	60,0	100,0
F	Dtto výrobní objekty, sila	2,0	4,0	6,0	8,0	70,0	120,0

30

Obr. 1 TAB. 5 v ČSN EN 1991 -1-7. První známky poškození při trvalých vibracích

Dle měření provedených na povrchu tunelu Ejpovice jsou maximální amplitudy rychlosti kmitání pro tunel Dejvice-Veleslavín očekávány v řádu 0,005 mm/s. Očekávané vibrace jsou tedy výrazně nižší než limity stanovené normou ČSN EN 1991 -1-7 a jakékoliv poškození budov v důsledku vibrací je krajně nepravděpodobné.

3. Limity vibrací – vliv na obyvatele

Podle doporučení ČSN, které jsou harmonizovány v EU v Eurokódu E8 a dle ČSN EN 1991-1-7 nejsou v těchto normách uváděny hygienické limity pro účinky vibrací. Tyto normy řeší pouze stabilitu konstrukcí vystavených dlouhodobým vibracím – viz kapitola 2. Místo toho je vliv na obyvatele řešen v hygienických normách a to měřením hluku. Možnosti převodu mezi vibracemi a hlukem jsou uvedeny v kapitole 4.

Limity vibrací a jejich vliv na obyvatele během stavby se na zahraničních tunelových projektech běžně používá norma BS 5228-2:2009 (viz Obr. 2), která uvádí jako práh lidského vnímání vibrace v rozmezí 0,14-0,3 mm/s. Tato norma se sice používá zejména

pro posouzení vlivu stavebních činností na okolí, nicméně v absenci jiných norem je zde použita pro jednoduché a přímé porovnání výsledků měření z Ejpovického tunelu a prahu lidského vnímání dané touto normou. Limit lidského vnímání daný touto normou je mnohem vyšší než očekávané vibrace nad tunelem Dejvice-Veleslavín (v = 0,005 mm/s) a tudíž je vnímání provozu tunelu obyvatelstvem nepravděpodobné.

Table B.1 **Guidance on effects of vibration levels**

Vibration level [A), B), C)]	Effect
0.14 mm·s^{-1}	Vibration might be just perceptible in the most sensitive situations for most vibration frequences associated with construction. At lower frequencies, people are less sensitive to vibration.
0.3 mm·s^{-1}	Vibration might be just perceptible in residential environments.
1.0 mm·s^{-1}	It is likely that vibration of this level in residential environments will cause complaint, but can be tolerated if prior warning and explanation has been given to residents.
10 mm·s^{-1}	Vibration is likely to be intolerable for any more than a very brief exposure to this level [A)] in most building environments [A)].

[A)]

A) The magnitudes of the values presented apply to a measurement position that is representative of the point of entry into the recipient.

B) A transfer function (which relates an external level to an internal level) needs to be applied if only external measurements are available.

C) Single or infrequent occurrences of these levels do not necessarily correspond to the stated effect in every case. The values are provided to give an initial indication of potential effects, and where these values are routinely measured or expected then an assessment in accordance with BS 6472-1 or -2, and/or other available guidance, might be appropriate to determine whether the time varying exposure is likely to give rise to any degree of adverse comment. [A)]

Obr. 2 Úryvek z britské normy BS 5228-2:2009 ohledně vlivu vibrací na obyvatele

Obdobně dopadá toto porovnání, pokud se použije britská norma BS 6472-1:2008, která se na problematiku vibrací a jejich vliv na obyvatele dívá z dlouhodobého pohledu a z pohledu amplitudy zrychlení a souhrnné vážené hodnoty zrychlení místo z pohledu rychlosti kmitání použité v BS 5228-2:2009. Tato norma udává jako práh lidského vnímání amplitudu zrychlení A = 10 – 20 mm/s^2, což je mnohem vyšší hodnota než přepočtená amplituda rychlosti zrychlení u Ejpovického tunelu (A = 0,138 mm/s^2).

3.3 Thresholds of perception

Perception thresholds for continuous whole-body vibration vary widely among individuals. Approximately half the people in a typical population, when standing or seated, can perceive a vertical weighted peak acceleration of 0.015 m·s^{-2}. The weighting used is W_b. A quarter of the people would perceive a vibration of 0.01 m·s^{-2} peak, but the least sensitive quarter would only be able to detect a vibration of 0.02 m·s^{-2} peak or more. Perception thresholds are slightly higher for vibration duration of less than about 1 s.

Obr. 3 Úryvek z britské normy BS 6472-1:2008 ohledně prahu vnímání vibrací

4. Metodika použití měření vibrací pro posouzení hluku podle hygienických hodnocení

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3., podle doporučení ČSN, které jsou harmonizovány v EU v Eurokódu E8 a dle ČSN EN 1991-1-7 nejsou v těchto normách uváděny hygienické limity na účinky vibrací. Tyto jsou řešeny v hygienických normách a to v měření hluku. Tato měření jsou prováděna jen pro výskyt povrchového hluku a řídí

se Metodickým návodem MZdr. ČR pro měření hluku v mimopracovním prostředí (č.j. HEM-300-11.12.01-3465). Měření jsou prováděna v 15 min a 30 min. intervalech. Do této kategorie patří i průjezdy vlaků a další hlukové impakty, které musí být komentovány v protokolech měření. Pro tato hodnocení můžeme z provedených seismických měření poskytnout k hodnocení průběhy amplitud seismických zrychlení nebo průběhy gravitačního přitížení „g“ zaznamenané jak na úrovni kolejí, tak v nadloží nad tunelem (Ejpovice).

V dosavadní praxi hodnocení vibrací průjezdu vlaků předkládá teoretické řešení pan Ing. Stěnička, CSc, který hodnotí Hygienický deskriptor Lxxx založený na hodnocení absolutních hodnot zrychlení. V jeho hodnocení jsou uváděny veličiny, které nejsou v seismologii definovány a užívány, např. mechanická rychlost.
Pro konkrétní řešení na základě naměřených dat navrhujeme pro hodnocení hluku požádat o spolupráci pana Ing. Jandáka, který má s hodnocením hluku v souvislosti s vibracemi dlouholeté zkušenosti a patřičná odborná oprávnění.

Veškeré tyto závislosti jsou mnohem nebezpečnější pří dlouhodobém až několikaletém působení. Tento argument musí být pro hluk projíždějících vlaků brán objektivně a to zejména stanovit, zda se jedná o trvalé nebo jen krátkodobé působení hluku.
Hodnocení vibrací z hlediska působení na člověka řeší Nařízení vlády č 2/2011Sb o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku s vyhodnocením souhrnné vážené hodnoty zrychlení. Tato hodnota se dá stanovit z provedených seismických měření a to akreditovaným pracovištěm.

Po přepočtu měření vibrací z Ejpovického tunelu na hluk nelze předpokládat, že by byly překročeny hygienické limity, které jsou dány jako:

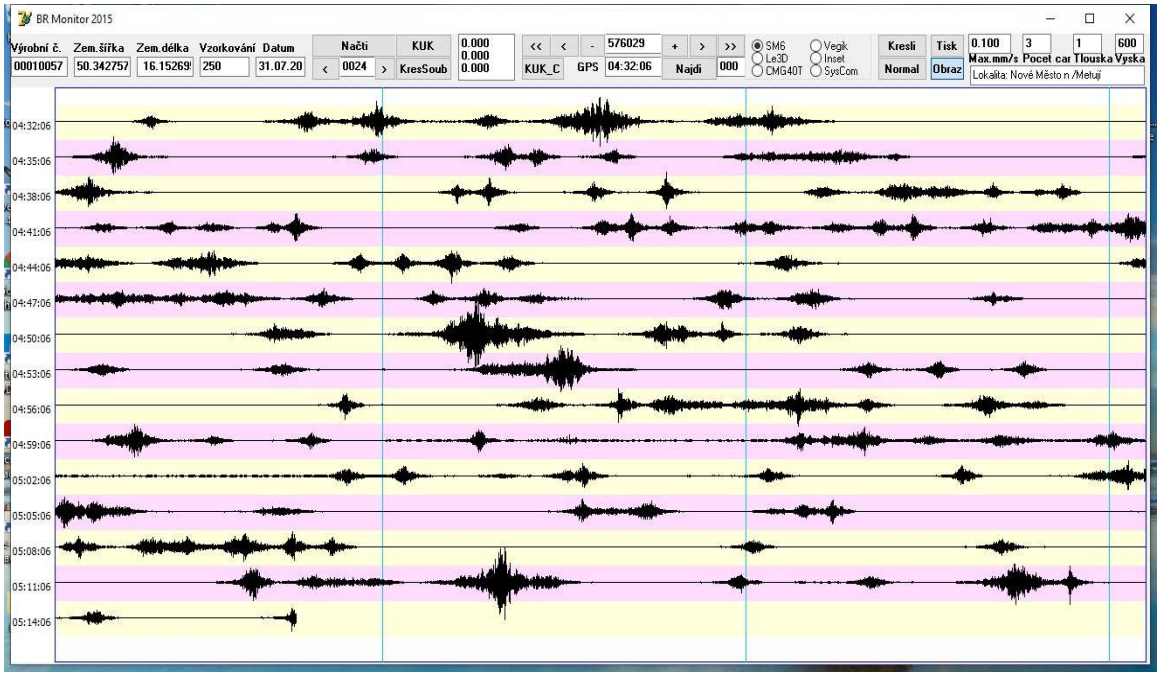
- Dlouhodobá expozice hlukem nad 55 dB – je pro obyvatelstvo hodnocena jako vážné obtěžování a může způsobovat vznik řady onemocnění.
- Hluk nad 65 dB je již lékaři uváděn jako dlouhodobě nesnesitelný a prokazatelně poškozuje zdraví lidí, na které dopadá.

Při předpokládané hodnotě hluku projíždějícího vlaku v tunelu v rozsahu 60 - 75 dB nastává na každých 10m hloubky tunelu útlum 5 – 7dB. Při projektovaných hloubkách 60 m pod občanskou zástavbou by se hluková zátěž neměla projevit.

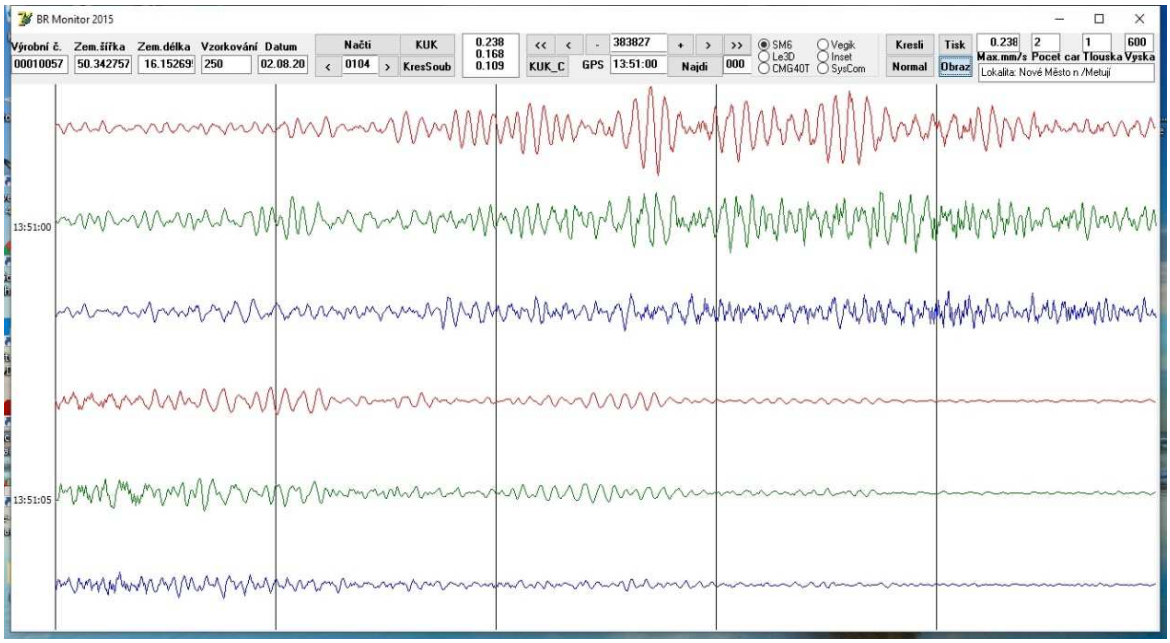
5. Porovnání naměřených vibrací z jiných zdrojů (automobily, tramvaje)

Autor má k dispozici měření automobilové dopravy a to ve vzdálenosti cca do 10m od vozovky v přilehlém památkově chráněném objektu. Maximální hodnoty amplitudy rychlostí byly naměřeny V = 0,352 mm/s. (f = 28 Hz) v historickém centru Nového Města nad Metují. Na následných Obr.4 a Obr.5 je uveden příklad vyhodnocení výše uvedeného měření automobilové dopravy v Novém Městě n/M. Tyto hodnoty vibrací jsou mnohem vyšší než ty naměřené na povrchu Ejpovického tunelu – viz kapitola 7 (V = 0,005 mm/s, f = 40-60 Hz).
Měřené hodnoty rychlosti kmitání tramvají a jiných kolejových vozidel jsou značně závislé na stavu kolejí a kolejového tělesa. V mnohých místech v historické části měst se používá i antivibrační uložení kolejových pražců na antivibrační lože. Tato měření byla provedena v Praze u Karlova mostu jako hodnocení účinků průjezdu tramvají na stavbu kostela Sv. Salvátora a kostela Sv. Václava v Ječné ulici.
Jako příklad porovnání vlivu účinků automobilové dopravy ve srovnání s účinky vibrací průjezdu vlaků tunelem uvádíme na následném Obr. 6 časový snímek seismického monitoringu nad Ejpovickým tunelem, který zachycuje i průjezdy automobilů ve vzdálenosti cca 450 m od tunelu. Průjezd vlaku je velmi slabě identfikovatelný uprostřed druhé stopy záznamu ve 04:30 hod. Po celou dobu záznamu jsou seismické účinky vlaku převýšeny seismickými účinky od průjezdu automobilů ve vzdálenosti cca 450m.

Na základě těchto měření se předpokládá, že vibrace z jiných zdrojů v okolí zástavby jsou mnohem vyšší než vibrace způsobené budoucím provozem tunelů.



Obr. 4 Typický seismický snímek seismických účinků automobilové dopravy - Nové Město n/M (časový interval 30 minut)



Obr. 5 Třísložkový seismogram seismických účinků průjezdu automobilu - Nové Město n/M. Maximální amplituda rychlosti kmitání byla naměřena na vertikální složce Vz = 0,208 mm/s

Obr. 6 Časový snímek seismických účinků průjezdu vlaku v ejpovickém tunelu s účinky automobilové dopravy ve vzdálenosti cca 450m od osy tunelu.

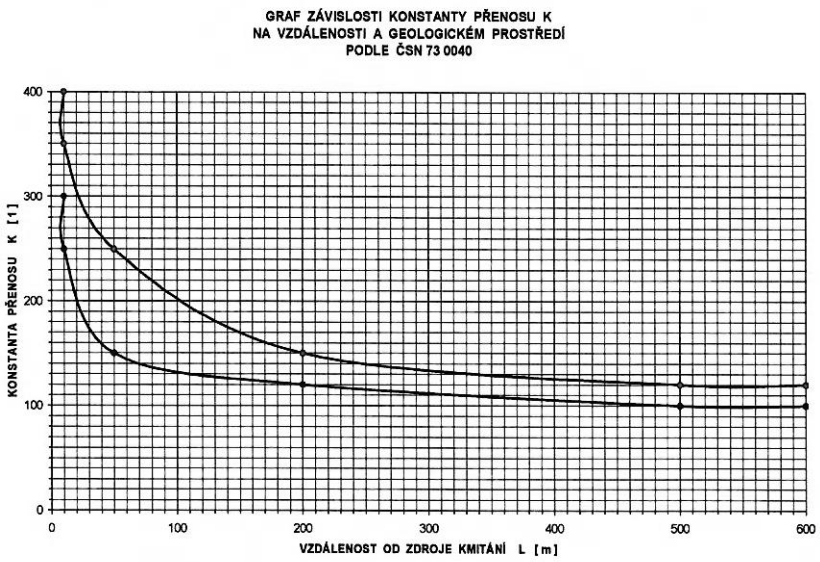
6. Komentář k tlumení vibrací s hloubkou

Obecně platné jsou závislosti útlumu seismických účinků se vzdáleností (viz příklad v Obr. 7). Tyto závislosti se řídí absorpčními zákonitostmi a jsou zásadně závislé jednak na kvalitě prostředí kudy se seismické paprsky šíří a jednak na frekvencích seismických vln. Kvalita prostředí je vyjádřena konstantou přenosu K – norma ČSN 730040 uvádí empirické hodnoty této konstanty v jednotlivých geologických prostředích (viz Obr. 8). Jak je patrné z Obr. 7, tato závislost není lineární a pro vzdálenosti několika desítek až 100m je vhodné seismické účinky stanovit měřením. Měření je vhodné provést v různých vzdálenostech s definovaným seismickým budícím signálem. Tuto veličinu získáme umístěním primárního snímače ke zdroji a dalších snímačů na seismickém profilu v daných vzdálenostech.

V reálném geologické prostředí v závislosti na jeho vlastnostech dochází se vzdáleností k útlumu vysokých frekvencí seismických vln a do větší vzdálenosti řádově ve stovkách metrů až kilometrů již postupují jen seismické vlny do prvních desítek nebo jen jednotek Hz. Tato obecně platná závislost se však musí stanovit konkrétním měřením. Zásadně pak platí, že seismické vlny vznikající v podzemí se šíří v tomto prostředí všemi směry a tak paprsek seismických vln, který se dostává na povrch a působí na povrchové objekty má mnohem menší seismické účinky než seismické účinky od povrchového odpalu, kdy se seismická vlna odráží od poloprostoru, od kterého se její amplituda vrací až s dvojnásobnou intenzitou.

Jako analogie tunelu Praha-Dejvice – Praha-Veleslavín byla tato měření provedena v Ejpovickém tunelu obdobné hloubky, způsobem ražby a geologie – tato měření potvrdila výrazný útlum vibrací v místě propojky 1 z amplitud rychlosti kmitání V= 0,112 mm/s na kolejišti v tunelu na V= 0,005 mm/s na povrchu.

Na geotechnických anomáliích (např. tektonických zlomech) může docházet k naměření vyšších hodnot vibrací než mimo tyto anomálie. To je způsobeno odrazy seismických vln od geologických rozhraní.



Obr. 7 Závislost konstanty prostředí K na vzdálenosti.

Tabulka 2 - Informativní hodnoty konstanty přenosu *K*

Vzdálenost *l* m	Konstanta přenosu *K*	
	Podloží ze skalních a poloskalních hornin se střední až velmi malou hustotou diskontinuit	Ostatní horniny mimo horniny ve zvodněném prostředí
10	350	250
50	250	150
200	150	120
500 a více	120	100

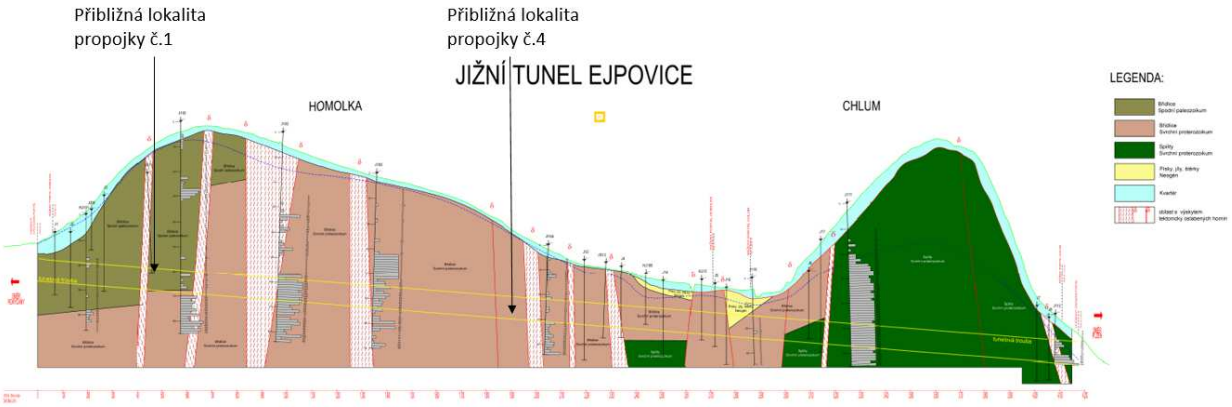
Obr. 8. Parametr konstanty přenosu prostředí je v seismické normě ČSN 730040 uváděn v Tab č. 2 této normy

7. Seismická měření v Ejpovickém tunelu

Podrobná zpráva o měření je uvedena jako samostatná Příloha č. 1. této dílčí zprávy.

Následně je uveden jen komentář k provedeným měřením a jejich vyhodnocení.

Datum měření	Stanoviště
20. 06. 2020	Orientační měření pro stanovení citlivosti a frekvenčního rozsahu, lokalita úpatí vrchu Chlum
7. 7. 2020	4 stanoviště: - Propojka č. 1 v tunelu, - Rokycanský vjezd do tunelu Ejpovice, - Vrch Chlum – Rozhledna, - Vrch Chlum úpatí
11. 7. 2020	2 stanoviště: - nad propojkou č.1 - Pole - nad propojkou č.4 – Rezervace



Obr. 9 Podélný profil Ejpovického tunelu.

Tabulka vyhodnocení vybraných seismických účinků průjezdů vlaků v tunelu Ejpovice ve dnech
6.7- 7.7.2020 a 11.07. 2020

Datum a čas	lokalita	stanice	Z (um/s)	N (um/s)	E (um/s)
07 07 2020 04 36 37	Propojka č-1	BRS 09	54	90	112
08 31 54			62	57	105
15 31 08			83	86	100
07 07 2020 04 34 46	Rozhledna Chlum	BRS 15	4	2	2
08 32 22			3	2	2
15 31 36			7	3	4
07 07 2020 04 49 56	Úpatí Chlum	BRS 17	3	2	4
05 03 50			3	4	2
15 28 08			3	3	5
07 07 2020 07 14 04	Portal Ejpovice	BRS 56	493	343	217
08 32 04			189	142	168
11 07 2020 12 37 11	Nad P1	BRS 15	3	5	3
13 47 56	Stan 4	BRS 17	2	2	1
Zrychlení	mm/s2				
	Stan 4	BRS 17	0.071	0,104	0,107

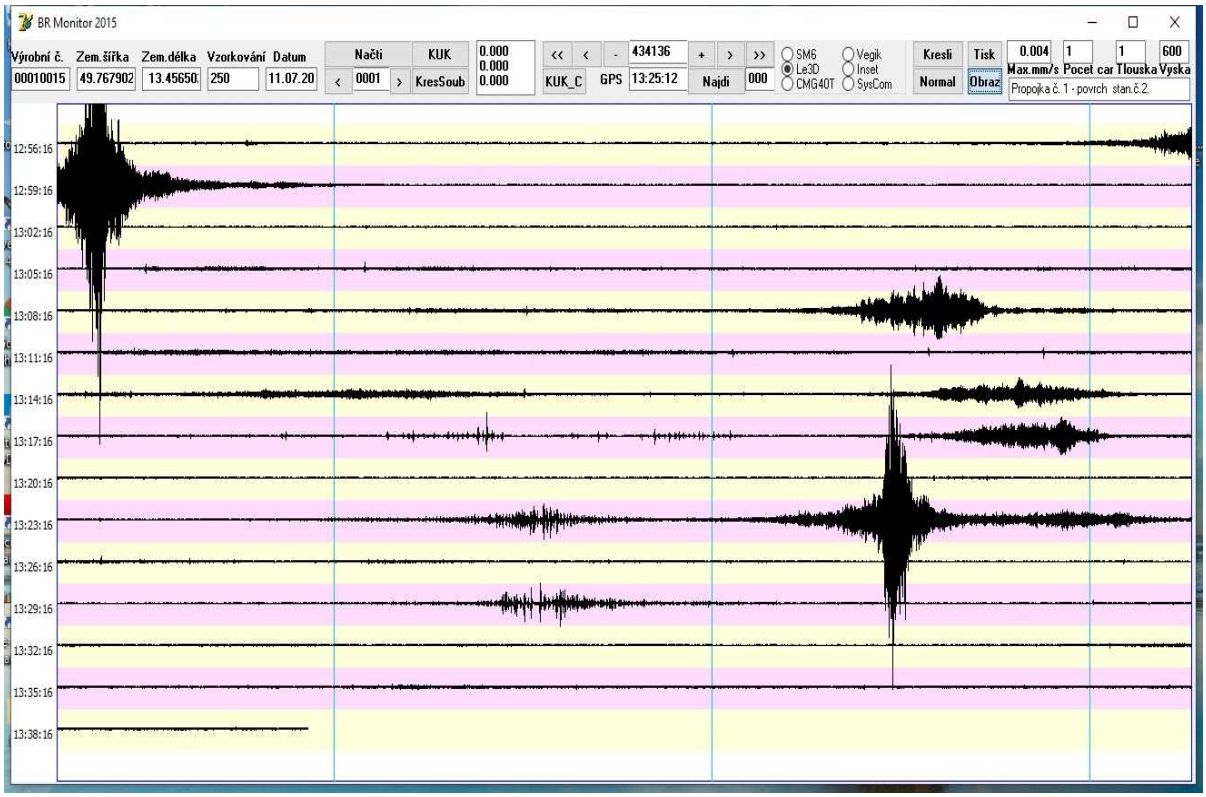
Komentář k vyhodnocení seismických účinků :

1. Stanoviště - Portál tunelu Ejpovice -
   Při měření na soklu v blízkosti kolejiště byly naměřeny maximální hodnoty amplitud rychlosti kmitání V= 0,493 mm/s
2. Stanoviště - Kolejiště v tunelu u propojky č.1 -
   Při měření na soklu v blízkosti kolejiště byly naměřeny maximální hodnoty amplitud rychlosti kmitání V= 0,112 mm/s
3. Stanoviště - Rozhledna Chlum Při měření v terénní sondě byly naměřeny maximální hodnoty amplitud rychlosti kmitání V= 0, 007 mm/s
4. Stanoviště - Úpatí Chlumu Při měření v terénní sondě byly naměřeny maximální hodnoty amplitud rychlosti kmitání V= 0, 004 mm/s
5. Stanoviště - Povrch P1 Při měření v terénní sondě nad propojkou č.1 byly naměřeny maximální hodnoty amplitud rychlosti kmitání V= 0, 005 mm/s
6. Stanoviště - Povrch S4 Při měření v terénní sondě byly naměřeny maximální hodnoty amplitud rychlosti kmitání V= 0, 002 mm/s

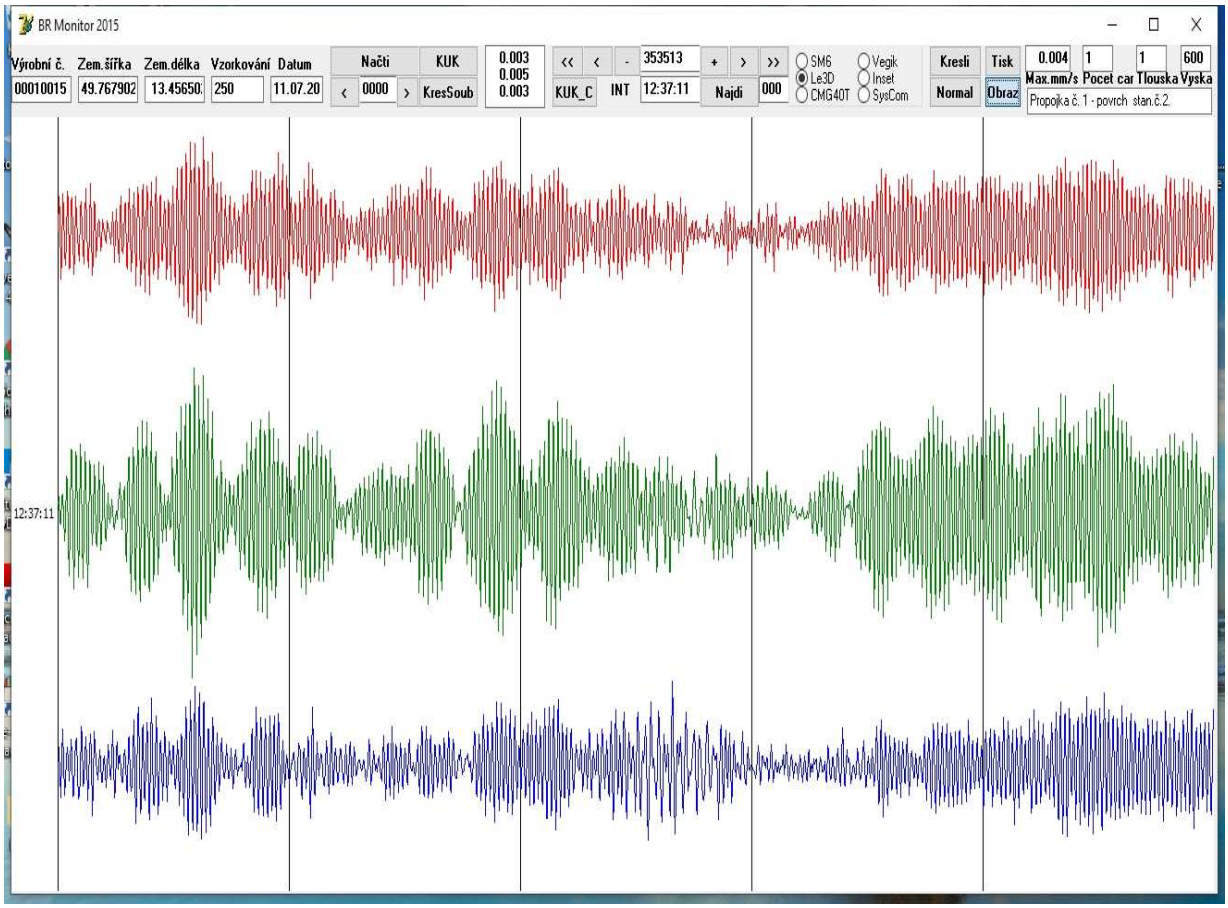
Pro posouzení seismických účinků průjezdu vlaků tunelem na povrchu bylo nejdůležitější měření provedeno dne 11. 07. 2020 a to na dvou stanovištích.

1. „Pole“ - BRS 15 – Nad propojkou č. 1, tunel cca 60m hluboko
2. „Rezervace“ - BRS 17 - Nad propojkou č. 4, tunel cca 40m hluboko

Obr. 10. Měřicí místa nad tunelem dne 11 07 2020



Obr. 11 Ukázka seismického snímku na stanovišti „Pole“ dne 11.7.2020 v 13 26 12 Hod.



Obr. 12 Ukázka průběhu třísložkového seismogramu. Seismické účinky průjezdu vlaku v tunelu naměřené na povrchu dne 11.7.2020 na stanovišti „Pole“ v 12 37 11 hod. (světový seismický čas). Maximální hodnota amplitudy rychlosti kmitání je na horizontálním složce Vn=0,005 mm/s.

Výsledky seismických měření v Ejpovickém tunelu.

Měření seismických účinků průjezdů vlaků v Ejpovickém tunelu provedené jak v úrovni tratě, tak v nadloží tunelu prokázaly, že hodnoty naměřených amplitud rychlosti kmitání na žádném ze stanovišť nepřekračují při běžném provozu doporučení seismických norem ČS 730040 a ČSN EN 1991-1-7.

Maximální naměřené hodnoty amplitud rychlosti kmitání v kolejišti u Ejpovickém portálu tunelu byly naměřeny Vz = 0,506 mm/s v oblasti maximálních frekvencí f = 54,3 Hz. Při měření provedených v kolejišti tunelu u propojky č. 1, byly naměřeny maximální hodnoty amplitud rychlosti kmitání Vz = 0, 112 mm/s v oblasti frekvencí f = 47. 4 Hz

Na dvou měřicích stanovištích u vrchu Chlum, kde byly monitorovány seismické účinky projevující se na povrchu nad trasou tunelu byly naměřeny maximální hodnoty amplitud rychlosti kmitání Vz = 0,004 mm/s a to v oblasti frekvencí f = 47 Hz – 86 Hz.

Obdobné výsledky byly naměřeny i na dalších dvou povrchových měřicích stanovištích nad propojkami tunelu č. 1 a č. 4. Na těchto stanovištích byla naměřena maximální hodnota amplitudy rychlosti kmitání Vz = 0,005 mm/s a to na frekvenci f = 53 Hz.

Veškerá tato měření byla prováděna kontinuálním seismickým monitoringem a to jak akreditovanými ČMI seismickými aparaturami tak i akreditovaným ČMI metrologem pro měřené seismický účinků. Vzhledem k velkému objemu dat byly v této zprávě a v její příloze

č.1 (kapitola č.4) uvedeny jen vybrané průběhy třísložkových seismogramů a spektrogramů. Všechny datové soubory jsou v originálních číslicových záznamech v datovém formátu ASCII uloženy v datovém archivu firmy ARENAL „Tunely 2020“ a mohou být dále zpracovány podle požadavku zadavatele.

Závěr :
Na základě těchto měření je možné konstatovat, že seismické účinky průjezdů vlaků nemohou při hloubkách tunelu od několika prvních desítek metrů nikterak poškodit stavební objekty nacházející se nad tunelem a ani ovlivnit technologická zařízení a historické stavby. Pro stanovení fyziologických účinků na obyvatele je možné akceptovat poznatky uváděné v literatuře. Při předpokládané hodnotě hluku projíždějícího vlaku v tunelu v rozsahu 60 -75 dB nastává na každých 10m hloubky útlum 5 – 7dB. Při projektovaných hloubkách ražených variant 50 - 80 m pod občanskou zástavbou se hluková zátěž s vysokou mírou pravděpodobnosti neprojeví. Z hlediska naměřených hodnot amplitud rychlosti kmitání jsou tyto až 100x menší než kritické hodnoty těchto vibrací stanovených seismickými normami. Stanovené hodnoty hluku vypočtené z těchto hodnot jsou závislé hlavně na frekvenci těchto vibrací a tak je vhodné provést taková antivibrační opatření, která budou tlumit frekvence v oblasti 10 – 80 Hz. To doporučujeme určit na místě po stavbě tunelu měřením, na jehož základě lze optimalizovat návrh antivibračních opatření. Je možné, že antivibrační opatření nebudou nutná.

8. Komentář ke vhodnosti 4 variant vedení trasy z hlediska vibrací

Na základě předložených studií vypracovaných Ing. J. Stěničkou a zejména po prostudování studie „ Porovnání variant tunelových tras v úseku Praha Dejvice – Praha Veleslavín považuji variantu vedení „Varianta ražená JIH“ nebo „Varianta ražená STŘED“ za optimální. Tyto varianty splňují podmínky kompaktního geologického prostředí, které je vhodné jak pro realizaci stavby, tak i vzhledem k hloubkovému profilu pro útlum seismických účinků provozu vlaků. Tyto seismické účinky podle provedených měření v Ejpovickém tunelu rozhodně nepřekročí kritické hodnoty seismické normy pro porušení staveb a podle přepočtu na hodnoty zrychlení při zjištěných frekvencích tak pro posouzení hluku nepřekročí ani tyto. Dále považuji za vhodné použití vibroizolací v tunelu zajištující útlum 18 dB, neboť se tím podstatně sníží maximální očekávaná hlučnost na úroveň pod 50dB.

Další upřesnění je možné provést až na základě provedených měření při výstavbě tunelů. Vzhledem k předpokládané hloubce tunelů v 50 – 80 m pod zástavbou je možné konstatovat, že kužel šíření seismických vln z podzemí na povrch neurčuje nutnost vedení tunelu přesně mimo povrchovou zástavbu, neboť seismické paprsky dosahující na povrch nebudou mít odlišné účinky při změnách vzdáleností o desítky metrů, kterých by se eventuelně dosáhlo vedením tunelů přesně mimo zástavbu.

Ověření útlumu seismických účinků na modelovém měření v Ejpovickém tunelu prokázalo i tento předpoklad, neboť seismické účinky průjezdů vlaků měřené v nadloží kolmo nad kolejištěm a účinky měřené ve větších vzdálenostech nemají podstatné rozdíly v naměřených hodnotách amplitud rychlosti kmitání.

„Varianta ražená SEVER“ je považována za možnou, nicméně méně výhodnou variantu. Důvodem je delší úsek s mělkým nadložím a povrchovou zástavbou oproti variantám JIH a STŘED.

„Varianta HLOUBENÁ“ je z pohledu přenosu vibrací nejméně výhodná a to z důvodu mělkého nadloží podél celé trasy.

9. Použitá a doporučená literatura

Bednařík K., 02/2020 Porovnání variant tunelových tras v úseku Praha Dejvice – Praha – Veleslavín - Zkrácená verze textové části 04/2020
Stěnička J., 2019 Posouzení vibroizolace v železničních tunelech pro letiště na trati Stromovka Veleslavín
Zavacký M., 2017 Přehled geotechnického monitoringu pro tunely
Strategické hlukové mapy – fáze II., 2015 IOP EU - Regionální rozvoj CZ 1.06./3,2,01,/02.06100
Čermák M., 2018 Modernizace trati Praha . Výstaviště - Praha Veleslavín, Závěrečná zpráva INSET, s.r.o.
ČSN 730040 , ČSN EN 1998 – 1, ČSN EN 1997 Eurokod 7
Brož M., 2020, Posouzení seismických účinků technické seismicity v objektu MNNP Praha 9 - Metro B.
Brož M. a kol,, 2020 Vyhodnocení a lokalizace seismického jevu na PZP Háje dne 06 09 2020 . Zpráva pro Innogy Gas Storage Praha.